



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิทแบบหนึ่งมิติ

Development of One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model

นามผู้วิจัย นางสาวพรรณพิมพ์ พุทธรักษา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์อนุชาต ศรีวงศิตานนท์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, M.Asc.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ศุภกิจ นุทนานันท์, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(ศาสตราจารย์ทัศนีย์ อัดตะนันท์, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 30 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2547

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิตแบบหนึ่งมิติ

Development of One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model

โดย

นางสาวพรรณพิมพ์ พุทธรักษา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2547

ISBN 974-273-163-2

พรรณพิมพ์ พุทธรักษา 2547: การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิชิตแบบหนึ่งมิติ
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:
รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. 144 หน้า
ISBN 974-273-163-2

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิชิตแบบหนึ่งมิติ ซึ่ง
เรียกชื่อว่า แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์ (Dynamic Wave Model; DYMWAV) โดยใช้โปรแกรม Visual
Basic.Net เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม แบบจำลอง DYMWAV มีความสามารถในการประยุกต์ใช้
เพื่อการจำลองสภาพการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติ ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม
และการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลได้ โดยสมการพื้นฐานของแบบจำลอง DYMWAV คือ สมการเซนต์-เวเนนท์
ซึ่งอยู่ในรูปสมการอนุพันธ์บางส่วนแบบไม่เป็นเส้นตรง การแก้ปัญหสมการอนุพันธ์บางส่วนได้ใช้วิธี
ผลต่างสี่เหลี่ยมแบบอิมพลิชิต โดยวิธีถ่วงน้ำหนักของจุด 4 จุด เพื่อเปลี่ยนระบบสมการอนุพันธ์บางส่วนของ
สมการเซนต์-เวเนนท์ ให้อยู่ในรูประบบสมการผลต่างสี่เหลี่ยมแบบไม่เป็นเส้นตรง และใช้วิธี Newton-
Raphson ซึ่งเป็นเทคนิคการวนซ้ำสำหรับการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรง

แบบจำลอง DYMWAV ได้ถูกนำไปประยุกต์กับพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนและลุ่มน้ำบางปะกง เพื่อใช้
ตรวจสอบความสามารถของแบบจำลองในการศึกษาสภาพการไหลในกรณีมีผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม
และการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง DYMWAV มีความสามารถในการ
จำลองแบบสภาพการไหลดังกล่าวได้เป็นอย่างดี จากนั้นได้ทำเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลอง
DYMWAV กับ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ซึ่งเป็นแบบจำลองย่อยของแบบจำลอง MIKE 11 (MIKE 11 HD)
ซึ่งได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไปในการศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำท่า โดยนำแบบจำลอง MIKE 11 HD มา
ประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาเดียวกันกับที่ประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง DYMWAV ทั้งนี้กระทำได้โดยการนำผล
ของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง
(Manning's n) สำหรับแต่ละรูปตัดขวางและแต่ละลำน้ำมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง MIKE 11 HD ในแต่ละ
กรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองทั้งสองแบบจำลองสามารถประเมินกราฟน้ำท่าและกราฟระดับน้ำ
ได้ใกล้เคียงกันมาก นอกจากนั้นแล้วผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง DYMWAV มีความสามารถในการ
จำลองสภาพการไหลที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน
ได้เป็นอย่างดี ในขณะที่แบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่มีการแกว่งตัวมาก ทั้งนี้
อาจเนื่องมาจากแบบจำลอง DYMWAV เป็นแบบจำลองที่มีการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรง
ในขณะที่แบบจำลอง MIKE 11 HD มีการแก้ปัญหาระบบสมการแบบเป็นเส้นตรง

Punpim Puttaraksa 2004: Development of One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nutchanart Sriwongsitanon, Ph.D. 144 pages.
ISBN 974-273-163-2

This study has an objective to develop One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model. The Model is named the Dynamic Wave Model (DYMWAV). Visual Basic.Net Program was used to develop the model programming. The DYMWAV Model can be used to simulate one dimensional unsteady flow situation with backwater and tidal effects. The basic equations of DYMWAV are the Saint-Venant equations which are the nonlinear partial differential equations. These equations are solved by using the implicit weighted four points finite difference, and the Newton Raphson' s method (an iteration method) is used to solve the nonlinear equations.

The DYMWAV Model was applied to the Upper Ping and the Bang Pakong River Basins to investigate the model performance for the flow situations affected by backwater and tidal, respectively. The results show that the DYMWAV Model can simulate these flow situations satisfactory. The performance of the DYMWAV Model was then compared with the performance of the Hydrodynamic Model, which is the module of the MIKE 11 Model (MIKE 11 HD) and it is generally accepted for flow routing. This was carried out by applying the MIKE 11 HD Model on the identical case studies as applied to the DYMWAV Model. The Manning's n for each cross-section and each river calculated by model calibration and model verification using the DYMWAV Model was then applied to the MIKE 11 HD Model. The simulation results from the two models showed very well corresponding flow hydrographs and stage hydrographs. Moreover, the DYMWAV Model has shown an ability to simulate the upstream flow hydrographs that change abruptly. On the other hand, the MIKE 11 HD Model has shown very high flow fluctuation during the simulation. The reason for these occurrences possibly affect by the fact that the DYMWAV Model was developed by solving the nonlinear system equations while the MIKE 11 HD Model was developed by solving the linear system equations.

Punpim Puttaraksa

Student's signature

N. Sriwongsitanon

Thesis Advisor's signature

19 / 3 / 04

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ กรรมการสาขาวิชาเอก รองศาสตราจารย์สุภกิจ นนทนานันท์ กรรมการสาขาวิชารอง รองศาสตราจารย์ฝั่งผาย พรรณวดี ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัทเซ้าท์อีสท์เอเชียเทคโนโลยี จำกัด ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์สำนักงาน และทุนการศึกษา ขอขอบคุณ ดร.มานะ ภัทรพาณิชย์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ คุณกมล วิศาลสวัสดิ์ ที่ได้ช่วยแนะนำการใช้โปรแกรม Visual Basic.Net ขอขอบคุณ คุณสุประภาพร พัฒน์สิงห์เสนีย์ ที่ได้ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้านข้อมูลสำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ คุณเกษม ปิ่นทอง ที่ได้แนะนำหลักการการแก้ปัญหาเชิงตัวเลข ขอขอบคุณ คุณวรพันธ์ เกียรติชมภูกุล ที่ได้ช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการเขียนบทคัดย่อภาษาอังกฤษ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ที่อำนวยความสะดวกในการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณมนต์เทพ มะเปี่ยม และ เพื่อนนิสิตปริญญาโททุกท่าน ที่ได้สนับสนุนช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงได้

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแต่ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดและทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดี ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้เพื่อนำไปพัฒนาประเทศชาติต่อไป

พรรณพิมพ์ พุทธรักษา

มีนาคม 2547

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการศึกษา	3
การตรวจเอกสาร	5
ผลงานวิจัยการพัฒนาแบบจำลองการไหลในแม่น้ำที่ผ่านมาในอดีต	5
ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบกระจาย (Distributed Flow Routing)	8
สมการพื้นฐานของแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบกระจายแบบหนึ่งมิติ	8
การประมาณค่าด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Approximation)	10
แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิท (Implicit Dynamic Wave Model)	15
ทฤษฎีของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ในแบบจำลอง MIKE 11	39
สมการพื้นฐานของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic)	
ในแบบจำลอง MIKE 11	39
วิธีการแก้ปัญหา (Solution Scheme)	40
เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions)	45
ทฤษฎีของแบบจำลอง NAM (NAM Model) ในแบบจำลอง MIKE 11	46
พื้นที่ศึกษาและการรวบรวมข้อมูล	48
พื้นที่ศึกษา	50
การรวบรวมข้อมูลด้านอุทกวิทยาและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	53
อุปกรณ์และวิธีการ	58
อุปกรณ์	58
วิธีการ	58
การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิทแบบหนึ่งมิติ	58
การประยุกต์แบบจำลอง DYMWAV กับพื้นที่ศึกษา	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของแบบจำลอง DYMWAV	
ต่อเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ	71
ผลและวิจารณ์	74
ผลการประยุกต์แบบจำลอง DYMWAV กับลุ่มน้ำปึงตอนบน	75
ผลการประยุกต์แบบจำลอง DYMWAV กับลุ่มน้ำบางปะกง	93
ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของแบบจำลอง DYMWAV ต่อเงื่อนไข	
ขอบเขตด้านเหนือน้ำ	104
ผลการศึกษาความเหมาะสมของพารามิเตอร์แบบจำลอง	106
สรุปและเสนอแนะ	108
สรุป	108
ข้อเสนอแนะ	111
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	113
ภาคผนวก	116
ภาคผนวก ก ตัวอย่างข้อมูลด้านเข้าและผลการคำนวณของแบบจำลอง DYMWAV	117
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้แบบจำลอง DYMWAV	125
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	144

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมการเซนต์-เวินนัท	11
2	รายละเอียดกลุ่มน้ำสาขาในกลุ่มน้ำปึงตอนบน	50
3	รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าที่มีการเก็บข้อมูลรายวันและรายชั่วโมงที่ตั้งอยู่ใน กลุ่มน้ำปึงตอนบน	54
4	รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่กลุ่มน้ำบางปะกงและช่วงปีสถิติข้อมูล	57
5	ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติจากกระบวนการ การสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV สำหรับกลุ่มน้ำปึงตอนบน	78
6	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning Coefficient, n) ที่ได้จากการสอบเทียบ แบบจำลองDYMWAV การไหลในลำน้ำของกลุ่มน้ำปึงตอนบน	79
7	ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติจากกระบวนการ การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV สำหรับกลุ่มน้ำปึงตอนบน	82
8	ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติระหว่างข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และจากแบบจำลอง MIKE 11 กรณีสอบเทียบแบบจำลอง	92
9	ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติระหว่างข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และจากแบบจำลอง MIKE 11 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง	93
10	ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติจากกระบวนการ การสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV สำหรับกลุ่มน้ำบางปะกง	97
11	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning Coefficient, n) ที่ได้จากการสอบเทียบ แบบจำลองDYMWAV การไหลในลำน้ำของกลุ่มน้ำบางปะกง	98
12	ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติระหว่างข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และจากแบบจำลอง MIKE 11 กรณีสอบเทียบแบบจำลอง	103
13	การเปรียบเทียบความสามารถระหว่างแบบจำลอง DYMWAV และแบบจำลอง MIKE 11 HD	110

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การประมาณค่าผลต่างสี่เหลี่ยมสำหรับฟังก์ชัน $u(x)$	12
2	วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม	14
3	Rectangular Grid ที่ใช้ในการประมาณค่าผลต่างสี่เหลี่ยมแบบถ่วงน้ำหนัก 4 จุด	16
4	สมการในรูปแบบเมตริก สำหรับแม่น้ำที่แบ่งออกเป็น 4 ช่วงลำน้ำ	25
5	การกระจายตัวของเมตริก Jacobian กรณีโครงข่ายระบบแม่น้ำ	38
6	จุดกึ่งกลางของจุด 6 จุด สำหรับวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมแบบอิมพลิชิตแบบ 6-จุด	41
7	Computation Grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ	41
8	จุดกึ่งกลางของสมการต่อเนื่องในรูปแบบของ 6-Point Abbott Scheme	42
9	จุดกึ่งกลางของสมการ โมเมนต์ในรูปแบบของ 6-Point Abbott Scheme	44
10	โครงสร้างของแบบจำลอง NAM	47
11	ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบน	51
12	ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงและตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่า	52
13	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปึงตอนบน	55
14	ผังการทำงานของแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิชิตแบบหนึ่งมิติสำหรับโครงข่ายทางน้ำ	59
15	ผังการทำงานของการแก้ระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงด้วยวิธี Newton-Raphson	63
16	การเชื่อมโยงและโครงสร้างของ Module ต่างๆของแบบจำลอง DYMWAV	65
17	แผนภูมิโครงข่ายระบบแม่น้ำของกลุ่มน้ำปึงตอนบน	67
18	แผนภูมิแสดงการจำลองสภาพการไหลของแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำปราจีนบุรี และแม่น้ำนครนายก	69
19	เงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำกรณีทดสอบผลกระทบเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ	72
20	เงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำกรณีทดสอบผลกระทบเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ	73
21	การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม.ของสถานี P.75 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง	76

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
48 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ของสถานี Kgt.1 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง	95
49 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ปตร. บางขนาก กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง	95
50 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ปตร. ท่าไข่ กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง	96
51 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ปตร. ท่าถั่ว กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง	96
52 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ปตร. ปากตะคอง กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง	97
53 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานี Kgt.1	98
54 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร. บางขนาก	99
55 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร. ท่าไข่	99
56 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร. ท่าถั่ว	100
57 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร. ปากตะคอง	100
58 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานี Kgt.1	101
59 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร.บางขนาก	101
60 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร.ท่าไข่	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
61 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร.ท่าถั่ว	102
62 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร.ปากตะคอง	103
63 การเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่กิโลเมตรที่ 2 จากเหนือน้ำ	104
64 การเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่กิโลเมตรที่ 4 จากเหนือน้ำ	105
65 การเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่กิโลเมตรที่ 8 จากเหนือน้ำ	105
66 การเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่กิโลเมตรที่ 15 จากเหนือน้ำ	106
ภาพผนวกที่	
ข1 หน้าจอหลักของแบบจำลอง DYMWAV	126
ข2 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลอง	127
ข3 การเข้าสู่หน้าต่างการนำเข้าข้อมูลแม่น้ำ	128
ข4 หน้าต่างข้อมูลแม่น้ำ	128
ข5 วิธีการนำเข้าข้อมูลแม่น้ำจากข้อมูลด้านนอก	129
ข6 Dialogue Box การเลือกไฟล์ข้อมูลแม่น้ำ	130
ข7 หน้าต่างแสดงรายละเอียดของข้อมูลแม่น้ำที่ได้นำเข้าแล้ว	131
ข8 รายละเอียดของกิโลเมตรต่างๆที่มีการเก็บข้อมูลรูปตัดลำน้ำในแม่น้ำนั้นๆ	132
ข9 การป้อนข้อมูล Global Manning Coefficient	133
ข10 การเพิ่มจำนวนค่าที่ต้องการจะเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ	134
ข11 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสัมประสิทธิ์ความขรุขระ	135

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข12 หน้าจอของการป้อนข้อมูลระบบแม่น้ำ	136
ข13 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลระบบแม่น้ำ	137
ข14 วิธีการเข้าสู่หน้าจอเงื่อนไขขอบเขต	138
ข15 หน้าจอเงื่อนไขขอบเขตและข้อมูล Time Series	139
ข16 ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตและข้อมูล Time Series จากข้อมูลค่านอก	140
ข17 Dialogue Box ของการเลือกไฟล์ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต	141
ข18 รายละเอียดของข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตและข้อมูล Time Series ที่ได้ทำการนำเข้ามา	142
ข19 ขั้นตอนการคำนวณระดับน้ำและอัตราการไหล	143

การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิตแบบหนึ่งมิติ

Development of One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model

คำนำ

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน อุทกภัยเป็นภัยธรรมชาติที่สร้างความเดือดร้อนให้กับประชาชนเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณที่ราบลุ่มริมแม่น้ำ หรือบริเวณทุ่งน้ำท่วม (Flood Plains) โดยมีแนวโน้มของความรุนแรงที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ซึ่งสาเหตุสำคัญได้แก่ การพัฒนาชุมชนชนบทให้เป็นชุมชนเมือง ทำให้มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น มีบ้านเรือนเพิ่มมากขึ้น และการรुक้ำพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน โดยการตัดไม้ทำลายป่า และเปลี่ยนพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งจากเงื่อนงำของสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ ถ้าขาดการจัดการและการควบคุมที่ถูกต้องเหมาะสมแล้ว ก็จะทำให้เกิดสภาวะน้ำท่วมที่รุนแรง และเกิดผลเสียหายตามมาอย่างมาก ทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคมได้

การควบคุมสภาวะน้ำท่วม (Flood Control) และวิธีการป้องกันน้ำท่วม สามารถแบ่งออกได้เป็น สองมาตรการใหญ่ๆ คือ มาตรการใช้สิ่งก่อสร้าง (Structural Measures) และมาตรการไม่ใช่สิ่งก่อสร้าง (Non-Structure Measures) สำหรับมาตรการใช้สิ่งก่อสร้างนั้นนับว่าเป็นมาตรการที่มีราคาแพง แต่มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามมาตรการนี้สามารถทำให้เกิดปัญหาทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนสภาพแวดล้อมได้ ในทางตรงข้ามมาตรการที่ไม่ใช่สิ่งก่อสร้างเป็นมาตรการที่ประหยัดกว่า และมีผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนสภาพแวดล้อมน้อยกว่ามาตรการที่ใช้สิ่งก่อสร้าง อย่างไรก็ตามความมีประสิทธิภาพของมาตรการที่ไม่ใช่สิ่งก่อสร้างนั้นขึ้นอยู่กับความร่วมมือของประชาชนเป็นสำคัญ ถึงกระนั้นในการศึกษาการป้องกันสภาวะน้ำท่วมและระบบการบรรเทาอุทกภัยนั้นสมควรที่จะพิจารณาทั้งมาตรการใช้สิ่งก่อสร้างและมาตรการไม่ใช่สิ่งก่อสร้าง โดยทำการศึกษาเป็นแนวทางเลือกต่างๆ แล้วนำแต่ละทางเลือกมาเปรียบเทียบกันเพื่อที่จะได้ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

เนื่องจากแผนงานในการควบคุมสภาวะน้ำท่วมนั้นมีทางเลือกอยู่หลายทาง ดังนั้นการตัดสินใจเลือกทางเลือกในการควบคุมสภาวะน้ำท่วมอย่างมีประสิทธิภาพนั้นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก สำหรับวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนทางเลือกในการควบคุมสภาวะน้ำท่วม

คือการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) และแบบจำลองกายภาพทางชลศาสตร์ (Physical Hydraulic Models) โดยแบบจำลองดังกล่าวจะใช้เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยให้สามารถเข้าใจและแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ และวิธีการทางตัวเลข (Numerical Method) รวมทั้งความประหยัดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีความเหมาะสม และสะดวกต่อการประยุกต์ใช้งานมากกว่าแบบจำลองกายภาพทางชลศาสตร์ สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานควบคุมสถานะน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการประเมินสถานะน้ำท่วมที่เคยเกิดขึ้นในอดีตได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งสามารถทำได้โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะได้ พารามิเตอร์ควบคุม (Control Parameter) ที่จะนำไปใช้ประกอบการพิจารณาทางเลือกของแผนงานในการควบคุมสถานะน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพได้

ในปัจจุบันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำมีอยู่หลายประเภท ทั้งแบบจำลองที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ และแบบจำลองที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการจัดซื้อมาใช้งาน แบบจำลองที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ เช่น แบบจำลอง HEC-RAS, DWOPER และ FLDWAV เป็นต้น แบบจำลองที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ เช่น แบบจำลอง MIKE 11, ISIS, INFOWORKS และ HYDROWORKS เป็นต้น อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่เป็นที่นิยมกับผู้ใช้งานเป็นแบบจำลองที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวจัดทำขึ้นมาในเชิงธุรกิจ ผู้พัฒนาพยายามพัฒนาแบบจำลองให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานให้มากที่สุด แตกต่างจากแบบจำลองที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายที่ผู้พัฒนามีจุดประสงค์ในการสร้างเพื่อการศึกษาเพียงอย่างเดียว จึงไม่เป็นที่นิยมกับผู้ใช้เนื่องจากใช้งานยาก สำหรับการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิตแบบหนึ่งมิติ (One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model) ที่สามารถจำลองสภาพการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระบบการไหลในทางน้ำเปิด และการไหลที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วมและการขึ้นลงของน้ำทะเลได้ โดยคำนึงถึงการใช้งานของผู้ใช้ควบคู่ไปด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการของการเคลื่อนที่ของคลื่นพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติ (One Dimension Dynamic Wave Routing) และวิธีการในการแก้ปัญหาเชิงตัวเลข (Numerical Method) เพื่อนำไปพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติ
2. ประยุกต์ใช้โปรแกรม Visual Basic.Net ในการพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิทแบบหนึ่งมิติ (One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model) ที่สามารถจำลองสภาพการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระบบการไหลในทางน้ำเปิด ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม และการขึ้นลงของน้ำทะเลได้
3. เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนา โดยทำการประยุกต์แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มน้ำตัวอย่างและเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นกับผลที่ได้จากการประยุกต์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ซึ่งเป็นแบบจำลองย่อยในแบบจำลอง MIKE 11 (MIKE HD) กับกลุ่มน้ำตัวอย่างเดียวกัน

ขอบเขตการศึกษา

1. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับหลักการและวิธีการแก้ปัญหา รวมทั้งผลงานวิจัยที่เคยทำการศึกษามาแล้วที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติ
2. พัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิทแบบหนึ่งมิติ ให้สามารถใช้จำลองการไหลในลำน้ำให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด โดยใช้โปรแกรม Visual Basic.Net
3. ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มน้ำตัวอย่าง เพื่อประเมินอัตราการไหลและระดับน้ำที่จุดพิจารณาต่างๆที่ต้องการ โดยทำการสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Model Verification) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนของลำน้ำ

4. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD กับลุ่มน้ำตัวอย่างเดียวกัน เพื่อทำการประเมินอัตราการไหลและระดับน้ำที่จุดพิจารณาต่างๆที่ต้องการ โดยใช้พารามิเตอร์ตัวแทนของลำน้ำที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น
5. ทำการเปรียบเทียบผลการประเมินอัตราการไหล และระดับน้ำที่ตำแหน่งต่างๆของลำน้ำ ด้วยค่าทางสถิติ ตลอดจนประเมินข้อดีข้อเสียของแบบจำลองทั้งสองแบบจำลอง
6. จัดทำคู่มือการใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

การตรวจเอกสาร

ผลงานวิจัยการพัฒนาแบบจำลองการไหลในแม่น้ำที่ผ่านมาในอดีต

Meijer et al. (1965) ได้พัฒนาวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ “Node and Branch” ในการคำนวณโครงข่าย (Network) ของทางน้ำเปิดที่มีการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในทางน้ำเปิด (Unsteady Flow in Open-Channel) โดยประยุกต์ใช้กับทางน้ำที่เชื่อมต่อระหว่างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ 2 อ่าง โดยการไหลได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง (Vertical Tides) ในการศึกษาได้กำหนดให้ time step เท่ากับ 1 ชั่วโมง ผลการประยุกต์แบบจำลองพบที่เกิดสภาวะความไม่มั่นคงเล็กน้อย เนื่องจากแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาไม่คิดเทอมของความเฉื่อยในสมการ โมเมนต์

Vreugdenhili (1968) ทำการศึกษาความถูกต้องของการวิเคราะห์การไหลของโครงข่ายของทางน้ำเปิด ที่มีการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Unsteady Flow in Open Channel) โดยในการศึกษาดังกล่าวได้มีการกำหนดสมมติฐานต่างๆ ของวิธีจำลองแบบ Node and Branch และการแก้สมการโดยวิธี Finite Difference รวมถึงวิธีการเลือกค่า สัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนัก (Weighting Coefficient) ความยาวลำน้ำ และ Time Step ที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ (ทวนตัน, 2534)

Torranin (1969) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหนึ่งมิติที่ใช้ในการแก้ปัญหาการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระบบการไหลในทางน้ำเปิด ที่นำมาใช้กับทางน้ำเพียงสายเดียว (Single Reach) เป็นครั้งแรก โดยสมการควบคุมการไหลได้ทำการแก้ปัญหามุมการด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่องแบบอิมพลิต (Implicit Finite Difference) โดยทำการประยุกต์ใช้ผลการพัฒนาแบบจำลองกับแม่น้ำเจ้าพระยา จากบางโพธิ์ไปจนถึงปากแม่น้ำ ในการพัฒนาแบบจำลองครั้งนี้มีสมมติฐานคือ พิจารณาการไหลเฉพาะในลำน้ำเท่านั้น ไม่พิจารณาปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง และแรงเฉือนเนื่องจากลมในสมการเซนต์-เวเนนท และทำการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงด้วยวิธีเส้นตรง (Linearization) ด้วยการกำหนดค่าผลต่างของเวลาให้มีค่าน้อยๆ แทนการแก้ปัญหามุมการแบบไม่เป็นเส้นตรงด้วยการวนซ้ำ (Iteration) สำหรับผลการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลในการสอบเทียบแบบจำลองคือค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ส่วนการเปลี่ยนค่า Δx และ Δt ไม่มีผลต่อผลลัพธ์การคำนวณ และเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการคำนวณ สามารถเพิ่ม Δt ได้ถึง 1 ชั่วโมง

Stapel and De Vries (1970) ประสบความสำเร็จในการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Node and Branch ในการประเมินกราฟของระดับน้ำ และอัตราการไหล ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ วิธีการคำนวณประกอบด้วย การแทนสมการ Partial Differential ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสถานที่ ด้วย Total Differential ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเท่านั้น ผลของแรงเสียดทาน และผลของความเฉื่อยพิจารณาที่ Branch ส่วนผลของการเก็บกักจะพิจารณาที่ Node

Hann et al. (1972) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการแก้สมการด้วยวิธี Finite Difference ของสมการการไหลแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ และได้ศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้อง (Verification) ในการแก้ปัญหสมการการไหลโดยวิธี Explicit กับ Crank-Nicolson ผลการศึกษาพบว่าผลการประเมินสภาพการไหลให้ผลใกล้เคียงกับสภาพที่แท้จริง อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหโดยวิธี Crank-Nicolson ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าวิธี Explicit ประมาณ 1.75 เท่า สำหรับในกรณีการไหลแบบ 1 มิติ และ 2.5 เท่า สำหรับในกรณีการไหลแบบ 2 มิติ เมื่อกำหนดค่าช่วงเวลา (Δt) และระยะทาง (Δx) ที่เท่ากันทั้งสองวิธี แต่ถึงกระนั้นถ้ามีการกำหนดค่า Δt ที่เท่ากันเพียงอย่างเดียว พบว่าการแก้ปัญหโดยวิธี Crank-Nicolson ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธี Explicit เนื่องจากวิธี Crank-Nicolson สามารถกำหนดค่า Δx ได้มากกว่าวิธี Explicit ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องความไม่มีเสถียรภาพของแบบจำลองถ้ามีการกำหนดค่า Δx ที่มากจนไม่เหมาะสมกับค่า Δt

Delft Hydraulics Laboratory (1974) ได้ทำการศึกษาการป้องกันน้ำท่วมใน Rharb Plain ในประเทศโมร็อกโก พื้นที่ราบแห่งนี้ตั้งอยู่บนสามเหลี่ยมของแม่น้ำ Sibou ซึ่งมักเกิดปัญหาน้ำท่วมใหญ่เป็นประจำ จึงได้มีการตรวจสอบผลของวิธีการป้องกันน้ำท่วมด้วยวิธีการต่างๆ โดยการจัดสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาศึกษาลักษณะการไหลของน้ำในของแม่น้ำ Sibou ซึ่งมีลำน้ำสาขาใหญ่ คือแม่น้ำ Querrha ซึ่งเป็นราบลุ่ม ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาสภาพการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ได้ทำการประยุกต์ใช้วิธี Node and Branch

Ackermann et al. (1975) ได้พัฒนาแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model) ซึ่งประกอบด้วยสมการคณิตศาสตร์ที่อธิบายการไหลในลำน้ำและในทุ่งน้ำท่วม เพื่อศึกษาสภาพการไหลในลำน้ำของกลุ่มน้ำ Bicol ในประเทศฟิลิปปินส์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบผลของการควบคุมน้ำท่วมด้วยวิธีการต่างๆ โดยข้อมูลกราฟน้ำท่าที่เป็นข้อมูลด้านเข้าที่จุดควบคุมด้านเหนือน้ำ หรือที่จุดต่างๆ ในระหว่างจุดควบคุมด้านเหนือน้ำ และด้านท้ายน้ำ สามารถประเมินได้โดยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าซึ่งเป็นแบบจำลองอุทกวิทยา สำหรับข้อมูลที่ต้องการในการประยุกต์

ใช้แบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาประกอบด้วย ข้อมูลฝนรายวัน สถิติของระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำทำอย่างต่อเนื่อง ลักษณะของลำน้ำและที่ราบลุ่ม น้ำขึ้นน้ำลง สัมประสิทธิ์ความขรุขระ และสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่สมมติขึ้น ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าคงที่ที่เหมาะสม เช่น สัมประสิทธิ์ความขรุขระ และ สัมประสิทธิ์น้ำท่า โดยใช้ข้อมูลของพายุไต้ฝุ่น Sening ซึ่งเกิดขึ้นในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ.1970 โดยได้ทำการศึกษาวิธีการควบคุมน้ำท่วมที่สามารถบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำจากเหตุการณ์พายุดังกล่าว

Chatrcharoenmitr (1977) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการศึกษาสภาพการไหลของระบบแม่น้ำเจ้าพระยาจากบางโพธิ์ไปจนถึงเขื่อนเจ้าพระยา โดยการนำแบบจำลองของการเก็บกักในทุ่งน้ำท่วม (Storage Flood Plain) และแบบจำลอง Node and Branch ซึ่งเป็นแบบจำลองโครงข่ายของแม่น้ำ (River Network) มาเชื่อมด้วยสมการของฝาย เพื่อใช้อธิบายการไหลในแม่น้ำ การไหลหลากล้น (Overbank Flow) และการไหลย้อนกลับ (Backwater) โดยใช้เหตุการณ์น้ำท่วมปี 1970 และปี 1975 เพื่อหาลักษณะที่ราบลุ่ม (ความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาตรเก็บกัก) และสัมประสิทธิ์ของฝาย ด้วยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) ซึ่งพบว่าแหล่งเก็บกักที่ราบลุ่มอยู่ที่จังหวัดลพบุรี อ่างทองและอยุธยา

Vatcharasinthu (1977) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหนึ่งมิติสำหรับทางน้ำเดี่ยว (Single Reach) ที่ใช้ในการอธิบายการไหลในลำน้ำและการไหลในทุ่งน้ำท่วม ด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่องแบบอิมพลิต (Implicit Finite Difference) เพื่อทำการศึกษานหาแนวทางในการป้องกันน้ำท่วมของแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณบางโพธิ์ ถึงปากแม่น้ำ ของเหตุการณ์น้ำท่วมปีพ.ศ. 2518 ผลการศึกษาพบว่าแนวทางในการป้องกันน้ำท่วมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปริมาณน้ำหลากปีพ.ศ. 2518 คือ สร้างคันป้องกันน้ำท่วมตามแนวแม่น้ำบางส่วน คือที่กิโลเมตรที่ 32 ถึงกิโลเมตรที่ 60 ร่วมกับการผันน้ำด้วยอัตราการไหล 625 ลบ.ม./วินาที ที่บริเวณบางโพธิ์

Tingsanchali and Arbhabhirama (1978) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองโดยการผสมผสานระหว่างแบบจำลองทางน้ำเดี่ยว (Single Reach) ซึ่งพัฒนาโดย Torranin (1969) และแบบจำลอง Node and Branch กับแบบจำลองการเก็บกักในทุ่งน้ำท่วม (Storage Floodplain) ซึ่งพัฒนาโดย Chatrcharoenmitr (1977) โดยที่แบบจำลองนี้สามารถใช้ในการจำลองสภาพของระบบลำน้ำที่เป็นโครงข่ายได้ (Network) เพื่อใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำหลาก และศึกษาถึงผลของการขุดลอกแม่น้ำที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ

Amein and Kraus (1991) ได้พัฒนาแบบจำลองพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติเพื่อศึกษาการไหลในทางน้ำเปิดแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับแม่น้ำที่เป็นโครงข่ายของระบบลำน้ำ (Network) ด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่องแบบอิมพลีซิท โดยทำการแก้ระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงของสมการเซนต์-เวแนนท์ ด้วยวิธี Newton Raphson และเทคนิคการวนซ้ำ (Iteration)

ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบกระจายวิวิธ (Distributed Flow Routing)

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำท่านั้น สามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ วิธีการเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบลัมพ์ (Lumped Flow Routing) และวิธีการเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบกระจายวิวิธ (Distributed Flow Routing) สำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบลัมพ์นั้นจะวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำท่าเป็นฟังก์ชันของเวลาเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบกระจายวิวิธนั้นจะวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำท่าเป็นฟังก์ชันของพื้นที่และเวลา

สำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำท่าในสภาพธรรมชาตินั้น อัตราการไหล ความเร็ว และความลึกของการไหล มีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลา ตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนั้นในการประมาณค่าอัตราการไหล และระดับน้ำ ณ ตำแหน่งที่สนใจในระบบลำน้ำให้ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากที่สุดสมควรกระทำโดยใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบกระจายวิวิธ

1. สมการพื้นฐานของแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบกระจายวิวิธแบบหนึ่งมิติ

เนื่องจากในสภาพความเป็นจริงนั้นการไหลในแม่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงแบบสามมิติ คือ มีการเปลี่ยนแปลงตามแนวการไหลของน้ำ การเปลี่ยนแปลงตามแนวขวางของแม่น้ำ และการเปลี่ยนแปลงตามแนวความลึกของแม่น้ำ แต่ในทางปฏิบัติสำหรับหลายวัตถุประสงค์ของการใช้งานรวมทั้งด้วยข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ ขบวนการของการไหลสามารถประมาณค่าเฉพาะการเปลี่ยนแปลงในหนึ่งมิติตามแนวระยะทางของการไหลในทางน้ำเท่านั้น โดยที่ไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามแนวขวางของทางน้ำ และตามแนวความลึกของทางน้ำ ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้ Barre de Saint-Venant ได้พัฒนาสมการเซนต์-เวแนนท์ (Saint-Venant Equations) ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1871 เพื่ออธิบายการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาแบบหนึ่งมิติ (นุชนารถ, 2545)

สมการเซนต์-เวแนนท์ (Saint-Venant Equations) เป็นสมการที่ใช้อธิบายการไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Unsteady Open Channel Flow) โดยประกอบด้วยสมการ 2 สมการ คือ สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ดังแสดงตามลำดับดังนี้

สมการต่อเนื่อง

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_o)}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (2)$$

เมื่อ

x	=	ระยะทางในแนวราบตามแนวท่างน้ำและแม่น้ำ
t	=	เวลา
Q	=	อัตราการไหล
A	=	หน้าตัดขวางของการไหล
A_o	=	หน้าตัดขวางของ Off-Channel Dead Storage
q	=	ปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของทางน้ำ
h	=	ระดับผิวน้ำ
v_x	=	ความเร็วของปริมาณการไหลเข้าด้านข้างในทิศทางของการไหลในทางน้ำ
S_f	=	ความลาดชันของความเสียดทาน (Friction Slope)
S_e	=	ความลาดชันของ Eddy Loss
B	=	ความกว้างของทางน้ำที่ผิวน้ำ
W_f	=	แรงเฉือนเนื่องจากลม (Wind Shear Force)
β	=	แฟกเตอร์ปรับค่าโมเมนตัม (Momentum Correction Factor)
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

รูปแบบของสมการเซนต์-เวเนนตี ทั้ง Conservation และ Nonconservation Forms เมื่อไม่พิจารณาปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) แรงเฉือนจากลม (Wind Shear) และ Eddy Losses ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 โดยที่สมการเซนต์-เวเนนตี มีสมมติฐานดังต่อไปนี้ (นุชนารถ, 2545)

1.1 เป็นการไหลแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Flow) โดยความลึก และความเร็วในการไหลเปลี่ยนแปลงในทิศทางตามความยาวของลำน้ำ ซึ่งหมายความว่าความเร็วมีค่าคงที่ และผิวน้ำอยู่ในแนวระดับกับหน้าตัดใด ๆ ที่ตั้งฉากกับแกนตามแนวความยาว (Longitudinal Axis)

1.2 สมมุติให้การไหลเป็นแบบค่อย ๆ เปลี่ยนแปลง (Gradually Varied Flow) ตามแนวลำน้ำ ดังนั้นแรงดันของน้ำแบบสถิต (Hydrostatic Pressure) และความเร่งในแนวตั้ง (Vertical Accelerations) สามารถไม่นำมาพิจารณาได้

1.3 แกนตามแนวความยาวของลำน้ำเป็นเส้นตรงโดยประมาณ

1.4 ความลาดชันของท้องน้ำมีน้อยและท้องน้ำมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งหมายความว่าผลของการกัดเซาะ (Scour) และการทับถม (Deposition) ของท้องน้ำไม่นำมาพิจารณา

1.5 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Resistance Coefficients) สำหรับการไหลแบบ Steady Uniform Turbulent Flow สามารถนำมาประยุกต์ได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ เช่น สมการของแมนนิงสามารถนำมาใช้เพื่ออธิบายผลที่เกิดจากความเสียดทานได้

1.6 ของไหลมีสภาพที่ไม่สามารถอัดได้ (Incompressible) และความหนาแน่นมีค่าคงที่ตลอดช่วงของการไหล

2. การประมาณค่าด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Difference Approximation)

เนื่องจากสมการเซนต์-เวเนนตี อยู่ในรูปของ Nonlinear Partial Differential Equation ซึ่งประกอบด้วยอนุพันธ์ของระยะทาง และอนุพันธ์ของเวลา การแก้สมการสามารถทำได้โดยวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Schemes) สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการประมาณค่าแบบผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Difference) โดยการเปลี่ยนชุดของสมการอนุพันธ์บางส่วน (Partial Differential

Equations) ให้อยู่ในชุดของสมการผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Difference Equations) จากนั้นก็ทำการแก้ปัญหามาจากเวลาหนึ่งไปยังอีกเวลาหนึ่ง

ตารางที่ 1 สมการเซนต์-วีแนนท์

สมการต่อเนื่อง (Continuity equation)							
Conservation form	$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$						
Nonconservation form	$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0$						
สมการโมเมนตัม (Momentum equation)							
Conservation form							
$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t}$	+	$\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right)$	+	$g \frac{\partial y}{\partial x}$	-	$g(S_o - S_f)$	= 0
Local Acceleration Term		Convective acceleration term		Pressure force term		Gravity force term	Friction force term
Nonconservation form (unit width element)							
$\frac{\partial V}{\partial t}$	+	$V \frac{\partial V}{\partial x}$	+	$g \frac{\partial y}{\partial x}$	-	$g(S_o - S_f)$	= 0
						-----	Kinematic wave
						-----	Diffusion wave
						-----	Dynamic wave

ที่มา: นุชนารถ (2545)

การประมาณค่าของผลต่างสี่เหลี่ยม สามารถกระทำได้สำหรับฟังก์ชันของ u(x) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งการขยายอนุกรมของเทเลอร์ (Taylor Series Expansion) ของ u(x) ที่ x + Δx จะได้เป็น

$$u(x + \Delta x) = u(x) + \Delta x u'(x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 u''(x) + \frac{1}{6} \Delta x^3 u'''(x) + \dots \tag{3}$$

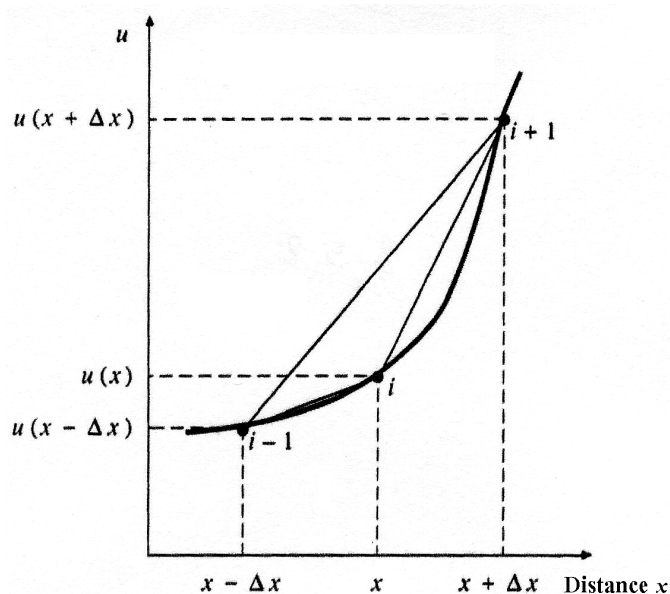
หรือ

$$u(x - \Delta x) = u(x) - \Delta x u'(x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 u''(x) - \frac{1}{6} \Delta x^3 u'''(x) + \dots \quad (4)$$

โดยที่ $u'(x) = \frac{\partial u}{\partial x}, u''(x) = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \dots, u^{(n)}(x) = \frac{\partial^{(n)} u}{\partial x^n}$

การประมาณค่าของความแตกต่างศูนย์กลาง (Central-Difference Approximation) แสดงดังสมการที่ (5)

$$u'(x) \approx \frac{u(x + \Delta x) - u(x - \Delta x)}{2\Delta x} \quad (5)$$



ภาพที่ 1 การประมาณค่าผลต่างสี่เหลี่ยมสำหรับฟังก์ชัน $u(x)$

ที่มา: Chow et al. (1988)

การประมาณค่าของความแตกต่างไปข้างหน้า (Forward Difference Approximation) แสดงดังสมการที่ (6)

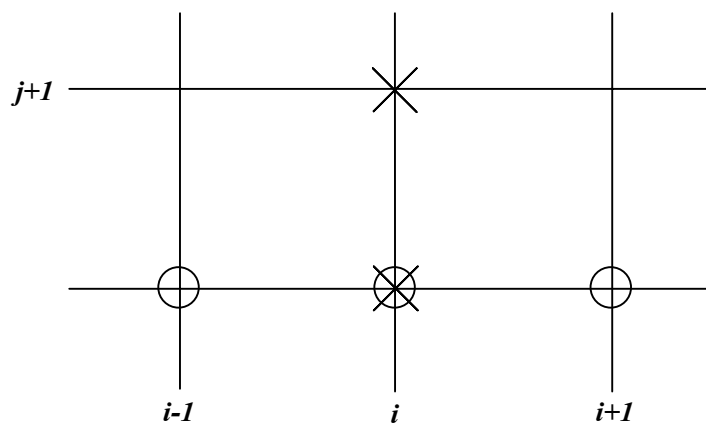
$$u'(x) \approx \frac{u(x + \Delta x) - u(x)}{\Delta x} \quad (6)$$

การประมาณค่าของความแตกต่างย้อนหลัง (Backward Difference Approximation) แสดงดังสมการที่ (7)

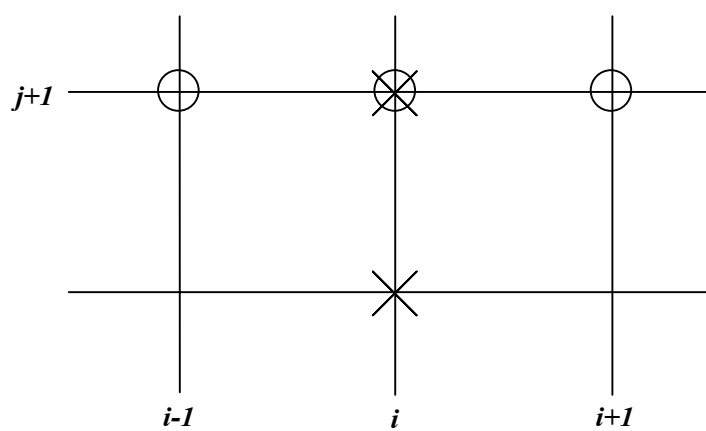
$$u'(x) \approx \frac{u(x) - u(x - \Delta x)}{\Delta x} \quad (7)$$

การประมาณค่าด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่องนั้นสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ วิธี Explicit และวิธี Implicit สำหรับวิธี Explicit นั้นอนุพันธ์ของระยะทางจะถูกประมาณค่าที่เส้นเวลา j และอนุพันธ์ของเวลาจะถูกประมาณค่าที่เส้นระยะทาง i ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก) จากภาพดังกล่าวจะเห็นว่าพจน์ที่ไม่ทราบค่าจะมีเพียงค่าเดียวเท่านั้น คือค่าที่อยู่บนเส้นเวลา $j+1$ ซึ่งเกิดจากการประมาณค่าอนุพันธ์ของเวลา และพจน์ที่ทราบค่ามี 3 ค่า ซึ่งอยู่บนเส้นเวลา j ดังนั้นการแก้สมการสามารถกระทำได้จากการกำหนดค่าที่ทราบจากเงื่อนไขเริ่มต้น เงื่อนไขขอบเขต หรือจากการคำนวณครั้งก่อนหน้า ในขณะที่วิธี Implicit นั้นอนุพันธ์ของระยะทางจะเปลี่ยนมาประมาณค่าบนเส้นเวลา $j+1$ แทน ดังแสดงในภาพที่ 2 (ข) จะเห็นว่าพจน์ที่ไม่ทราบค่าที่อยู่บนเส้นเวลา $j+1$ มีถึง 3 ค่า และพจน์ที่ทราบค่ามีเพียงค่าเดียวเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการแก้สมการเพื่อหาค่าที่ไม่ทราบค่าได้ทันที การแก้ปัญหาดังกล่าวต้องทำการแก้เป็นระบบสมการ (System of Equations) ซึ่งตัวที่ไม่ทราบบนเส้นเวลา $j+1$ จะถูกคำนวณออกมาพร้อมกัน

ถึงแม้ว่าการแก้ปัญหาคด้วยวิธี Explicit จะไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนวิธี Implicit แต่ข้อจำกัดที่สำคัญของวิธี Explicit คือเรื่องความไม่มีเสถียรภาพของการวิเคราะห์ ซึ่งจะต้องกำหนดค่า Δx และ Δt ให้มีค่าน้อยๆเพื่อนำไปสู่การลู่เข้าหาคำตอบที่ถูกต้อง ดังนั้นการแก้ปัญหาคด้วยวิธี Explicit นี้มีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดเงื่อนไขตรวจสอบความมีเสถียรภาพที่เรียกว่า Courant Condition (Courant และ Friedrichs, 1948) ดังแสดงในสมการที่ (8) เพื่อลดความผิดพลาดของการคำนวณ ในขณะที่วิธี Implicit นั้นถึงแม้ว่าจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อนกว่าวิธี Explicit ในทางตรงกันข้ามกลับมีเสถียรภาพมากกว่าโดยที่สามารถกำหนดค่า Δx และ Δt ที่มากกว่าได้และไม่ต้องการตรวจสอบเงื่อนไขความมีเสถียรภาพ



(ก) Explicit Method



(ข) Implicit Method

⊗ Grid point involved in time difference

⊕ Grid point involved in space difference

ภาพที่ 2 วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (ก) Explicit method (ข) Implicit method
ที่มา: Chapra and Canale (2002)

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x_i}{c_k} \quad (8)$$

เมื่อ c_k คือ ความเร็วของคลื่นจลนศาสตร์ (Kinematic Wave Celerity)

3. แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิท (Implicit Dynamic Wave Model)

ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 1 ถึงรูปแบบของแบบจำลองแบบดิสมิตริบิวท์แบบหนึ่งมิตินั้นจะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับเทอมของสมการโมเมนต์ ในสมการเซนต์-เวเนนต์ โดยมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือแบบจำลองแบบคลื่นจลนศาสตร์ (Kinematic Wave Model) แบบจำลองคลื่นดิฟฟิวชัน (Diffusion Wave Model) และแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์ (Dynamic Wave Model) จากแบบจำลองทั้งสามรูปแบบนี้ แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์เป็นแบบจำลองที่สามารถเลียนแบบธรรมชาติได้ใกล้เคียงที่สุดคือ สามารถจำลองสภาพการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระบบการไหลในทางน้ำเปิด และการไหลที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม และการขึ้นลงของน้ำทะเลได้

3.1 การประมาณค่าด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมแบบอิมพลีซิท (Implicit Finite Difference Approximation)

ในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติ (One Dimensional Dynamic Wave Model) ด้วยวิธี Implicit Finite Difference โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักของจุด 4 จุด (Weighted Four-Point Method) ในระหว่างเส้นเวลาที่อยู่ใกล้เคียงกันที่จุด M ดังแสดงในภาพที่ 3 ดังนั้นสมการอนุพันธ์บางส่วน (Partial Differential Equations) สามารถแทนได้ด้วยสมการผลต่างสี่เหลี่ยม ดังนี้

อนุพันธ์ของเวลา

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u_i^{j+1} + u_{i+1}^{j+1} - u_i^j - u_{i+1}^j}{2\Delta t} \quad (9)$$

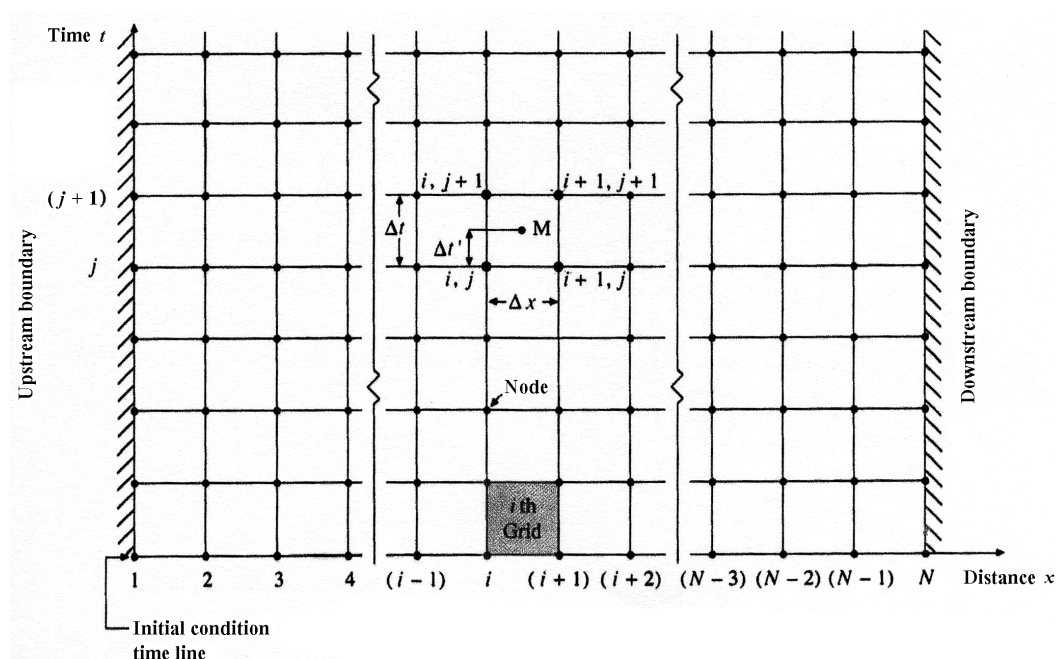
อนุพันธ์ของระยะทาง

$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \theta \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_i^{j+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{u_{i+1}^j - u_i^j}{\Delta x} \quad (10)$$

เทอมที่ไม่มีอนุพันธ์

$$\bar{u} = \theta \frac{u_i^{j+1} + u_{i+1}^{j+1}}{2} + (1-\theta) \frac{u_i^j + u_{i+1}^j}{2} \quad (11)$$

ค่าของ $\theta = \Delta t' / \Delta t$ เป็นตัวกำหนดจุด M ซึ่งอยู่ในแนวตั้งในภาพที่ 3 ในกรณีที่ $\theta = 0$ แล้ว เรียกว่า Fully Explicit และในกรณีที่ $\theta = 1$ เรียกว่า Fully Implicit สำหรับ Implicit Scheme นั้นเป็นกรณีที่ θ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 ซึ่ง Fread (1973, 1974) ได้แนะนำว่า θ ควรอยู่ในช่วงระหว่าง 0.55 ถึง 0.6



ภาพที่ 3 Rectangular Grid ที่ใช้ในการประมาณค่าผลต่างสี่เหลี่ยมแบบถ่วงน้ำหนัก 4 จุด
ที่มา: Chow et al. (1988)

การประมาณค่าโดยใช้หลักการของผลต่างสี่บ้เนื่องด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักของจุด 4 จุด (Weighted Four-Point Finite Difference Approximations) ดังแสดงในสมการ (9) ถึง (11) นั้น ถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าการเคลื่อนที่แบบพลศาสตร์ (Dynamic Routing) ตามสมการเซนต์-วีแนนท์ ซึ่งสามารถประมาณค่าอนุพันธ์ของระยะทางและอนุพันธ์ของเวลาได้ดังนี้คือ

อนุพันธ์ของระยะทาง

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \theta \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} + (1-\theta) \frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} \quad (12)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \theta \frac{h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta x_i} + (1-\theta) \frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta x_i} \quad (13)$$

อนุพันธ์ของเวลา

$$\frac{\partial(A + A_o)}{\partial t} = \frac{(A + A_o)_i^{j+1} + (A + A_o)_{i+1}^{j+1} - (A + A_o)_i^j - (A + A_o)_{i+1}^j}{2 \Delta t_i} \quad (14)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j}{2 \Delta t_i} \quad (15)$$

เทอมที่ไม่มีอนุพันธ์

$$\begin{aligned} q &= \theta \frac{q_i^{j+1} + q_{i+1}^{j+1}}{2} + (1-\theta) \frac{q_i^j + q_{i+1}^j}{2} \\ &= \theta \bar{q}_i^{j+1} + (1-\theta) \bar{q}_i^j \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} A &= \theta \frac{A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1}}{2} + (1-\theta) \frac{A_i^j + A_{i+1}^j}{2} \\ &= \theta \bar{A}_i^{j+1} + (1-\theta) \bar{A}_i^j \end{aligned} \quad (17)$$

รูปแบบของสมการผลต่างสี่เหลี่ยมของสมการต่อเนื่องทำได้โดยการแทนค่าสมการอนุพันธ์บางส่วนของสมการที่ (1) ด้วยสมการผลต่างสี่เหลี่ยม (สมการที่ (12) ถึง (17)) ดังนี้

$$\theta \left(\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} \right) + (1 - \theta) \left(\frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} \right) + \left[\frac{(A + A_0)_i^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_{i+1}^j}{2\Delta t_i} \right] - \theta \bar{q}_i^{j+1} + (1 - \theta) \bar{q}_i^j = 0 \quad (18)$$

จัดรูปของสมการที่ (18) ใหม่โดยจัดเป็นกลุ่มของ θ และ $1 - \theta$ ได้ดังนี้

$$\theta \left(\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} - \bar{q}_i^{j+1} \right) + (1 - \theta) \left(\frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} - \bar{q}_i^j \right) + \frac{(A + A_0)_i^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_{i+1}^j}{2\Delta t_j} = 0 \quad (19)$$

รูปแบบของสมการผลต่างสี่เหลี่ยมของสมการต่อเนื่องสามารถนำมาจัดรูปใหม่โดยคูณสมการ (19) ด้วย Δx_i จะได้

$$\theta (Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1} - \bar{q}_i^{j+1} \Delta x_i) + (1 - \theta) (Q_{i+1}^j - Q_i^j - \bar{q}_i^j \Delta x_i) + \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} [(A + A_0)_i^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_{i+1}^j] = 0 \quad (20)$$

ในทำนองเดียวกันรูปแบบของสมการผลต่างสี่เหลี่ยมของสมการโมเมนต์ทำได้โดยการแทนค่าสมการอนุพันธ์บางส่วนของ สมการที่ (2) ด้วยสมการผลต่างสี่เหลี่ยม (สมการที่ (12) ถึง (17)) ดังนี้

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2\Delta t_j} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) + \frac{1}{\Delta x_i} \left\{ \theta \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} \right] \right. \\
& \quad \left. + (1-\theta) \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^j - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^j \right] \right\} + g [\theta \bar{A}_i^{j+1} + (1-\theta) \bar{A}_i^j] \\
& \quad \left\{ \left(\frac{\theta}{\Delta x_i} \right) (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}) + \left(\frac{1-\theta}{\Delta x_i} \right) (h_{i+1}^j - h_i^j) + [\theta (\bar{S}_f)_i^{j+1} + (1-\theta) (\bar{S}_f)_i^j] \right. \\
& \quad \left. + [\theta (\bar{S}_e)_i^{j+1} + (1-\theta) (\bar{S}_e)_i^j] \right\} - [\theta (\bar{\beta} q v_x)_i^{j+1} + (1-\theta) (\bar{\beta} q v_x)_i^j] \\
& \quad + [\theta (\bar{W}_f \bar{B})_i^{j+1} + (1-\theta) (\bar{W}_f \bar{B})_i^j] = 0
\end{aligned} \tag{21}$$

จัดรูปของสมการที่ (21) ใหม่โดยจัดเป็นกลุ่มของ θ และ $1-\theta$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
& \frac{Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j}{2\Delta t_j} + \theta \left[\frac{(\beta Q^2/A)_{i+1}^{j+1} - (\beta Q^2/A)_i^{j+1}}{\Delta x_i} \right. \\
& \quad \left. + g \bar{A}_i^{j+1} \left(\frac{h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta x_i} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \right) - (\bar{\beta} q v_x)_i^{j+1} + (\bar{W}_f \bar{B})_i^{j+1} \right] \\
& \quad + (1-\theta) \left[\frac{(\beta Q^2/A)_{i+1}^j - (\beta Q^2/A)_i^j}{\Delta x_i} + g \bar{A}_i^j \left(\frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta x_i} + (\bar{S}_f)_i^j + (\bar{S}_e)_i^j \right) \right. \\
& \quad \left. - (\bar{\beta} q v_x)_i^j + (\bar{W}_f \bar{B})_i^j \right] = 0
\end{aligned} \tag{22}$$

รูปแบบของสมการผลต่างสี่เหลี่ยมของสมการโมเมนต์สามารถนำมาจัดรูปใหม่โดยคุณสมการ (22) ด้วย Δx_i จะได้

$$\begin{aligned}
& \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) \\
& + \theta \left\{ \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i \right] \right. \\
& \quad \left. - (\bar{\beta} q v_x)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{W}_f \bar{B})_i^{j+1} \Delta x_i \right\} \\
& + (1-\theta) \left\{ \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^j - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^j + g \bar{A}_i^j \left[h_{i+1}^j - h_i^j + (\bar{S}_f)_i^j \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^j \Delta x_i \right] \right. \\
& \quad \left. - (\bar{\beta} q v_x)_i^j \Delta x_i + (\bar{W}_f \bar{B})_i^j \Delta x_i \right\} = 0
\end{aligned} \tag{23}$$

โดยค่าเฉลี่ยตามช่วงลำน้ำแสดงได้ดังนี้

$$\bar{\beta}_i = \frac{\beta_i + \beta_{i+1}}{2} \tag{24}$$

$$\bar{A}_i = \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \tag{25}$$

$$\bar{B}_i = \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \tag{26}$$

$$\bar{Q}_i = \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \tag{27}$$

$$\bar{R}_i = \frac{\bar{A}_i}{\bar{B}_i} \tag{28}$$

$$(\bar{S}_f)_i = \frac{\bar{n}_i^2 |\bar{Q}_i| \bar{Q}_i}{\bar{A}_i^2 \bar{R}_i^{4/3}} \tag{29}$$

$$(\bar{S}_e)_i = \frac{(K_e)_i}{2g \Delta x_i} \left[\left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1}^2 - \left(\frac{Q}{A} \right)_i^2 \right] \tag{30}$$

$$(\bar{V}_r)_i = \left(\frac{Q_i}{A_i} \right) - (\bar{V}_w)_i \cos \omega \quad (31)$$

$$(\bar{W}_f)_i = (C_w)_i |(\bar{V}_r)_i| (\bar{V}_r)_i \quad (32)$$

เมื่อ

K_e	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของความสูญเสียสำหรับการลดขนาดหรือการขยายขนาดของทางน้ำ
V_r	=	ความเร็วของลมที่สัมพันธ์กับผิวน้ำ
V_w	=	ความเร็วของลม
ω	=	มุมระหว่างทิศทางของลมและทิศทางของน้ำ
C_w	=	ค่า Friction Drag Coefficient

3.2 การแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรง

เนื่องจากระบบของสมการผลต่างสี่เหลี่ยมของสมการเซนต์-เวินนัทเป็นระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรง (System of Nonlinear Equations) ซึ่งแสดงได้ในสมการ (33) ดังนี้

$$\begin{array}{ll}
 UB(h_1, Q_1) = 0 & \text{เงื่อนไขของขอบเขตทางด้านเหนือน้ำ} \\
 C_1(h_1, Q_1, h_2, Q_2) = 0 & \text{สมการต่อเนื่องสำหรับ grid 1} \\
 M_1(h_1, Q_1, h_2, Q_2) = 0 & \text{สมการโมเมนตัมสำหรับ grid 1} \\
 \vdots & \\
 C_i(h_i, Q_i, h_{i+1}, Q_{i+1}) = 0 & \text{สมการต่อเนื่องสำหรับ grid i} \\
 M_i(h_i, Q_i, h_{i+1}, Q_{i+1}) = 0 & \text{สมการโมเมนตัมสำหรับ grid i} \\
 \vdots & \\
 C_{N-1}(h_{N-1}, Q_{N-1}, h_N, Q_N) = 0 & \text{สมการต่อเนื่องสำหรับ grid N-1} \\
 M_{N-1}(h_{N-1}, Q_{N-1}, h_N, Q_N) = 0 & \text{สมการโมเมนตัมสำหรับ grid N-1} \\
 DB(h_N, Q_N) = 0 & \text{เงื่อนไขของขอบเขตทางด้านท้ายน้ำ}
 \end{array} \quad (33)$$

สำหรับการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงดังนั้นสามารถแก้ปัญหาได้โดยวิธี Newton – Raphson (Chapra and Canale, 2002) และจากสมการที่ (33) สามารถแสดงให้อยู่ในระบบของสมการของตัวไม่ทราบค่าได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \tag{34}$$

$$\text{เมื่อ } x_i = (Q_i, h_i)$$

จาก First Order Taylor Series Expansion สำหรับกรณีที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแสดงได้ดังนี้คือ

$$f_{k,i+1} = f_{k,i} + (x_{1,i+1} - x_{1,i}) \frac{\partial f_{k,i}}{\partial x_1} + (x_{2,i+1} - x_{2,i}) \frac{\partial f_{k,i}}{\partial x_2} + \dots + (x_{n,i+1} - x_{n,i}) \frac{\partial f_{k,i}}{\partial x_n} \tag{35}$$

$$\text{เมื่อ } f_{k,i+1} = 0 \tag{36}$$

จัดรูปของระบบของสมการที่ (34) ตามสมการที่ (35) และ (36) จะได้

$$\begin{aligned} (x_{1,i+1} - x_{1,i}) \frac{\partial f_{k,i}}{\partial x_1} + (x_{2,i+1} - x_{2,i}) \frac{\partial f_{k,i}}{\partial x_2} + \dots &= -f_{k,i} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ (x_{1,i+1} - x_{1,i}) \frac{\partial f_{n,i}}{\partial x_1} + (x_{2,i+1} - x_{2,i}) \frac{\partial f_{n,i}}{\partial x_2} + \dots &= -f_{n,i} \end{aligned} \tag{37}$$

จัดรูปของระบบสมการที่(37) ให้อยู่ในรูปของเมตริก จะได้

$$[Z][\Delta x_i] = -[F_i] \quad (38)$$

$[Z]$ คือ Jacobian ซึ่งหมายถึงเมตริกสัมประสิทธิ์ (Coefficient Matrix) สำหรับอนุพันธ์บางส่วนลำดับที่ 1

$-[F_i]$ คือ เวกเตอร์ที่เป็นลบของส่วนที่เหลืออยู่ (Vector of the Negative of the Residuals)

เมื่อทำการแก้ระบบสมการ (38) โดยเทคนิคการแก้เมตริกสามารถหาค่า Δx_i ได้ และจากนั้นจะได้ค่า $x_{k,i+1} = x_{k,i} + \Delta x_i$ (เมื่อ k คือหมายเลขของตัวแปร) ขบวนการจะถูกทำซ้ำจนกระทั่ง Δx_i มีค่าน้อยกว่าค่าที่สามารถยอมรับได้

ระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงของสมการเซนท์-วิแนนท์ เพื่อหาค่าของเวกเตอร์ส่วนที่เหลืออยู่แสดงในสมการ (39) และเมื่อทำการหาอนุพันธ์บางส่วนลำดับที่ 1 ของสมการที่ (33) ก็จะได้ Jacobian จากนั้นจัดรูปสมการให้อยู่ในรูปของระบบสมการแบบเส้นตรงตามสมการที่ (37) จะได้ระบบของสมการแบบเส้นตรงดังสมการที่ (40)

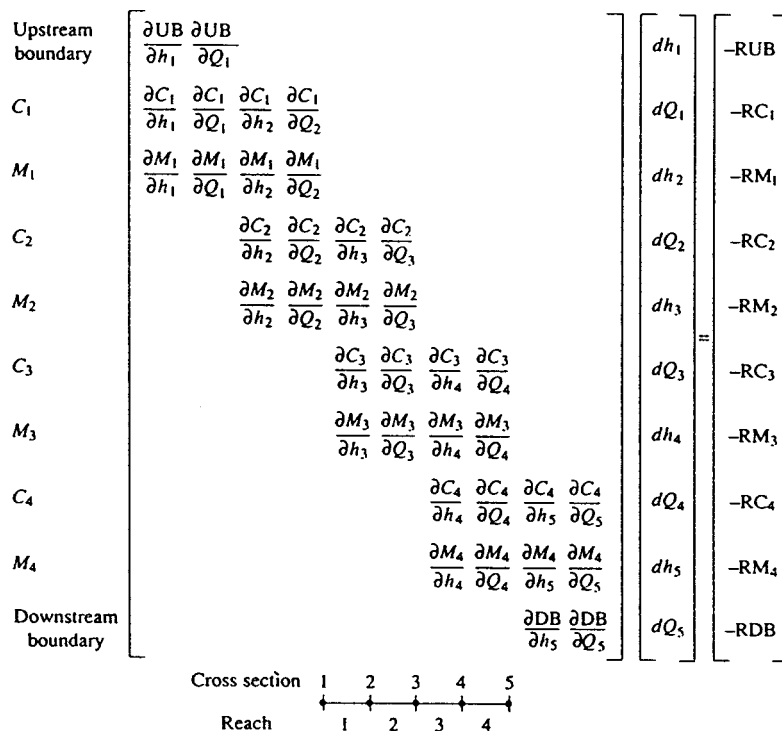
$UB(h_1^k, Q_1^k) = RUB^k$	ส่วนที่เหลืออยู่จากเงื่อนไขของขอบเขตทางด้านเหนือ
$C_1(h_1^k, Q_1^k, h_2^k, Q_2^k) = RC_1^k$	ส่วนที่เหลืออยู่จากสมการต่อเนื่องที่ grid 1
$M_1(h_1^k, Q_1^k, h_2^k, Q_2^k) = RM_1^k$	ส่วนที่เหลืออยู่จากสมการ โมเมนต์สำหรับ grid 1
\vdots	
$C_i(h_i^k, Q_i^k, h_{i+1}^k, Q_{i+1}^k) = RC_i^k$	ส่วนที่เหลืออยู่จากสมการต่อเนื่องสำหรับ grid i
$M_i(h_i^k, Q_i^k, h_{i+1}^k, Q_{i+1}^k) = RM_i^k$	ส่วนที่เหลืออยู่จากสมการ โมเมนต์สำหรับ grid i
\vdots	
$C_{N-1}(h_{N-1}^k, Q_{N-1}^k, h_N^k, Q_N^k) = RC_{N-1}^k$	ส่วนที่เหลืออยู่จากสมการต่อเนื่องสำหรับ grid N-1
$M_{N-1}(h_{N-1}^k, Q_{N-1}^k, h_N^k, Q_N^k) = RM_{N-1}^k$	ส่วนที่เหลืออยู่จากสมการ โมเมนต์สำหรับ grid N-1
$DB(h_N^k, Q_N^k) = RDB^k$	ส่วนที่เหลืออยู่จากเงื่อนไขของขอบเขตทางด้านท้าย

(39)

$$\begin{aligned}
\frac{\partial UB}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial UB}{\partial Q_1} dQ_1 &= -RUB^k \\
\frac{\partial C_1}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial C_1}{\partial Q_1} dQ_1 + \frac{\partial C_1}{\partial h_2} dh_2 + \frac{\partial C_1}{\partial Q_2} dQ_2 &= -RC_1^k \\
\frac{\partial M_1}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial M_1}{\partial Q_1} dQ_1 + \frac{\partial M_1}{\partial h_2} dh_2 + \frac{\partial M_1}{\partial Q_2} dQ_2 &= -RM_1^k \\
&\vdots \\
\frac{\partial C_i}{\partial h_i} dh_i + \frac{\partial C_i}{\partial Q_i} dQ_i + \frac{\partial C_i}{\partial h_{i+1}} dh_{i+1} + \frac{\partial C_i}{\partial Q_{i+1}} dQ_{i+1} &= -RC_i^k \\
\frac{\partial M_i}{\partial h_i} dh_i + \frac{\partial M_i}{\partial Q_i} dQ_i + \frac{\partial M_i}{\partial h_{i+1}} dh_{i+1} + \frac{\partial M_i}{\partial Q_{i+1}} dQ_{i+1} &= -RM_i^k \\
&\vdots \\
\frac{\partial C_{N-1}}{\partial h_{N-1}} dh_{N-1} + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_{N-1}} dQ_{N-1} + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial h_N} dh_N + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_N} dQ_N &= -RC_{N-1}^k \\
\frac{\partial M_{N-1}}{\partial h_{N-1}} dh_{N-1} + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_{N-1}} dQ_{N-1} + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial h_N} dh_N + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_N} dQ_N &= -RM_{N-1}^k \\
\frac{\partial DB}{\partial h_N} dh_N + \frac{\partial DB}{\partial Q_N} dQ_N &= -RDB^k
\end{aligned} \tag{40}$$

ระบบสมการแบบเส้นตรงในสมการที่ (40) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกตั้งสมการที่ (38) ได้ดังแสดงในภาพที่ 4 จากภาพดังกล่าวเมื่อพิจารณาเมตริกสัมประสิทธิ์ Jacobian พบว่าเทอมที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์จะมีการจัดเรียงตัวเป็นแถบกว้าง 4 แถวตามแนวเส้นทแยงมุมของเมตริกเท่านั้น นอกจากนั้นจะมีค่าเป็นศูนย์หมด เพื่อเป็นการลดขนาดเมตริกและประหยัดเวลาในการคำนวณการแก้เมตริก Fread (1971) แนะนำให้นำวิธี Gaussian Elimination มาทำการตัดแปลง โดยจะทำการเก็บค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะเทอมที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์เท่านั้น ซึ่งสามารถลดขนาดเมตริกลงได้จากขนาด $2N \times 2N$ เป็น $2N \times 4$ เมื่อ N คือจำนวนรูปตัดตามขวางของแม่น้ำทั้งหมดตลอดความยาวของลำน้ำ

จากการแก้สมการ (40) จะได้ค่าของ dh_i และ dQ_i สำหรับเทอมที่ไม่ทราบค่าที่ลำดับการทำซ้ำ $(k+1)$ จะอยู่ในรูปของสมการที่ (41) และ (42)



ภาพที่ 4 แสดงสมการในรูปแบบเมตริก สำหรับแม่น้ำที่แบ่งออกเป็น 4 ช่วงลำน้ำ
ที่มา: Chow et al (1988)

$$h_i^{k+1} = h_i^k + dh_i \tag{41}$$

$$Q_i^{k+1} = Q_i^k + dQ_i \tag{42}$$

สำหรับอนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ในเมตริก Jacobian สามารถแจกแจงในรายละเอียดของแต่ละเทอมได้ดังนี้

3.2.1 อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของสมการต่อเนื่อง

จากสมการผลต่างสืบเนื่องของสมการต่อเนื่อง (สมการที่ (20))

$$\theta(Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1} - \bar{q}_i^{j+1} \Delta x_i) + (1 - \theta)(Q_{i+1}^j - Q_i^j - \bar{q}_i^j \Delta x_i) + \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} [(A + A_0)_{i+1}^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^j - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_i^{j+1}] = 0$$

$$\text{เมื่อ } B = \frac{\partial A}{\partial h} \quad \text{ดังนั้น } \frac{\partial C}{\partial h} = \frac{\partial C}{\partial A} \times \frac{\partial A}{\partial h} = B \frac{\partial C}{\partial A}$$

1) อนุพันธ์บางส่วนของสมการต่อเนื่องเทียบกับระดับน้ำที่ระยะทาง i

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial h_i} &= (B + B_0)_i^{j+1} \frac{\partial C}{\partial (A + A_0)_i^{j+1}} \\ &= (B + B_0)_i^{j+1} \left[\frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} \frac{\partial (A + A_0)_i^{j+1}}{\partial (A + A_0)_i^{j+1}} \right] \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ } \frac{\partial C}{\partial h_i} = \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} (B + B_0)_i^{j+1} \quad (43)$$

เมื่อ B_0 ความกว้างผิวน้ำของหน้าตัดขวาง Off-Channel Dead Storage

2) อนุพันธ์บางส่วนของสมการต่อเนื่องเทียบกับระดับน้ำที่เส้นระยะทาง $i+1$

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial h_{i+1}} &= (B + B_0)_{i+1}^{j+1} \frac{\partial C}{\partial (A + A_0)_{i+1}^{j+1}} \\ &= (B + B_0)_{i+1}^{j+1} \left[\frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} \frac{\partial (A + A_0)_{i+1}^{j+1}}{\partial (A + A_0)_{i+1}^{j+1}} \right] \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ } \frac{\partial C}{\partial h_{i+1}} = \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} (B + B_0)_{i+1}^{j+1} \quad (44)$$

3) อนุพันธ์บางส่วนของสมการต่อเนื่องเทียบกับอัตราการไหลที่เส้นระยะทาง i

$$\frac{\partial C}{\partial Q_i} = -\theta \quad (45)$$

4) อนุพันธ์บางส่วนของสมการต่อเนื่องเทียบกับอัตราการไหลที่เส้นระยะทาง $i+1$

$$\frac{\partial C}{\partial Q_{i+1}} = \theta \quad (46)$$

3.2.2 อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของสมการโมเมนต์

จากสมการผลต่างสืบเนื่องของสมการโมเมนต์ (สมการที่ (23))

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) \\ & + \theta \left\{ \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + g\bar{A}_i^{j+1} [h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i] \right. \\ & \quad \left. - (\beta qv_x)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{W}_f \bar{B})_i^{j+1} \Delta x_i \right\} \\ & + (1-\theta) \left\{ \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^j - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^j + g\bar{A}_i^j [h_{i+1}^j - h_i^j + (\bar{S}_f)_i^j \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^j \Delta x_i] \right. \\ & \quad \left. - (\beta qv_x)_i^j \Delta x_i + (\bar{W}_f \bar{B})_i^j \Delta x_i \right\} = 0 \end{aligned}$$

1) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของสมการโมเมนต์เทียบกับระดับน้ำที่เส้น
ระยะทาง i

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_i} = \theta & \left\{ -\frac{\partial}{\partial h_i} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + \frac{\partial}{\partial h_i} \left[g\bar{A}_i^{j+1} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i) \right] \right. \\ & \left. + \frac{\partial (\bar{W}_f \bar{B})_i^{j+1}}{\partial h_i} \Delta x_i \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_i} = \theta & \left\{ -\left[\frac{A_i^{j+1}}{(A^2)_i^{j+1}} \left(\frac{\partial (\beta Q^2)_i^{j+1}}{\partial h_i} - \left(\beta Q^2 B \frac{\partial h}{\partial h} \right)_i^{j+1} \right) \right] + g\bar{A}_i^{j+1} \left[-1 + \left(\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial h} \right)_i^{j+1} \Delta x_i \right. \right. \\ & \left. \left. + \left(\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial h} \right)_i^{j+1} \Delta x_i \right] + g \frac{\partial (\bar{A}_i^{j+1})}{\partial h_i} [h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i] \right. \\ & \left. + \bar{W}_f \frac{\partial (B_i^{j+1} + B_{i+1}^{j+1})}{\partial h_i} \Delta x_i \right\} \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_i} = \theta \left\{ \left(\frac{\beta Q^2 B}{A^2} \right)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[-1 + \left(\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial h} \right)_i^{j+1} \Delta x_i \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial h} \right)_i^{j+1} \Delta x_i \right] + \frac{g B_i^{j+1}}{2} \left[h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left(\bar{W}_f \frac{dB}{dh} \right)_i^{j+1} \Delta x_i \right\} \quad (47) \end{aligned}$$

2) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของสมการ โมเมนต์เทียบกับระดับน้ำที่เส้น

ระยะทาง $i+1$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} = \theta \left\{ \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} + \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \left[g \bar{A}_i^{j+1} \left(h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i \right) \right] \right. \\ \left. + \frac{\partial (\bar{W}_f \bar{B})_i^{j+1}}{\partial h_{i+1}} \Delta x_i \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} = \theta \left\{ \left[\frac{A_{i+1}^{j+1}}{(A^2)_{i+1}^{j+1}} \left(\frac{\partial (\beta Q^2)_{i+1}^{j+1}}{\partial h_i} - \left(\beta Q^2 B \frac{\partial h}{\partial h} \right)_{i+1}^{j+1} \right) \right] + g \bar{A}_i^{j+1} \left[1 + \left(\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial h} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial h} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i \right] + g \frac{\partial (\bar{A}_i^{j+1})}{\partial h_{i+1}} \left[h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i \right] \right. \\ \left. + \bar{W}_f \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \left(\frac{B_i^{j+1} + B_{i+1}^{j+1}}{2} \right) \Delta x_i \right\} \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} = \theta \left\{ - \left(\frac{\beta Q^2 B}{A^2} \right)_{i+1}^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[1 + \left(\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial h} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial h} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i \right] + \frac{g B_{i+1}^{j+1}}{2} [h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i] \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left(\bar{W}_f \frac{dB}{dh} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i \right\} \quad (48) \end{aligned}$$

3) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของสมการ โมเมนต์เทียบกับอัตราการไหลที่
เส้นระยะทาง i

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial Q_i} = \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} + \theta \left\{ - \frac{\partial}{\partial Q_i} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + \frac{\partial}{\partial Q_i} [g \bar{A}_i^{j+1} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^j + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i \right. \right. \\ \left. \left. + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i) \right] \right\} \\ = \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} + \theta \left\{ - \left[\frac{2(A\beta Q)_i^{j+1}}{(A^2)_i^{j+1}} \right] + \left[g \bar{A}_i^{j+1} \left(\left(\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial Q} \right)_i^{j+1} \Delta x_i + \left(\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial Q} \right)_i^{j+1} \Delta x_i \right) \right] \right\} \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial Q_i} = \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} + \theta \left\{ - 2 \left(\frac{\beta Q}{A} \right)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[\left(\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial Q} \right)_i^{j+1} \Delta x_i \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial Q} \right)_i^{j+1} \Delta x_i \right] \right\} \quad (49) \end{aligned}$$

4) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของสมการ โมเมนต์เทียบกับอัตราการไหลที่
เส้นระยะทาง i+1

$$\begin{aligned}\frac{\partial M}{\partial Q_{i+1}} &= \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} + \theta \left\{ \frac{\partial}{\partial Q_{i+1}} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} + \frac{\partial}{\partial Q_{i+1}} \left[g \bar{A}_i^{j+1} \left(h_{i+1}^{j+1} - h_i^j + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i \right) \right] \right\} \\ &= \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} + \theta \left\{ \left[\frac{2(A\beta Q)_{i+1}^{j+1}}{(A^2)_{i+1}^{j+1}} \right] + \left[g \bar{A}_i^{j+1} \left(\left(\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial Q} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i + \left(\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial Q} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i \right) \right] \right\}\end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}\frac{\partial M}{\partial Q_{i+1}} &= \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} + \theta \left\{ 2 \left(\frac{\beta Q}{A} \right)_{i+1}^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[\left(\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial Q} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \left(\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial Q} \right)_{i+1}^{j+1} \Delta x_i \right] \right\}\end{aligned}\quad (50)$$

3.2.3 อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันพลังงาน

จาก

$$\begin{aligned}(\bar{S}_f)_i &= \frac{\bar{n}_i^2 |\bar{Q}_i| \bar{Q}_i}{A_i^2 \bar{R}_i^{4/3}} = \frac{|\bar{Q}_i| \bar{Q}_i}{\bar{K}_i^2} \\ \bar{K}_i &= \frac{\bar{A}_i \bar{R}_i^{2/3}}{\bar{n}_i^2}\end{aligned}$$

1) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันพลังงานเทียบกับระดับน้ำที่เส้น

ระยะทาง i

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial h_i} &= \frac{\partial}{\partial h_i} \left(\frac{\bar{Q}_i^2}{\bar{K}_i^2} \right) = \frac{\bar{K}_i^2 \frac{\partial \bar{Q}_i^2}{\partial h_i} - \bar{Q}_i^2 2\bar{K}_i \frac{\partial \bar{K}_i}{\partial h_i}}{\bar{K}_i^4} \\ &= \frac{-\bar{Q}_i^2 2\bar{K}_i \frac{\partial}{\partial h_i} \left(\frac{K_i + K_{i+1}}{2} \right)}{\bar{K}_i^4} \\ &= -\frac{\bar{Q}_i^2}{\bar{K}_i^3} \frac{\partial K_i}{\partial h_i}\end{aligned}$$

จะได้

$$\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial h_i} = -\frac{(\bar{S}_f)_i}{\bar{K}_i} \frac{dK_i}{dh_i} \quad (51)$$

2) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันพลังงานเทียบกับระดับน้ำที่เส้นระยะทาง $i+1$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{S}_f}{\partial h_{i+1}} &= \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \left(\frac{\bar{Q}_i^2}{\bar{K}_i^2} \right) = \frac{\bar{K}_i^2 \frac{\partial \bar{Q}_i^2}{\partial h_{i+1}} - \bar{Q}_i^2 2\bar{K}_i \frac{\partial \bar{K}_i}{\partial h_{i+1}}}{\bar{K}_i^4} \\ &= \frac{-\bar{Q}_i^2 2\bar{K}_i \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \left(\frac{K_i + K_{i+1}}{2} \right)}{\bar{K}_i^4} \\ &= -\frac{\bar{Q}_i^2}{\bar{K}_i^3} \frac{\partial K_{i+1}}{\partial h_{i+1}} \end{aligned}$$

จะได้

$$\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial h_{i+1}} = -\frac{(\bar{S}_f)_i}{\bar{K}_i} \frac{dK_{i+1}}{dh_{i+1}} \quad (52)$$

3) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันพลังงานเทียบกับอัตราการใช้ที่เส้นระยะทาง i

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{S}_f}{\partial Q_i} &= \frac{\partial}{\partial Q_i} \left(\frac{\bar{Q}_i^2}{\bar{K}_i^2} \right) = \frac{\bar{K}_i^2 \frac{\partial \bar{Q}_i^2}{\partial Q_i} - \bar{Q}_i \frac{\partial \bar{K}_i^2}{\partial Q_i}}{\bar{K}_i^4} \\ &= \frac{\bar{K}_i^2 2\bar{Q}_i \frac{\partial}{\partial Q_i} \left(\frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \right)}{\bar{K}_i^4} \\ &= \frac{\bar{Q}_i}{\bar{K}_i^2} \end{aligned}$$

จะได้

$$\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial Q_i} = \frac{\bar{Q}_i}{\bar{K}_i^2} \quad (53)$$

4) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันพลังงานเทียบกับอัตราการไหล
ที่เส้นระยะทาง $i+1$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial Q_{i+1}} &= \frac{\partial}{\partial Q_{i+1}} \left(\frac{\bar{Q}_i^2}{\bar{K}_i^2} \right) = \frac{\bar{K}_i^2 \frac{\partial \bar{Q}_i^2}{\partial Q_{i+1}} - \bar{Q}_i \frac{\partial \bar{K}_i^2}{\partial Q_{i+1}}}{\bar{K}_i^4} \\ &= \frac{\bar{K}_i^2 2\bar{Q}_i \frac{\partial}{\partial Q_{i+1}} \left(\frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \right)}{\bar{K}_i^4} = \frac{\bar{Q}_i}{\bar{K}_i^2}\end{aligned}$$

จะได้
$$\frac{\partial \bar{S}_f}{\partial Q_{i+1}} = \frac{\bar{Q}_i}{\bar{K}_i^2} \quad (54)$$

3.2.4 อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันของ Eddy Loss

จาก
$$\bar{S}_e = \frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \left[\left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1}^2 - \left(\frac{Q}{A} \right)_i^2 \right]$$

1) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันของ Eddy Loss เทียบกับระดับ
น้ำที่เส้นระยะทาง i

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial h_i} &= \left\{ \frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \frac{\partial}{\partial h_i} \left[\left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1}^2 - \left(\frac{Q}{A} \right)_i^2 \right] \right\} + \left\{ \left[\left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1}^2 - \left(\frac{Q}{A} \right)_i^2 \right] \frac{\partial}{\partial h_i} \left(\frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \right) \right\} \\ &= \frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \left[-2 \left(\frac{Q}{A} \right)_i \frac{\partial}{\partial h_i} \left(\frac{Q}{A} \right)_i \right] \\ &= \frac{-(K_e)_i Q_i}{g\Delta x_i A_i} \left(\frac{A \frac{\partial Q_i}{\partial h_i} - Q_i B_i \frac{\partial h_i}{\partial h_i}}{A_i^2} \right)\end{aligned}$$

จะได้
$$\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial h_i} = \left(\frac{(K_e) Q^2 B}{g\Delta x A^3} \right)_i \quad (55)$$

2) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันของ Eddy Loss เทียบกับระดับน้ำที่เส้นระยะทาง $i+1$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial h_{i+1}} &= \left\{ \frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \left[\left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1}^2 - \left(\frac{Q}{A} \right)_i^2 \right] \right\} + \left\{ \left[\left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1}^2 - \left(\frac{Q}{A} \right)_i^2 \right] \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \left(\frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \right) \right\} \\ &= \frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \left[2 \left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1} \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1} \right] \\ &= \frac{(K_e)_i Q_{i+1}}{g\Delta x_i A_{i+1}} \left(\frac{A \frac{\partial Q_{i+1}}{\partial h_{i+1}} - Q_{i+1} B_{i+1} \frac{\partial h_{i+1}}{\partial h_{i+1}}}{A_{i+1}^2} \right)\end{aligned}$$

จะได้
$$\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial h_{i+1}} = \left(-\frac{(K_e)Q^2 B}{g\Delta x A^3} \right)_{i+1} \quad (56)$$

3) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันของ Eddy Loss เทียบกับอัตราไหลที่เส้นระยะทาง i

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial Q_i} &= \frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \left[-2 \left(\frac{Q}{A} \right)_i \frac{\partial}{\partial Q_i} \left(\frac{Q}{A} \right)_i \right] \\ &= \frac{-(K_e)_i Q_i}{g\Delta x_i A_i} \left[\frac{A_i \frac{\partial Q_i}{\partial Q_i} - Q_i \frac{\partial A_i}{\partial Q_i}}{A_i^2} \right]\end{aligned}$$

จะได้
$$\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial Q_i} = \left(\frac{-(K_e)Q}{g\Delta x A^2} \right)_i \quad (57)$$

4) อนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่งของความลาดชันของ Eddy Loss เทียบกับอัตราไหลที่เส้นระยะทาง $i+1$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial Q_{i+1}} &= \frac{(K_e)_i}{2g\Delta x_i} \left[2 \left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1} \frac{\partial}{\partial Q_{i+1}} \left(\frac{Q}{A} \right)_{i+1} \right] \\ &= \frac{(K_e)_i Q_{i+1}}{g\Delta x_i A_{i+1}} \left[\frac{A_{i+1} \frac{\partial Q_{i+1}}{\partial Q_{i+1}} - Q_i \frac{\partial A_{i+1}}{\partial Q_{i+1}}}{A_{i+1}^2} \right]\end{aligned}$$

จะได้

$$\frac{\partial \bar{S}_e}{\partial Q_{i+1}} = \left(\frac{(K_e)Q}{g\Delta x A^2} \right)_{i+1} \quad (58)$$

3.3 เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น (Boundary and Initial Condition)

3.3.1 เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตนั้น สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ เงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary Condition) และเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary Condition) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เงื่อนไขขอบเขตทางด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary Condition) สามารถกำหนดได้ 2 ลักษณะคือ

1) กราฟน้ำท่าของปริมาณการไหล: $Q(t)$

$$UB = Q_i^{j+1} - Q(t) = 0 \quad (59)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial h_1} = 0 \quad (60)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial Q_1} = 1 \quad (61)$$

2) ระดับน้ำในลักษณะ Time Series: $h(t)$

$$UB = h_i^{j+1} - h(t) = 0 \quad (62)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial h_1} = 1 \quad (63)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial Q_1} = 0 \quad (64)$$

เงื่อนไขขอบเขตทางด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary Condition) สามารถกำหนดได้ 3 ลักษณะคือ

1) กราฟน้ำท่าของปริมาณการไหล: $Q'(t)$

$$DB = Q_n^{j+1} - Q'(t) = 0 \quad (65)$$

$$\frac{\partial DB}{\partial h_n} = 0 \quad (66)$$

$$\frac{\partial DB}{\partial Q_n} = 1 \quad (67)$$

2) ระดับน้ำในลักษณะ Time Series: $h'(t)$

$$DB = h_n^{j+1} - h'(t) = 0 \quad (68)$$

$$\frac{\partial DB}{\partial h_n} = 1 \quad (69)$$

$$\frac{\partial DB}{\partial Q_n} = 0 \quad (70)$$

3) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลและระดับน้ำ (Rating Curve)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำ สามารถประมาณการโดยใช้ Linear Interpolation ได้ดังนี้

$$Q' = Q_n + (Q_{n+1} - Q_n) \frac{h_n^{j+1} - h_n}{h_{n+1} - h_n} \quad (71)$$

เมื่อ h_n^{j+1} = ระดับน้ำใดๆ ที่ Downstream Boundary Condition

จะได้

$$DB = Q_n^{j+1} - Q' = 0 \quad (72)$$

$$\frac{\partial DB}{\partial h_n} = - \frac{Q_{n+1} - Q_n}{h_{n+1} - h_n} \quad (73)$$

$$\frac{\partial DB}{\partial Q_n} = 1 \quad (74)$$

3.3.2 เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition)

เงื่อนไขเริ่มต้นคือค่าของพจน์ที่ทราบค่า (พจน์ที่มี Superscript j) ในสมการที่ (20) และ (23) ซึ่งสามารถกำหนดได้จากข้อมูลที่มีการตรวจวัด หรือจากการคำนวณของเส้นเวลาก่อนหน้า แต่สำหรับการคำนวณครั้งแรกนั้น ถ้าไม่มีข้อมูลตรวจวัดสามารถคำนวณค่าเงื่อนไขเริ่มต้นได้จากวิธี Steady Flow Backwater (Singh, 1996) ดังนี้คือ

สำหรับการไหลแบบคงที่ตามเวลา (Steady Flow) อัตราการไหลที่ระยะทางต่างๆ (Q_i) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (75) ดังนี้

$$Q_{i+1} = Q_i + \bar{q}_i \Delta x_i \quad (75)$$

เมื่อ Q_i คืออัตราการไหลที่สมมติจากเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือที่เวลา $t=0$ และ \bar{q}_i คือปริมาณการไหลด้านข้างที่ทราบค่าสำหรับแต่ละช่วง Δx ที่เวลา $t=0$ ส่วนค่าระดับน้ำ (h_i) คำนวณได้จากสมการโมเมนต์การไหลแบบคงที่ตามเวลา ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (76)

$$\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)_{i+1} - \left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)_i + g\bar{A}_i(h_{i+1} - h_i + \Delta x_i(\bar{S}_f)_i) = 0 \quad (76)$$

เมื่อ \bar{A}_i และ $(\bar{S}_f)_i$ สามารถหาได้จากสมการที่ (25) และ (29)

การคำนวณระดับน้ำเริ่มจากค่าที่ทราบค่า h_N และ Q_N ที่ได้จากเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ จากนั้นใช้วิธี Newton-Raphson แก้ปัญหาสมการที่ (76) เพื่อหาค่า h_i ดังสมการที่ (77)

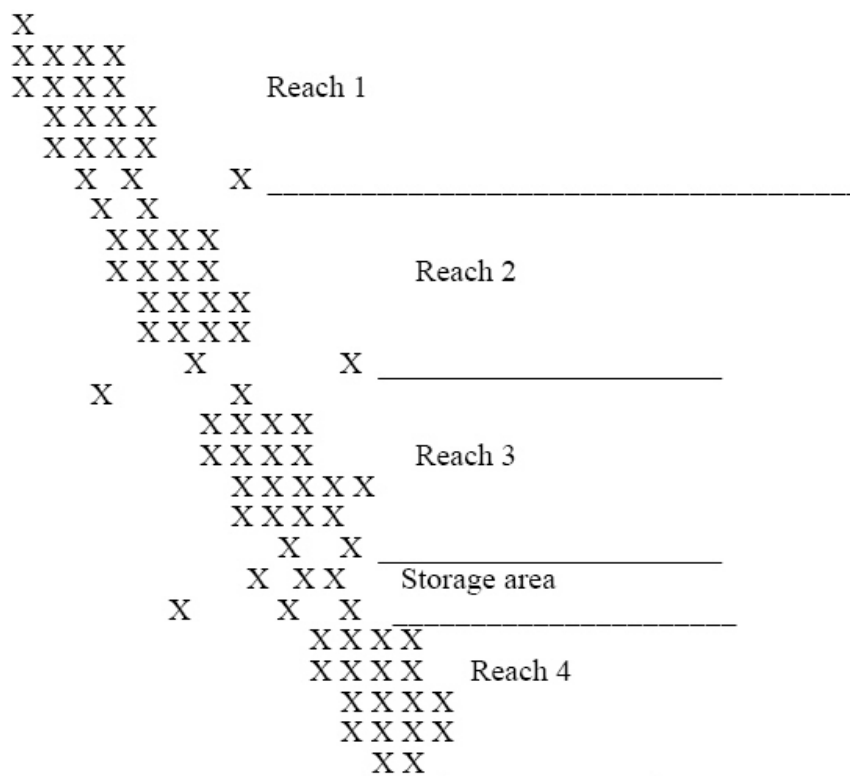
$$x^{k+1} = x^k - \frac{f(x^k)}{f'(x^k)} \quad (77)$$

โดยที่
$$f'(x^k) = \left(\frac{\beta Q^2 B}{A^2}\right)_i + g\bar{A}_i \left[-1 + \Delta x_i \left(\frac{d\bar{S}_f}{dh_i}\right) \right] + 0.5gB_i(h_{i+1} - h_i + \bar{S}_f \Delta x_i)$$

เมื่อ	x	คือ	ตัวแปรไม่ทราบค่า
	k	คือ	จำนวนครั้งของการวนซ้ำ
	$f(x^k)$	คือ	ฟังก์ชันของตัวแปรไม่ทราบค่า (สมการที่ 76)
	$f'(x^k)$	คือ	อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของสมการที่ (76)

3.4 การแก้ปัญหาโครงข่ายทางน้ำ (Channel Networks)

การวิเคราะห์การไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติ ด้วยวิธี Implicit Finite Difference ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนั้น จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับทางน้ำเดี่ยว (Single Channel) แต่ในกรณีที่มีแม่น้ำสาขา หรือเรียกว่าโครงข่ายของทางน้ำนั้น รูปแบบของเมตริก Jacobian ดังแสดงในภาพที่ 4 จะเปลี่ยนแปลงไป โดยที่จะมีการกระจายตัว ไม่เรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นทแยงมุมดังแสดงในภาพที่ 5 จากปัญหामเมตริกกระจายดังกล่าวเป็นเหตุให้ไม่สามารถใช้เทคนิคการแก้ปัญหาเมตริกแบบเดิมได้ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลในเมตริก Jacobian เฉพาะค่าที่เรียงตัวเป็น



ภาพที่ 5 การกระจายตัวของเมตริก Jacobian กรณีโครงข่ายระบบแม่น้ำ
ที่มา: HEC-RAS Reference Manual (2002)

แถบกว้าง 4 แถวตามแนวเส้นทแยงมุมของเมตริกเท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ในการทำวิจัยครั้งนี้จะนำวิธี Relaxation มาใช้แก้ปัญหาระบบโครงข่ายทางน้ำ โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงเทคนิคการแก้เมตริกแบบเดิม ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้คือ

3.4.1 ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Implicit Finite Difference เหมือนทางน้ำเดี่ยวในแม่น้ำสายหลัก (Main Channel) ก่อน โดยพิจารณาให้การไหลของแม่น้ำสาขาต่างๆ เปรียบเสมือนเป็นปริมาณการไหลด้านข้าง (Lateral Flow) เข้ามาบรรจบกับแม่น้ำสายหลัก และสมมติให้มีค่า q^{**}

3.4.2 พิจารณาแม่น้ำสาขาต่างๆ ของระบบโครงข่ายที่ละสาขา โดยเปรียบเสมือนว่าเป็นทางน้ำเดี่ยว แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Implicit Finite Difference เหมือนในข้อ 3.4.1 เพื่อหาปริมาณการไหลที่จุดออกของแม่น้ำสาขา (q) โดยที่มีเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำคือระดับน้ำบริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำสายหลักที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ 3.4.1

3.4.3 เปรียบเทียบค่าระหว่างปริมาณการไหลที่สมมติขึ้น กับปริมาณการไหลที่คำนวณได้ดังนี้คือ

$$|q - q^{**}| \leq \epsilon$$

3.4.4 ถ้าเงื่อนไขในข้อที่ 3.4.3 ขอมรับไม่ได้ ต้องนำ Iteration Algorithm (Fred, 1973) มาใช้เพื่อหาค่าปริมาณการไหลค่าใหม่ (q^*) ดังแสดงในสมการที่ (78) จากนั้นทำการวิเคราะห์ตั้งแต่ข้อที่ 3.4.1 ใหม่

$$q^* = \alpha q + (1 - \alpha) q^{**} \quad (78)$$

เมื่อ α = แฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor) ($0 < \alpha < 1$)

ทฤษฎีของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ในแบบจำลอง MIKE 11

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) เป็นแบบจำลองย่อยของแบบจำลอง MIKE 11 ที่ได้รับการพัฒนาโดย Danish Hydraulic Institute (DHI) ในปี พ.ศ.2515 โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำมาใช้จำลองสภาพการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระบบการไหลในทางน้ำเปิดแบบหนึ่งมิติสามารถใช้วิเคราะห์การไหลได้ทั้งแบบได้วิกฤต (Subcritical Flow) และแบบเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) รวมทั้งใช้แก้ปัญหาการไหลข้ามอาคารชลศาสตร์ต่าง ๆ ตลอดจนโครงข่ายแบบ Looped Network และการจำลองการไหลแบบ Quasi Two Dimension ในบริเวณทุ่งน้ำท่วม (นุชนารถ, 2545)

1. สมการพื้นฐานของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ในแบบจำลอง MIKE 11

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ในแบบจำลอง MIKE 11 จัดอยู่ในประเภทของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบดิสตริบิวท์ที่ได้อธิบายหลักการไว้ในตอนต้น ซึ่งมีสมการพื้นฐานชุดเดียวกันคือสมการเซนต์-วีแนนท์ แต่สำหรับแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ในแบบจำลอง MIKE 11 มีการจัดรูปสมการเซนต์-วีแนนท์ ที่แสดงในสมการที่ (1) และ (2) ใหม่ดังนี้คือ

สมการต่อเนื่อง

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A)}{\partial t} - q = 0 \quad (79)$$

สมการโมเมนตัม

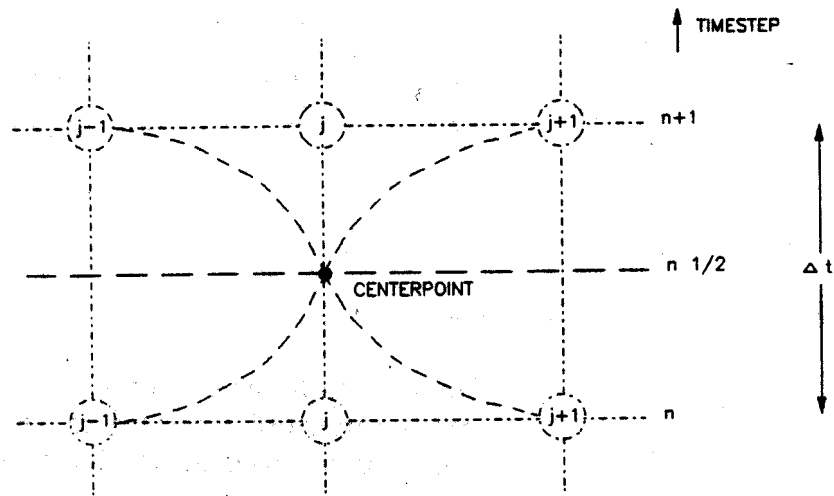
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} - g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (80)$$

เมื่อ

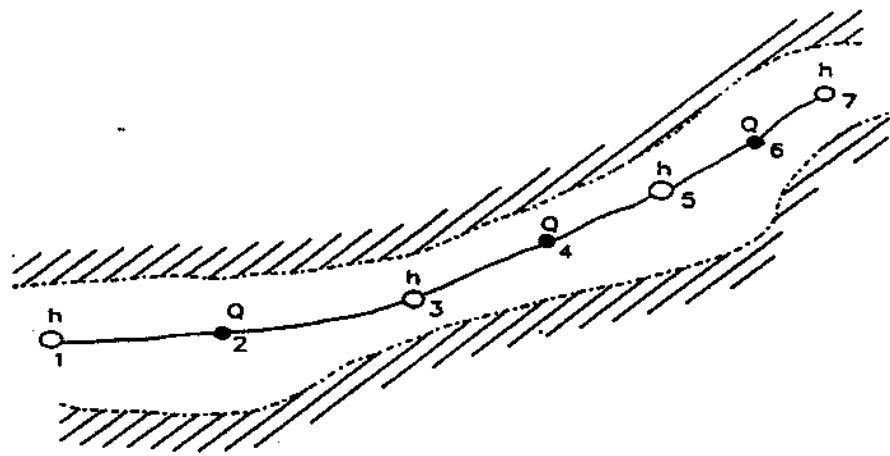
x	=	ระยะทางในแนวราบตามแนวทางน้ำและแม่น้ำ
t	=	เวลา
Q	=	อัตราการไหล
A	=	หน้าตัดขวางของการไหล
q	=	ปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของทางน้ำ
h	=	ระดับผิวน้ำ
C	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy
α	=	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโมเมนตัม (Momentum Distribution Factor)
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

2. วิธีการแก้ปัญหา (Solution Scheme)

สำหรับแบบจำลอง MIKE 11 HD ใช้วิธีผลต่างสืบเนื่องแบบอิมพลิต (Implicit Finite Difference) แบบ 6-จุด (ดูภาพที่ 6 ประกอบ) ในการเปลี่ยนสมการอนุพันธ์บางส่วนในสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัมของสมการเซนต์-เวินนัท ให้อยู่ในรูปสมการผลต่างสืบเนื่องสำหรับทุก Computational Grid ซึ่งประกอบด้วยจุดของอัตราการไหล (Q) และจุดของระดับน้ำ (h) ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยที่ Computational Grid จะถูกสร้างขึ้นมาโดยอัตโนมัติตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งจุดต่าง ๆ ของ Q จะถูกกำหนดไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างจุดของ h ที่อยู่ติดกันเสมอ



ภาพที่ 6 จุดกึ่งกลางของจุด 6 จุด สำหรับวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมแบบอิมพลีซิทแบบ 6-จุด
ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)



ภาพที่ 7 Computation Grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ
ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

สำหรับวิธีการเปลี่ยนอนุพันธ์บางส่วนในสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ของสมการ
เซนต์-เวเนนท์ ให้อยู่ในรูปสมการผลต่างสี่เหลี่ยมด้วยวิธีแบบอิมพลีซิทแบบ 6 จุด มีรายละเอียดดัง
ต่อไปนี้

2.1 สมการต่อเนื่อง

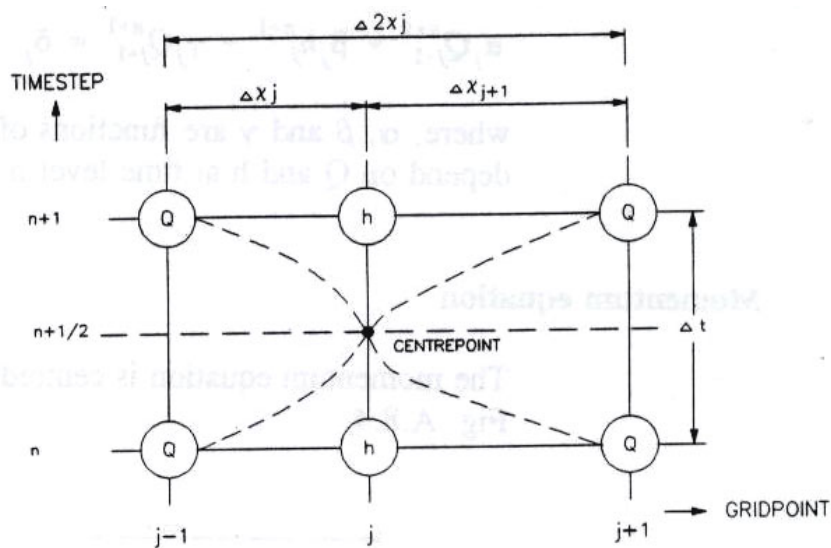
จากสมการต่อเนื่องดังสมการที่ (79)

เมื่อ
$$\frac{\partial A}{\partial t} = b_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

จะได้
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b_s \frac{\partial h}{\partial t} = q \tag{81}$$

เมื่อ b_s = ความกว้างของผิวน้ำ

จากสมการที่ (81) จะเห็นว่า h เป็นอนุพันธ์เทียบกับเวลา ดังนั้นจุดกึ่งกลาง (Centerpoint) จะอยู่ที่จุด h ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 จุดกึ่งกลางของสมการต่อเนื่องในรูปแบบของ 6-Point Abbott Scheme

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

เมื่อนำหลักการการประมาณค่าโดยใช้วิธีผลต่างสี่เหลี่ยมแบบอิมพลีซิทีแบบ 6 จุดดังภาพที่ 8 มาใช้ในการประมาณค่าสมการต่อเนื่องของสมการเซนท์-วีแนนท์ ซึ่งสามารถประมาณค่าอนุพันธ์ของระยะทางและอนุพันธ์ของเวลาได้ดังนี้คือ

อนุพันธ์ของระยะทาง

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{(Q_{j+1}^{n+1} + Q_{j+1}^n) - (Q_{j-1}^{n+1} + Q_{j-1}^n)}{2\Delta x_j} \quad (82)$$

อนุพันธ์ของเวลา

$$\frac{\partial h}{\partial t} \approx \frac{(h_j^{n+1} - h_j^n)}{\Delta t} \quad (83)$$

สำหรับ b_s สามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$b_s = \frac{A_{o,j} + A_{o,j+1}}{2\Delta x_j} \quad (84)$$

เมื่อ $A_{o,j}$ คือ พื้นที่ผิวระหว่าง grid point j-1 และ j
 $A_{o,j+1}$ คือ พื้นที่ผิวระหว่าง grid point j และ j+1
 $2\Delta x_j$ คือ ระยะทางระหว่าง j-1 และ j+1

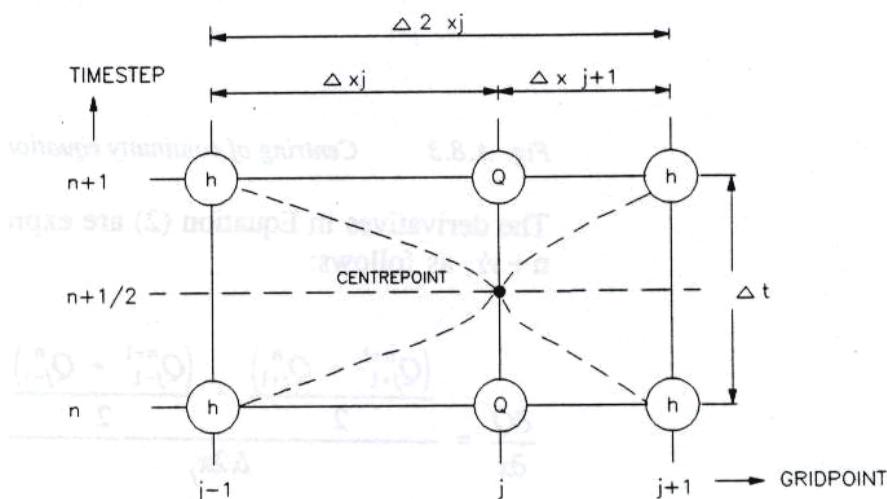
เมื่อแทนค่าสมการที่ (82), (83) และ (84) ลงในสมการต่อเนื่อง (81) และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\alpha_j Q_{j-1}^{n+1} + \beta_j h_j^{n+1} + \gamma_j Q_{j+1}^{n+1} = \delta_j \quad (85)$$

เมื่อ α , β และ γ เป็นฟังก์ชันของ b และ δ โดยขึ้นอยู่กับ Q และ h ที่ $t = n$ และ Q ที่ $t = n+1/2$

2.2 สมการโมเมนต์

จากสมการโมเมนต์ดังสมการที่ (80) จะเห็นว่า มีทั้ง Q และ h ที่มีอนุพันธ์เทียบกับระยะทาง ดังนั้นจุดกึ่งกลาง (Centerpoint) จะแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 จุดกึ่งกลางของสมการโมเมนต์ในรูปแบบของ 6-Point Abbott Scheme

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

เมื่อนำหลักการการประมาณค่าโดยใช้วิธีผลต่างสี่เหลี่ยมแบบอิมพลีซิทแบบ 6 จุดดังภาพที่ 9 มาใช้ในการประมาณค่าสมการโมเมนต์ของสมการเซนต์-วีแนนท์ ซึ่งสามารถประมาณค่าอนุพันธ์ของระยะทางและอนุพันธ์ของเวลาได้ดังนี้คือ

อนุพันธ์ของระยะทาง

$$\frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} \approx \frac{\left(\left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]_{j-1}^{n+\frac{1}{2}} \right)}{2\Delta x_j} \tag{86}$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} \approx \frac{(h_{j+1}^{n+1} + h_{j+1}^n) - (h_{j-1}^{n+1} + h_{j-1}^n)}{2\Delta x_j} \quad (87)$$

อนุพันธ์ของเวลา

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{(Q_j^{n+1} - Q_j^n)}{\Delta t} \quad (88)$$

สำหรับเทอมที่มีกำลังสองในสมการที่ (86) เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องหมายแสดงทิศทางกรไหลถูกต้องดังนั้นเทอมกำลังสองสามารถประมาณค่าได้ดังนี้คือ

$$Q^2 \approx fQ_j^{n+1}Q_j^n - (f-1)Q_j^nQ_j^n \quad (89)$$

เมื่อ f คือค่าคงที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

เมื่อแทนค่าสมการที่ (86) ถึง (89) ลงในสมการโมเมนตัม (80) และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\alpha_j h_{j-1}^{n+1} + \beta_j Q_j^{n+1} + \gamma_j h_{j+1}^{n+1} = \delta_j \quad (90)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \alpha_j &= f(A) \\ \beta_j &= f(Q_j^n, \Delta t, \Delta x, C, A, R) \\ \gamma_j &= f(A) \\ \delta_j &= f(A, \Delta x, \Delta t, \alpha, q, v, \phi, Q, h) \end{aligned}$$

3. เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions)

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตนั้น สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ เงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือ (Upstream Boundary Condition) และเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary Condition) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 เงื่อนไขขอบเขตทางด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary Condition) สามารถกำหนดได้ 2 ลักษณะ คือ

3.1.1 อัตราการไหลคงที่จากอ่างเก็บน้ำ

3.1.2 กราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลที่เหตุการณ์ต่างๆ

3.2 เงื่อนไขขอบเขตทางด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary Condition) สามารถกำหนดได้ 3 ลักษณะ คือ

3.2.1 ระดับน้ำที่คงที่ เช่นในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่

3.2.2 ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

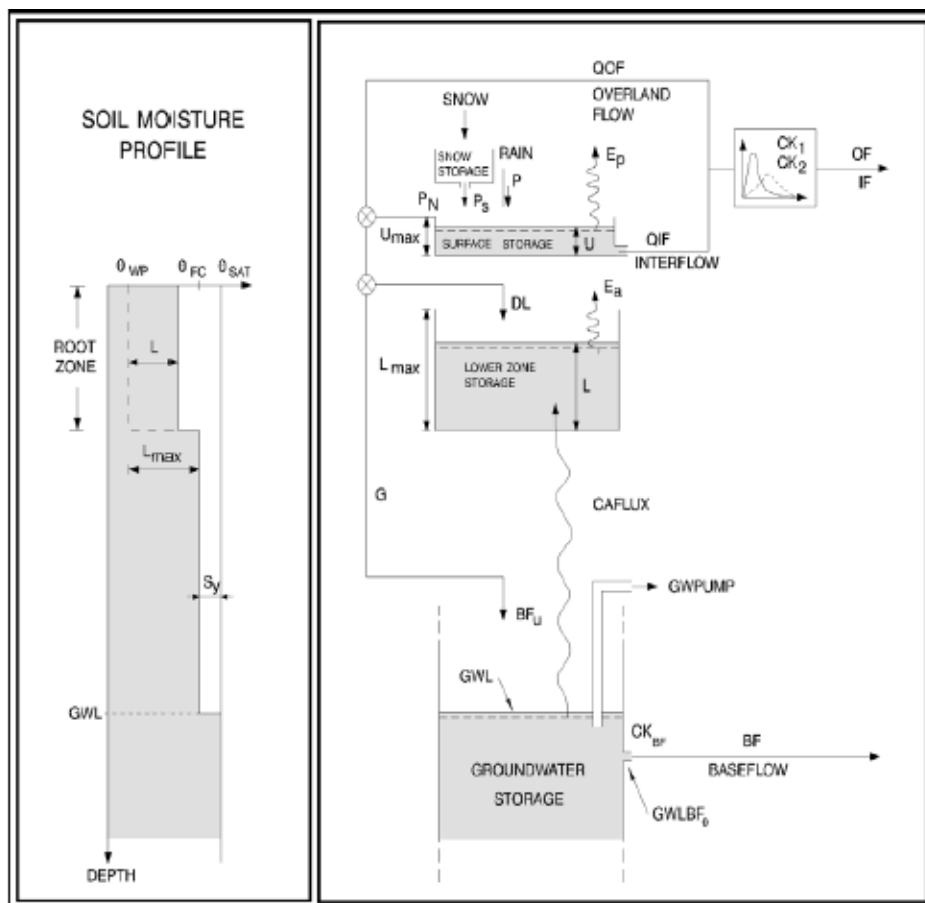
3.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณการไหล (Rating Curve) ของสถานีวัดน้ำท่า

ทฤษฎีของแบบจำลอง NAM (NAM Model) ในแบบจำลอง MIKE 11

แบบจำลอง NAM เป็นแบบจำลองย่อยของแบบจำลอง MIKE 11 ที่ได้รับการพัฒนาโดย Danish Hydraulic Institute (DHI) ในปี พ.ศ.2515 ซึ่งจัดอยู่ในประเภทแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) สำหรับใช้ในการเปลี่ยนปริมาณน้ำฝนเป็นปริมาณน้ำท่า โดยแนวคิดของแบบจำลองมีพื้นฐานมาจากโครงสร้างทางกายภาพและสมการ Semi Empirical นอกจากนี้พารามิเตอร์บางตัวสามารถประเมินจากข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มน้ำ แต่สุดท้ายแล้วค่าพารามิเตอร์จะถูกประมาณจากการสอบเทียบมาตรฐานของข้อมูลด้านเข้าและด้านออกที่สอดคล้องกัน (นุชนารถ, 2545)

สำหรับการใช้งานแบบจำลอง NAM นั้นจะต้องทำการแบ่งพื้นที่กลุ่มน้ำออกเป็นกลุ่มน้ำย่อย โดยจะมีค่าพารามิเตอร์และตัวแปรสำหรับแต่ละกลุ่มน้ำย่อย ซึ่งได้มาจากการสอบเทียบแบบจำลอง สำหรับข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน ข้อมูลการระเหยจากภาครายวัน และอุณหภูมิ โดยผลที่ได้จากแบบจำลองเป็นน้ำท่ารายวัน ซึ่งแสดงถึงการเกิดน้ำท่าจากผล

ของวิศวกรรมทางอุทกวิทยา ซึ่งโครงสร้างของแบบจำลองการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่าของแบบจำลอง NAM แสดงในภาพที่ 10 ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งปริมาณน้ำจะถูกแบ่งไปเก็บกักไว้ในส่วนของการเก็บกัก 4 ส่วน ดังนี้



ภาพที่ 10 โครงสร้างของแบบจำลอง NAM

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

1. การเก็บกักของหิมะ (snow storage) จะขึ้นอยู่กับอัตราการละลายตัวของหิมะ Q_{melt} ซึ่งจะเพิ่มปริมาณน้ำให้กับการเก็บกักของผิวดิน ส่วนประกอบนี้ไม่ใช้ในการศึกษาในประเทศไทย

2. การเก็บกักบนผิวดิน (surface storage) คือปริมาณน้ำที่ค้างอยู่บนพืช และเก็บกักอยู่ในแอ่งบนพื้นดิน โดยที่ U_{max} คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักบนผิวดิน ปริมาณน้ำในชั้นนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณฝนแต่เมื่อปริมาณน้ำขึ้นถึงระดับ U_{max} น้ำส่วนเกิน

(P_N) จะไหลออกเป็น overland flow และมีบางส่วนไหลซึมลงสู่ lower zone storage และ groundwater storage

3. การเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง (lower zone storage) คือปริมาณความชื้นของชั้นดินที่อยู่ ลึกลงไปจากผิวดิน โดยที่ L_{max} คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักของชั้นดิน ส่วนล่าง

4. การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (groundwater storage) คือปริมาณน้ำที่ซึมผ่านการเก็บกัก บริเวณชั้นดินส่วนล่าง (lower zone storage) มาเก็บกักที่ชั้นนี้

พื้นที่ศึกษาและการรวบรวมข้อมูล

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกกลุ่มน้ำปิงตอนบนและกลุ่มน้ำบางปะกงมาเป็นพื้นที่ศึกษา โดยเลือก กลุ่มน้ำปิงตอนบนสำหรับใช้ในการศึกษาสภาพการไหลและทดสอบแบบจำลองกรณีมีผลกระทบ จากการเกิดน้ำท่วม และเลือกกลุ่มน้ำบางปะกงสำหรับใช้ในการศึกษาสภาพการไหลและทดสอบแบบ จำลองกรณีมีผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วมรวมทั้งการขึ้นลงของน้ำทะเล รายละเอียดของพื้นที่ศึกษา ทั้งสองมีดังนี้

1 พื้นที่ศึกษา

1.1 กลุ่มน้ำปิงตอนบน

กลุ่มน้ำปิงตอนบนมีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำด้านเหนือเขื่อนภูมิพลทั้งหมด สภาพภูมิ ประเทศเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อน ปกคลุมด้วยป่าไม้ และมีที่ราบในหุบเขาตามพื้นที่ชุมชน แม่น้ำ ปิงมีทิศทางการไหลจากทิศเหนือไปทิศใต้ โดยมีแหล่งกำเนิดจากเทือกเขาฝิปันน้ำในเขตอำเภอ เมืองเชียงดาว แล้วไหลไปตามหุบเขาซึ่งอยู่ทางตอนบนของเขตอำเภอแม่แตง และไหลผ่านที่ราบ ในหุบเขาในเขตอำเภอแม่แตง อำเภอแม่ริม และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นแม่น้ำปิงจะ ไหลผ่านพื้นที่ราบบริเวณหุบเขาก่อนไหลไปลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล รวมระยะทางของลำน้ำตั้ง แต่ต้นน้ำถึงเขื่อนภูมิพลประมาณ 514 กิโลเมตร

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 23,370 ตารางกิโลเมตร ซึ่งสามารถแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยได้ทั้งหมด 15 ลุ่มน้ำย่อย อันประกอบด้วย ลุ่มน้ำปิงส่วนที่ 1 ลุ่มน้ำแม่แตง ลุ่มน้ำแม่จัด ลุ่มน้ำแม่มิม ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ลุ่มน้ำแม่กวาง ลุ่มน้ำแม่แจ่ม ลุ่มน้ำแม่ขาน ลุ่มน้ำแม่กลาง ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 3 ลุ่มน้ำแม่หาด ลุ่มน้ำแม่ลี ลุ่มน้ำแม่อาว ลุ่มน้ำแม่ทา และลุ่มน้ำแม่ตื่น ตามรายงานฉบับสุดท้ายของโครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง กรมชลประทาน (2546) ซึ่งรายละเอียดของขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยต่างๆแสดงในตารางที่ 2 โดยที่ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแสดงใน ภาพที่ 11

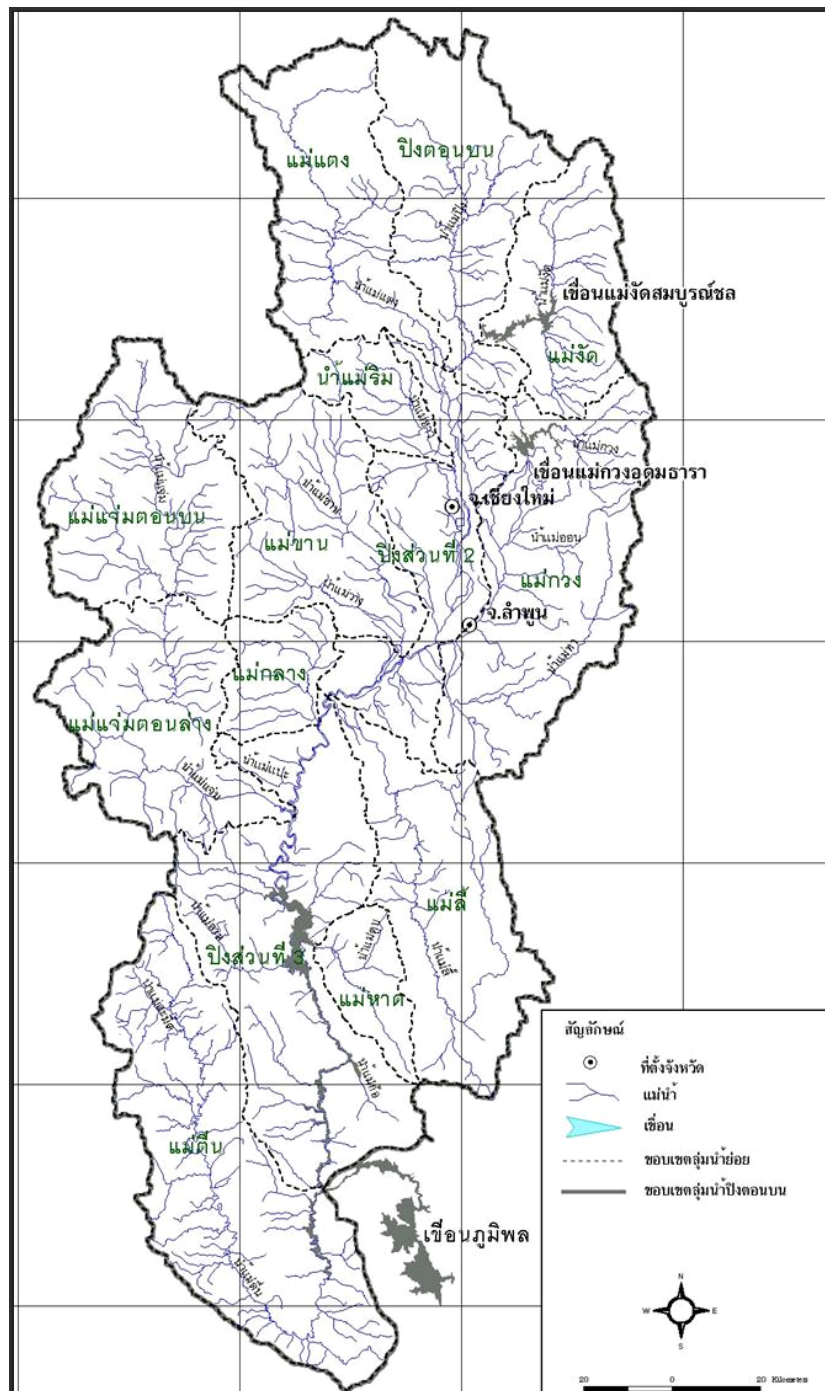
1.2 ลุ่มน้ำบางปะกง

แม่น้ำบางปะกงประกอบด้วยแม่น้ำสาขาหลัก 2 สาย คือแม่น้ำปราจีนบุรีและแม่น้ำนครนายก โดยมีเทือกเขาที่สำคัญซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำสาขาของแม่น้ำบางปะกงคือ เขาเขียว เขาตะแบก เขาหนองผักหนาม และเขาสอยดาวเหนือ แม่น้ำปราจีนบุรีและแม่น้ำนครนายกไหลมาบรรจบกับแม่น้ำบางปะกงที่เหนืออำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา และไหลจากทิศเหนือผ่านที่ราบต่ำตอนกลางและตอนล่างไปทางทิศใต้ผ่านจุดบรรจบของคลองท่าลาดและคลองพาน ก่อนไหลออกสู่ทะเลด้านอ่าวไทยที่อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ลุ่มน้ำบางปะกงมีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 8,679 ตารางกิโลเมตร มีความยาวลำน้ำรวม 115 กิโลเมตร โดยประกอบด้วยลุ่มน้ำหลัก 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำบางปะกงสายหลัก ลุ่มน้ำนครนายก ลุ่มน้ำคลองท่าลาด และลุ่มน้ำคลองหลวง ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,514, 2,433, 2,835 และ 1,897 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงแสดงในภาพที่ 12

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปิ้งตอนบน

รหัสกลุ่มน้ำ	รายชื่อกลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)
01	แม่น้ำปิ้งส่วนที่ 1	1,823
02	แม่แตง	2,036
03	แม่จืด	1,430
04	แม่ริม	728
05	แม่น้ำปิ้งส่วนที่ 2	1,025
06	แม่กวง	1,661
07	แม่แจ่ม	4,135
08	แม่ขาน	1,879
09	แม่กลาง	688
10	แม่น้ำปิ้งส่วนที่ 3 (จ.เชียงใหม่)	990
11	แม่หาด	1,712
12	แม่ตี๋	2,256
13	แม่อาว	257
14	แม่ทา	896
15	แม่ต๋น (จ.เชียงใหม่)	1,854
	รวม	23,370

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)



ภาพที่ 11 ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบน
ที่มา: กรมชลประทาน (2544)



ภาพที่ 12 ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงและตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่า
ที่มา: นุชนารถ (2544)

2 การรวบรวมข้อมูลด้านอุทกวิทยาและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลุ่มน้ำปึงตอนบน

2.1.1 ข้อมูลด้านอุทกวิทยา

การรวบรวมข้อมูลด้านอุทกวิทยาที่มีการตรวจวัดซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลปริมาณการไหลเข้าด้านข้างของกลุ่มน้ำย่อยต่างๆในกลุ่มน้ำปึงตอนบน สำหรับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดได้รวบรวมจากการศึกษาสภาวะน้ำท่วมของกลุ่มน้ำปึงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 (นุชนารถ, 2540) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลระดับน้ำ และข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลและระดับน้ำ (Rating Curve) ของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในกลุ่มน้ำปึงตอนบน ซึ่งมีการเก็บรวบรวมโดยหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจำนวน 12 สถานี เป็นสถานีของกรมชลประทาน 11 สถานี และเป็นสถานีของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจำนวน 1 สถานี ตลอดจนข้อมูลปริมาณน้ำที่ระบายจากเขื่อนเก็บกักน้ำที่ตั้งอยู่ในกลุ่มน้ำปึงตอนบน ส่วนข้อมูลปริมาณการไหลเข้าด้านข้างจากกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ของกลุ่มน้ำปึงตอนบนได้รวบรวมจากผลการศึกษาวิทยานิพนธ์ปริญญาโทเรื่องการเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในกลุ่มน้ำปึงตอนบน (สุประภาพ, 2547) ซึ่งได้ทำการประเมินปริมาณการไหลเข้าด้านข้างจากการใช้แบบจำลอง NAM ที่เป็นแบบจำลองย่อยของแบบจำลอง MIKE 11 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าต่างๆที่มีการเก็บข้อมูลรายวันและรายชั่วโมง พร้อมรายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่าแสดงในตารางที่ 3 และภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆในกลุ่มน้ำปึงตอนบนแสดงในภาพที่ 13

2.1.3 ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำ

ทำการรวบรวมข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำของแม่น้ำสาขาย่อยในกลุ่มน้ำปึงตอนบนจากการศึกษาสภาวะน้ำท่วมของกลุ่มน้ำปึงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 (นุชนารถ, 2540) ผลการรวบรวมพบว่ามีเพียง 2 แม่น้ำสาขาเท่านั้นที่มีข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำคือแม่น้ำปึงและน้ำแม่กวัง โดยที่ในแม่น้ำปึงมีการสำรวจรูปตัดลำน้ำจำนวน 175 รูปตัด ซึ่งเริ่มสำรวจจากสถานี P.20 จนกระทั่งไปสิ้นสุดที่สถานี PE.2 ในขณะที่น้ำแม่กวังมีการสำรวจรูปตัดลำน้ำจำนวน 25 รูปตัดโดยเริ่มสำรวจจากตำแหน่งที่ตั้งสถานี P.69 จนกระทั่งไปสิ้นสุดที่จุดบรรจบกับแม่

น้ำปิง ส่วนข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำสาขาย่อยอื่นๆ จะมีเพียงข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในแต่ละแม่น้ำสาขาย่อยเท่านั้น

ตารางที่ 3 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าที่มีการเก็บข้อมูลรายวันและรายชั่วโมงที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

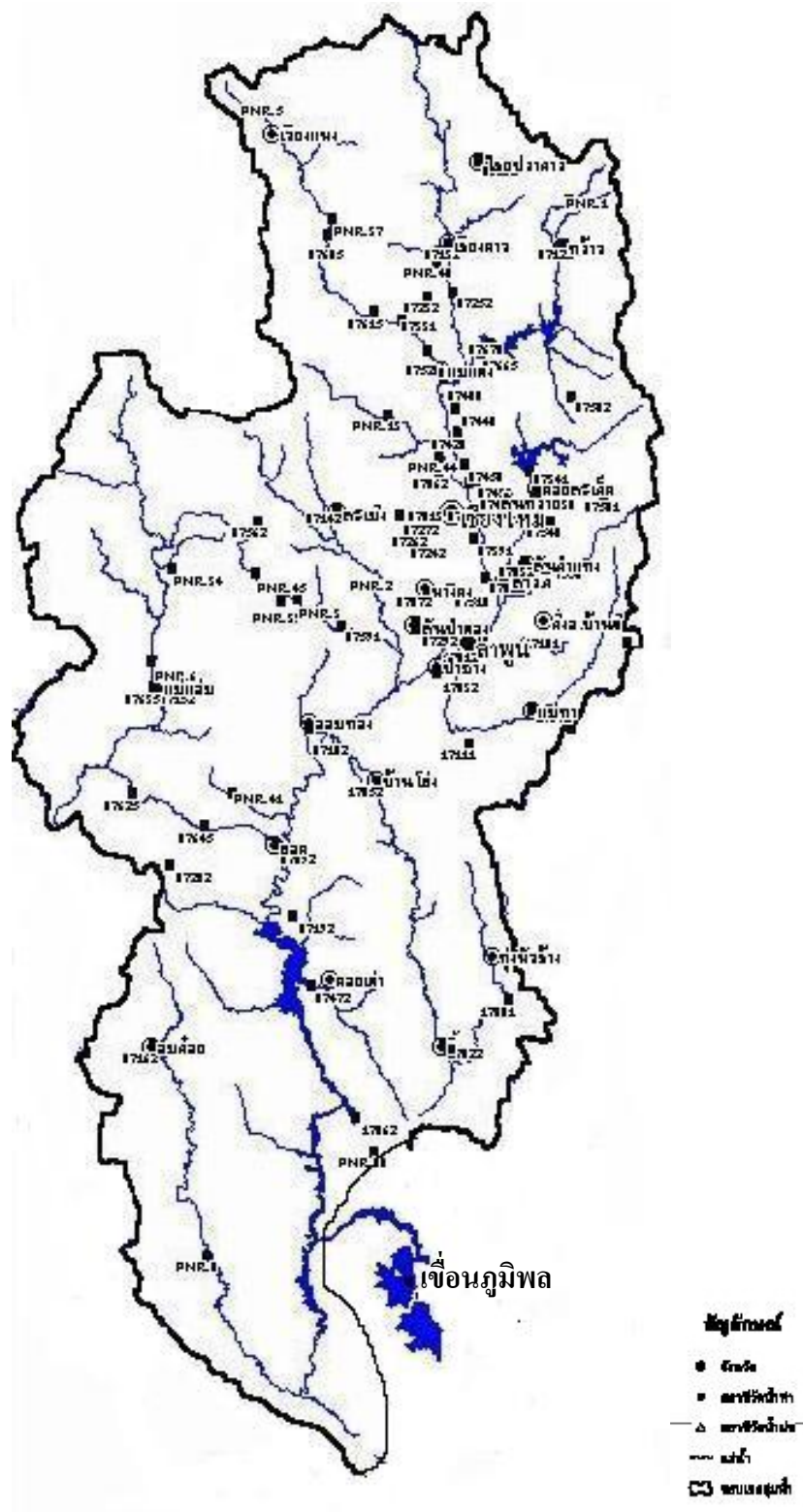
ลำดับ ที่	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	ตำแหน่งที่ตั้ง				พื้นที่ รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
			อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด		
1	P.1	สะพานนวัตินัน	เมือง	เชียงใหม่	18-47-09	99-00-29	6,356	2538-2544
2	P.4A	สะพานแม่แดง	แม่แดง	เชียงใหม่	19-07-15	98-56-51	1,902	2536-2544
3	P.14	แก่งออบพลวง	ฮอด	เชียงใหม่	18-13-49	98-33-35	3,853	2538-2543
4	P.20	อ.เชียงดาว	เชียงดาว	เชียงใหม่	19-21-09	98-58-25	1,355	2538-2544
5	P.21	สะพานแม่ริม	แม่ริม	เชียงใหม่	18-55-29	98-56-34	515	2521-2544
6	P.24A	สะพานประชาอุทิศ	จอมทอง	เชียงใหม่	18-25-01	98-40-29	460	2535-2544
7	P.67	บ้านแม่แค	สันทราย	เชียงใหม่	19-01-11	98-57-42	5,289	2539-2544
8	P.69	บ้านฮ่องกอก	เมือง	ลำพูน	18-39-06	99-04-07	1,602	2538-2544
9	P.71	แม่ขาน	สันป่าตอง	เชียงใหม่	18-32-14	98-51-47	1,771	2539-2544
10	P.73	อ.จอมทอง	จอมทอง	เชียงใหม่	18-17-18	98-39-11	13,353	2541-2544
11	P.75	บ้านช่อแล	แม่แดง	เชียงใหม่	19-08-52	99-00-36	3,090	2542-2544
12	PE.2	บ้านกองหิน	ฮอด	เชียงใหม่	18-10-30	98-36-00	18,932	2513-2544

ที่มา: กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2544)

2.2 ลุ่มน้ำบางปะกง

2.2.1 ข้อมูลด้านอุทกวิทยา

การรวบรวมข้อมูลด้านอุทกวิทยาประกอบด้วยข้อมูลจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลปริมาณการไหลเข้าด้านข้างของกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ในลุ่มน้ำบางปะกง ซึ่งได้มาจากประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM จากการศึกษาผลกระทบต่อสภาพการเกิดน้ำท่วมจากการก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกง (นุชนารถ, 2544) สำหรับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดนั้นได้รวบรวม ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลระดับน้ำ ของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำบางปะกง ลุ่มน้ำปราจีนบุรี และลุ่มน้ำนครนายก ซึ่งมีการ



ภาพที่ 13 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำทำในกลุ่มน้ำปึงตองบน
ที่มา: กรมชลประทาน (2540)

เก็บรวบรวมโดยหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จำนวน 22 สถานี เป็นสถานีของกรมชลประทานทั้งสิ้น รวมทั้งรวบรวมข้อมูลระดับน้ำบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงและจากประตูระบายน้ำบางขนาก ประตูระบายน้ำทำไข่ ประตูระบายน้ำทำถั่ว และประตูระบายน้ำปากตะคอง รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำบางปะกง ลุ่มน้ำปราจีนบุรี และลุ่มน้ำนครนายก พร้อมรายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่าแสดงในตารางที่ 4 และภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ในลุ่มน้ำบางปะกงแสดงในภาพที่ 12

2.2.2 ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำ

ทำการรวบรวมข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำของแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำปราจีนบุรี และแม่น้ำนครนายก ซึ่งเป็นแม่น้ำสาขาในลุ่มน้ำบางปะกง จากการศึกษาผลกระทบต่อสภาพการเกิดน้ำท่วมจากการก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกง (นุชนารถ, 2544) สำหรับแม่น้ำบางปะกงได้มีการรวบรวมข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำจากปากแม่น้ำจนถึงจุดบรรจบระหว่างแม่น้ำนครนายกและแม่น้ำปราจีนบุรีเป็นจำนวน 64 รูปตัด สำหรับแม่น้ำปราจีนบุรีได้มีการรวบรวมข้อมูลรูปตัดลำน้ำจากสถานี Kgt.3 จนถึงจุดบรรจบกับแม่น้ำนครนายกจำนวน 37 รูปตัด และได้มีการรวบรวมข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำของแม่น้ำนครนายกจากประตูระบายน้ำบางเม่าจนถึงจุดบรรจบกับแม่น้ำปราจีนบุรี จำนวน 16 รูปตัด

ตารางที่ 4 รายชื่อสถานีวัดน้ำทำในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงและช่วงปีสถิติข้อมูล

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	ตำแหน่งที่ตั้ง				พื้นที่ รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปี สถิติ ข้อมูล
			อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด		
1	KGT 1	อ.เมือง	เมือง	ปราจีนบุรี	14°-03'-01"	101°-22'-03"	9,209	2509-2537
2	KGT 3	อ.กบินทร์บุรี	กบินทร์บุรี	ปราจีนบุรี	13°-59'-05"	101°-42'-32"	7,502	2495-2540
3	KGT 6	อ.ศรีมหาโพธิ	ศรีมหาโพธิ	ปราจีนบุรี	13°-58'-21"	101°-30'-57"	7,978	2510-2523
4	KGT 9	บ้านเขาจรจร	เมือง	สระแก้ว	13°-40'-10"	102°-04'-35"	2,279	2512-2540
5	KGT 10	บ้านวังเคียน	เมือง	สระแก้ว	13°-48'-29"	102°-03'-35"	2,523	2509-2540
6	KGT 12	บ้านแก่ง	เมือง	สระแก้ว	13°-56'-02"	101°-58'-41"	1,540	2509-2540
7	KGT 13	บ้านนางเรือ	กบินทร์บุรี	ปราจีนบุรี	13°-58'-04"	101°-44'-20"	5,347	2509-2539
8	KGT 14	บ้านทุ่งแฝก	นาดี	ปราจีนบุรี	14°-09'-30"	101°-52'-52"	366	2509-2540
9	KGT 15	บ้านโรงเรือ	กบินทร์บุรี	ปราจีนบุรี	14°-02'-37"	101°-47'-30"	789	2509-2517
		โลกอุดม						
10	KGT 15A	บ้านแก่งดินสอ	กบินทร์บุรี	ปราจีนบุรี	14°-03'-46"	101°-55'-39"	530	2511-2540
11	KGT 18	บ้านท่ากลอย	กิ่ง อำเภอบาง ท่าตะเียบ	ฉะเชิงเทรา	13°-28'-29"	101°-37'-44"	951	2512-2540
12	KGT 22	อ.บ้านสร้าง	บ้านสร้าง	ปราจีนบุรี	13°-59'-45"	101°-13'-30"	Flood Plain	2510-2530
13	KGT 24	อ.ประจันตคาม	ประจันตคาม	ปราจีนบุรี	14°-10'-34"	101°-35'-30"	121	2514-2528
14	KGT 25	บ้านจำปางาม	สนามชัยเขตต์	ฉะเชิงเทรา	13°-41'-09"	101°-36'-32"	243	2521-2532
15	KGT 27	บ้านคลองยาง	ปากพลี	นครนายก	14°-12'-02"	101°-22'-05"	45	2526-2540
16	NY 1	เขากระเหรี่ยง	เมือง	นครนายก	14°-14'-22"	101°-16'-45"	520	2498-2512
17	NY 1A	บ้านท่าด่าน	เมือง	นครนายก	14°-18'-27"	101°-19'-40"	187	2501-2511
18	NY 1B	บ้านเขานางบัว	เมือง	นครนายก	14°-14'-45"	101°-12'-38"	519	2516-2540
19	NY 3	บ้านป่าชะ	บ้านนา	นครนายก	14°-17'-10"	101°-04'-16"	203	2520-2540
20	NY 4	เขวนรอก	เมือง	ปราจีนบุรี	14°-17'-45"	101°-23'-47"	128	2529-2540
21	NY 5	บ้านสี่ตุ๊ก	ปากพลี	นครนายก	14°-18'-30"	101°-20'-00"	186	2529-2533

ที่มา: นุชนารถ (2544)

อุปกรณ์และวิธีการ

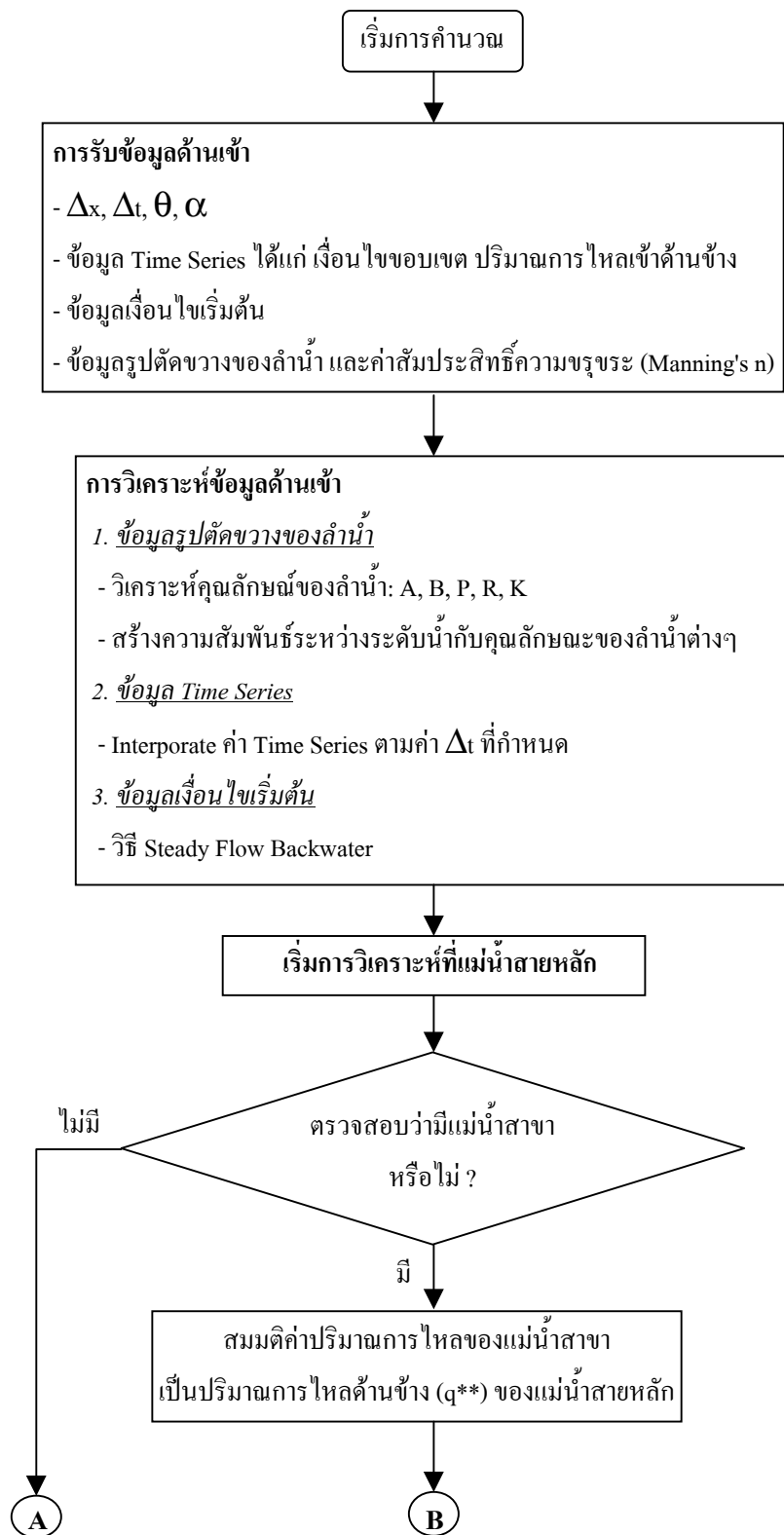
อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. แบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module) ของแบบจำลอง MIKE 11 พร้อมคู่มือ
3. โปรแกรม Visual Basic.Net
4. โปรแกรม Microsoft Office
5. อุปกรณ์บันทึกข้อมูล เช่น แผ่นดิสก์ เป็นต้น
6. อุปกรณ์สำนักงาน เช่น กระดาษ เป็นต้น

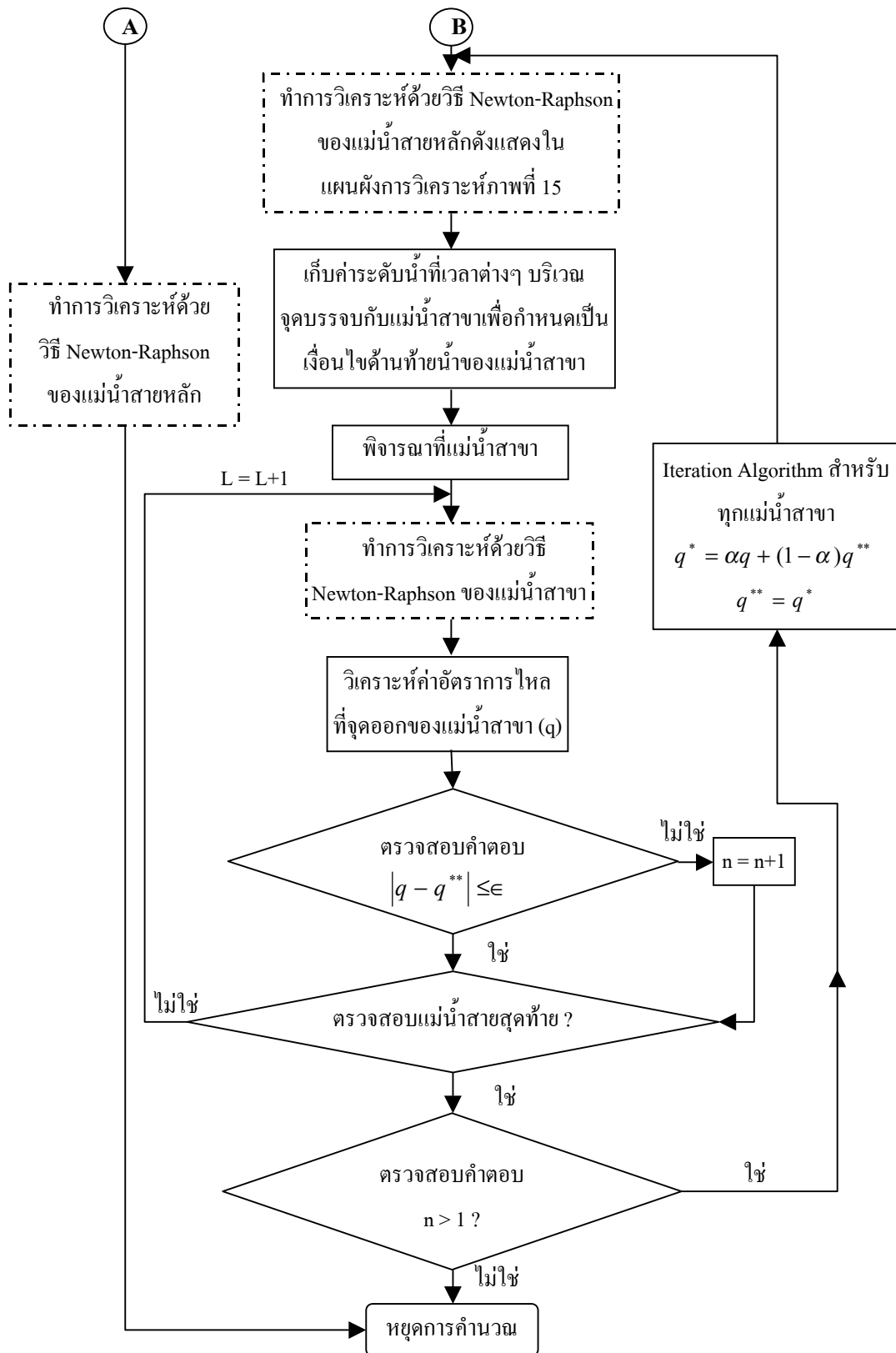
วิธีการ

1. การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิซิทแบบหนึ่งมิติ

จากการศึกษาหลักการและวิธีการแก้ปัญหาของแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติ รวมทั้งการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำท่าแบบดิสมิตรีบิวท์แบบหนึ่งมิตินั้น สามารถพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิซิทแบบหนึ่งมิติได้ และสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ง่ายต่อการใช้งาน โดยการใช้โปรแกรม Visual Basic.Net เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีชื่อว่า DYMWAV (Dynamic Wave) Version 1.0 สำหรับฝั่งการทำงานของแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 14 โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้คือ



ภาพที่ 14 ฟังก์ชันการทำงานของแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิซิทแบบหนึ่งมิติสำหรับโครงข่ายทางน้ำ



ภาพที่ 14 (ต่อ) แผนผังการทำงานของแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิซิทแบบหนึ่งมิติสำหรับโครงข่ายทางน้ำ

1.1 การรับข้อมูลด้านเข้าต่างๆ จากผู้ใช้ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1.1.1 ข้อมูลพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ได้แก่ค่าช่วงระยะทาง (Δx) ช่วงเวลา (Δt) สัมประสิทธิ์ Implicit (θ) และค่าแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก Relaxation (α)

1.1.2 ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาในลักษณะของ Time Series สำหรับใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต เงื่อนไขเริ่มต้น และปริมาณการไหลเข้าด้านข้างให้กับแบบจำลองสำหรับแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสาขา ได้แก่ข้อมูลกราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลเข้า (Inflow Hydrograph) ข้อมูลระดับน้ำ (Water Level) และข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลและระดับน้ำ (Rating Curve)

1.1.3 ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning Coefficient) ของแต่ละรูปตัดขวางของลำน้ำสำหรับแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสาขา

1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเข้า

1.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำ

ทำการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติต่างๆของลำน้ำจากข้อมูลสำรวจจริง อันประกอบด้วย ความกว้างลำน้ำ (B) พื้นที่หน้าตัดขวางของลำน้ำ (A) รัศมีชลศาสตร์ (R) และเส้นขอบเปียก (P) เพื่อนำไปสร้างความสัมพันธ์ของคุณลักษณะเฉพาะของลำน้ำกับระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปของเลือกรูปตัดขวางของลำน้ำสำหรับแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสาขา

1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล Time Series โดยการ Interpolate ข้อมูล Time Series ตามค่าช่วงของเวลาที่กำหนด ของแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสาขา

1.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ด้วยวิธี Steady Flow Backwater ซึ่งได้แสดงวิธีการไว้ในหัวข้อ 3.3.2 เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าที่ทราบค่าบนเส้นของเวลา j ซึ่งประกอบด้วยค่า $Q_i^j, Q_{i+1}^j, h_i^j, h_{i+1}^j, A_i^j, A_{i+1}^j, B_i^j$ และ B_{i+1}^j ในสมการผลต่างสืบเนื่องของสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัมในสมการที่ (20) และ (23) ของแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสาขา

1.3 การตรวจสอบว่ามีแม่น้ำสาขาหรือไม่ ถ้ามีการสมมติค่าปริมาณการไหลของแม่น้ำสาขาเปรียบเสมือนเป็นปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (q^{**}) ของแม่น้ำสายหลักจากนั้นทำการวิเคราะห์อัตราการไหลและระดับน้ำที่ระยะทางต่างๆ ของแม่น้ำสายหลักด้วยวิธี Newton-Raphson แต่ถ้าไม่มีแม่น้ำสาขาจะข้ามขั้นตอนการสมมติปริมาณการไหลด้านข้างแล้วทำการวิเคราะห์อัตราการไหลและระดับน้ำที่ระยะทางต่างๆ ของแม่น้ำสายหลักด้วยวิธี Newton-Raphson เพียงอย่างเดียว

1.4 การวิเคราะห์อัตราการไหลและระดับน้ำที่ระยะทางต่างๆ ของแม่น้ำสายหลักด้วยวิธี Newton-Raphson ดังแสดงในผังการวิเคราะห์ภาพที่ 15 โดยรายละเอียดสำหรับแต่ละขั้นตอนอธิบายได้ดังนี้

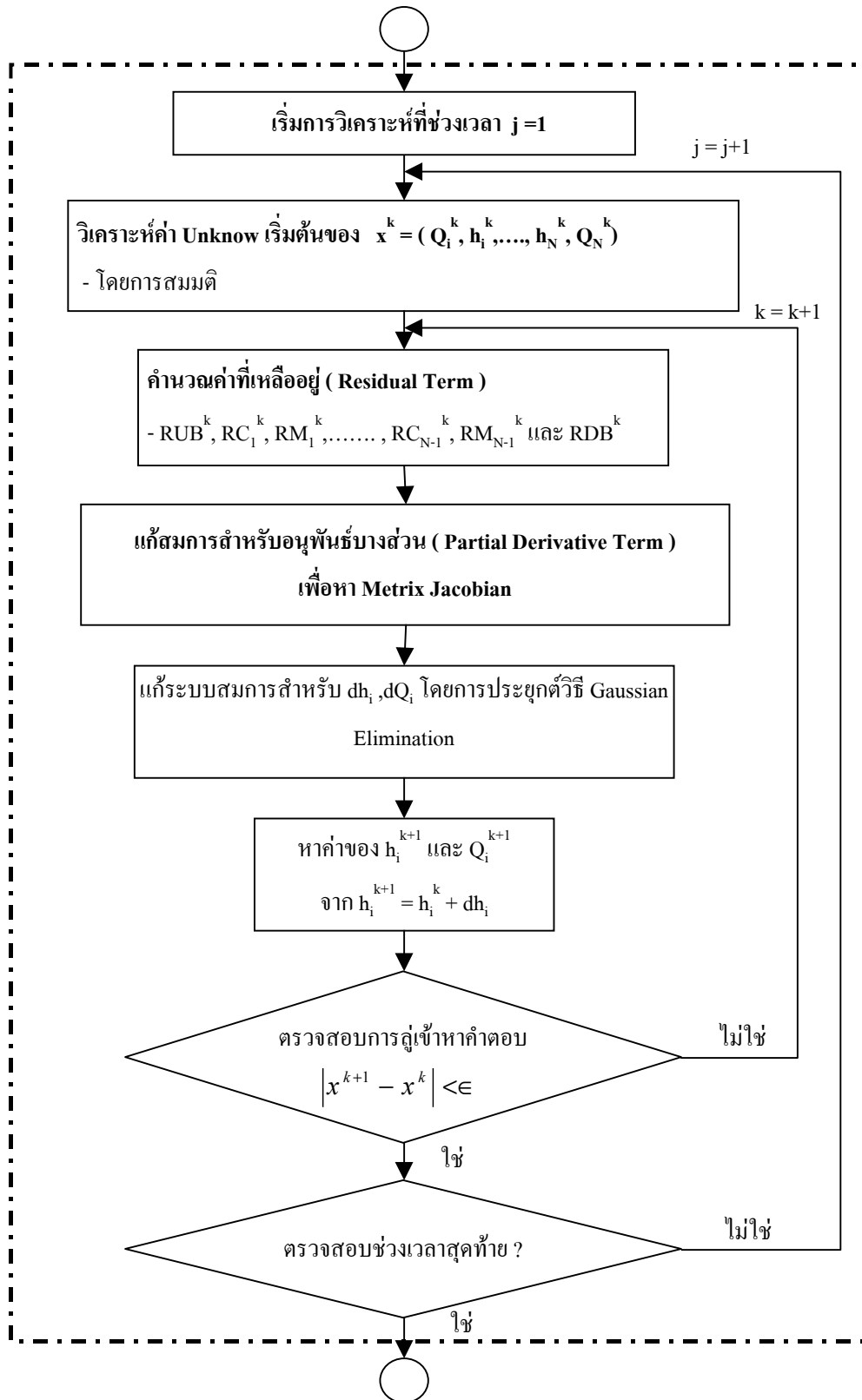
1.4.1 สมมติค่าเริ่มต้นของค่าที่ไม่ทราบค่าที่อยู่บนเส้นของเวลา $j+1$ ในสมการผลต่างสี่เหลี่ยมของสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ตั้งสมการที่ (20) และ (23) ได้แก่ค่า $Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}, h_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, A_i^{j+1}, A_{i+1}^{j+1}, B_i^{j+1}$ และ B_{i+1}^{j+1} อย่างไรก็ตามเทอมเหล่านี้สามารถแสดงในรูปฟังก์ชันของเทอมที่ไม่ทราบค่า $Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}, h_i^{j+1}$ และ h_{i+1}^{j+1} ได้ดังนี้คือ $x^k = (Q_i^k, h_i^k, \dots, Q_N^k, h_N^k)$ เมื่อ k คือจำนวนครั้งของการสมมติ

1.4.2 คำนวณค่าที่เหลืออยู่ ($RUB^k, RC_1^k, RM_1^k, \dots, RC_{N-1}^k, RM_{N-1}^k$ และ RDB^k) โดยการแทนค่าพจน์ต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอน 1.2.3 และ 1.4.1 ในสมการผลต่างสี่เหลี่ยมของสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ตั้งสมการที่ (20) และ (23)

1.4.3 คำนวณค่าอนุพันธ์บางส่วนทุกเทอมที่อยู่ในเมตริก Jacobian ดังสมการที่ (39) ถึง (58)

1.4.4 แก่ระบบของสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงด้วยวิธี Gaussian Elimination เพื่อให้ได้ค่า dh_i และค่า dQ_i

1.4.5 วิเคราะห์ค่า h_i^{k+1} และ Q_i^{k+1} จากสมการที่ (41) และ (42)



ภาพที่ 15 ผังการทำงานของ การแก้ระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงด้วยวิธี Newton-Raphson

1.4.6 ตรวจสอบเงื่อนไขการลู่เข้าหาคำตอบดังนี้

$$|x^{k+1} - x^k| < \epsilon$$

ถ้าเงื่อนไขยอมรับไม่ได้จะนำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 1.4.5 ไปเป็นค่าสมมติครั้งใหม่ (k+1) และเริ่มวิเคราะห์ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1.4.1 ใหม่ ในทางตรงกันข้ามถ้าเงื่อนไขยอมรับได้จะตรวจสอบจำนวนช่วงเวลาว่าสิ้นสุดหรือยังถ้ายังไม่สิ้นสุดก็เริ่มทำการวิเคราะห์ที่ช่วงเวลาต่อไปโดยใช้ค่า $x^{k+1} = (Q_i^{k+1}, h_i^{k+1}, \dots, Q_N^{k+1}, h_N^{k+1})$ ที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนที่ 1.4.5 เป็นค่าเริ่มต้น

1.5 เก็บข้อมูลระดับน้ำของแม่น้ำสายหลักที่เวลาต่างๆ บริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำสาขาซึ่งได้จากผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 1.4 เพื่อนำมากำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำสำหรับแม่น้ำสาขาต่อไป

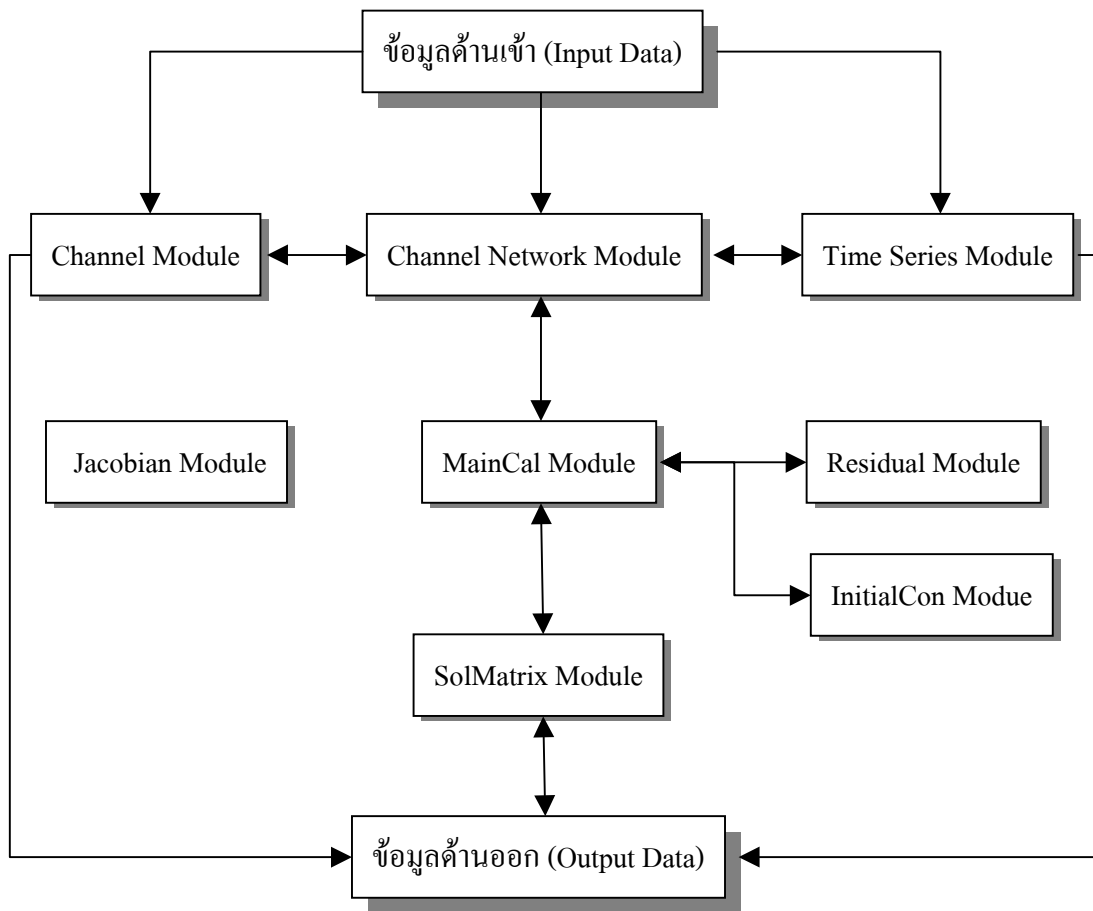
1.6 พิจารณาแม่น้ำสาขาโดยเปรียบเสมือนว่าเป็นแม่น้ำสายหลัก แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Newton-Raphson เหมือนในข้อ 1.4 เพื่อหาปริมาณการไหลที่จุดออกของแม่น้ำสาขา (q) โดยที่มีเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำคือระดับน้ำบริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำสายหลักที่ได้เก็บรวบรวมไว้ในข้อ 1.5

1.7 ตรวจสอบเงื่อนไขการลู่เข้าหาคำตอบระหว่างปริมาณการไหลเข้าด้านข้างที่สมมติกับปริมาณการไหลเข้าด้านข้างที่ได้จากการวิเคราะห์ดังนี้

$$|q - q^{**}| \leq \epsilon$$

ถ้าเงื่อนไขยอมรับได้ก็สิ้นสุดการคำนวณแต่ถ้าเงื่อนไขยอมรับไม่ได้ต้องนำ Iteration Algorithm (Fread, 1973) มาใช้เพื่อหาค่าปริมาณการไหลค่าใหม่ (q^*) ดังแสดงในสมการที่ (78) จากนั้นทำการวิเคราะห์ตั้งแต่ข้อที่ 1.3 ใหม่

สำหรับโครงสร้างของ Module ต่างๆ ของแบบจำลอง DYMWAU ตลอดจนการเชื่อมโยงของแต่ละ Module เข้าด้วยกันแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การเชื่อมโยงและโครงสร้างของ Module ต่างๆของแบบจำลอง DYMWAV

2. การประยุกต์แบบจำลอง DYMWAV กับพื้นที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกกลุ่มน้ำปึงตอนบนและกลุ่มน้ำบางปะกงเป็นพื้นที่ศึกษา โดยเลือกกลุ่มน้ำปึงตอนบนสำหรับใช้ในการศึกษาสภาพการไหลและทดสอบแบบจำลองกรณีมีผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม และเลือกกลุ่มน้ำบางปะกงสำหรับใช้ในการศึกษาสภาพการไหลและทดสอบแบบจำลองกรณีมีผลกระทบจากการขึ้นลงของน้ำทะเล รายละเอียดของพื้นที่ศึกษาทั้งสองมีดังนี้

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

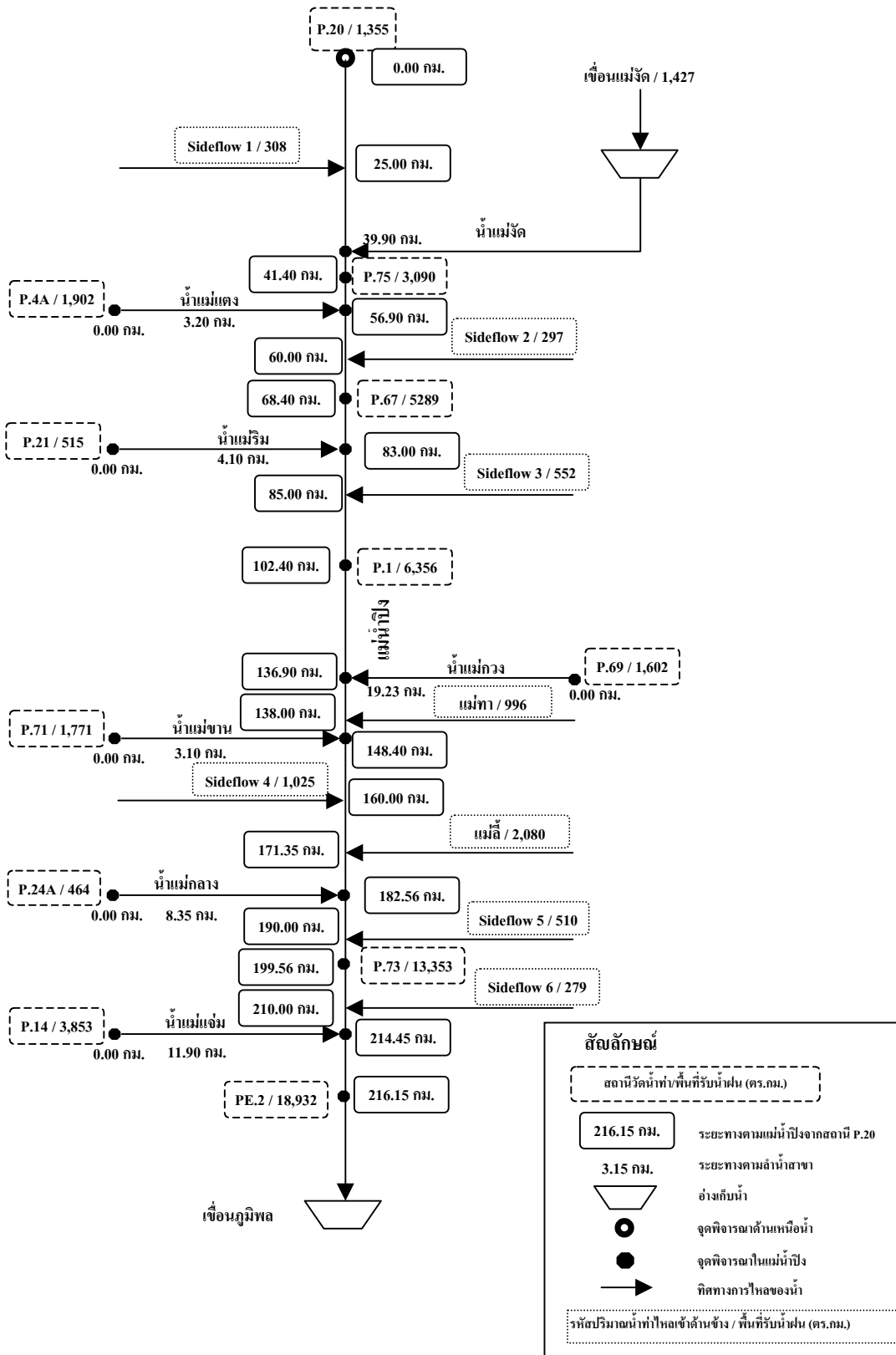
2.1.1 กลุ่มน้ำปึงตอนบน

นำแบบจำลอง DYMWAV มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษากลุ่มน้ำปึงตอนบน ตามแผนภูมิโครงข่ายระบบแม่น้ำของกลุ่มน้ำปึงตอนบนที่แสดงในภาพที่ 17 โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคงต่อไปนี้

1) ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาในลักษณะอนุกรมเวลา (Time Series) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยรายชั่วโมงจากเขื่อนแม่จัดและข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงของสถานีวัดน้ำท่า P.20, P.4A, P.21, P.69, P.71, P.24A และ P.14 เพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับระดับน้ำ (Rating Curve) ของสถานี PE.2 เพื่อใช้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าด้านข้างรายชั่วโมงจากกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบน รวมถึงข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงจากสถานีวัดน้ำท่า P.1, P.67, P.73, P.75 และปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานี PE.2 เพื่อนำมาเป็นจุดพิจารณาในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองโดยเลือกเหตุการณ์ปริมาณน้ำท่าปีพ.ศ. 2543 ตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม ถึงวันที่ 2 กุมภาพันธ์ มาใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง และเลือกเหตุการณ์ปริมาณน้ำท่าปีพ.ศ. 2542 ตั้งแต่วันที่ 2 สิงหาคม ถึงวันที่ 18 ตุลาคม มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

2) ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำปึงและน้ำแม่กวัง รวมทั้งแม่น้ำสาขาที่ได้ทำรวบรวมไว้ในขั้นต้น โดยที่แม่น้ำปึงจะทำการศึกษาดังแต่สถานี P.20 ถึงสถานี PE.2 ซึ่งมีข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำจำนวน 175 รูปตัด ในขณะที่น้ำแม่กวังได้ทำการศึกษาดังแต่สถานี P.69 จนถึงจุดบรรจบกับแม่น้ำปึงซึ่งมีรูปตัดขวางลำน้ำทั้งหมด 25 รูปตัด

3) พารามิเตอร์ของแบบจำลองอันประกอบด้วยค่า θ , Δx , Δt และค่า α



ภาพที่ 17 แผนภูมิโครงข่ายระบบแม่น้ำของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

2.1.2 กลุ่มน้ำบางปะกง

นำแบบจำลอง DYMWAV มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษากลุ่มน้ำบางปะกง ตามแผนภูมิโครงข่ายระบบแม่น้ำของกลุ่มน้ำบางปะกงที่แสดงในภาพที่ 18 โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาดังต่อไปนี้

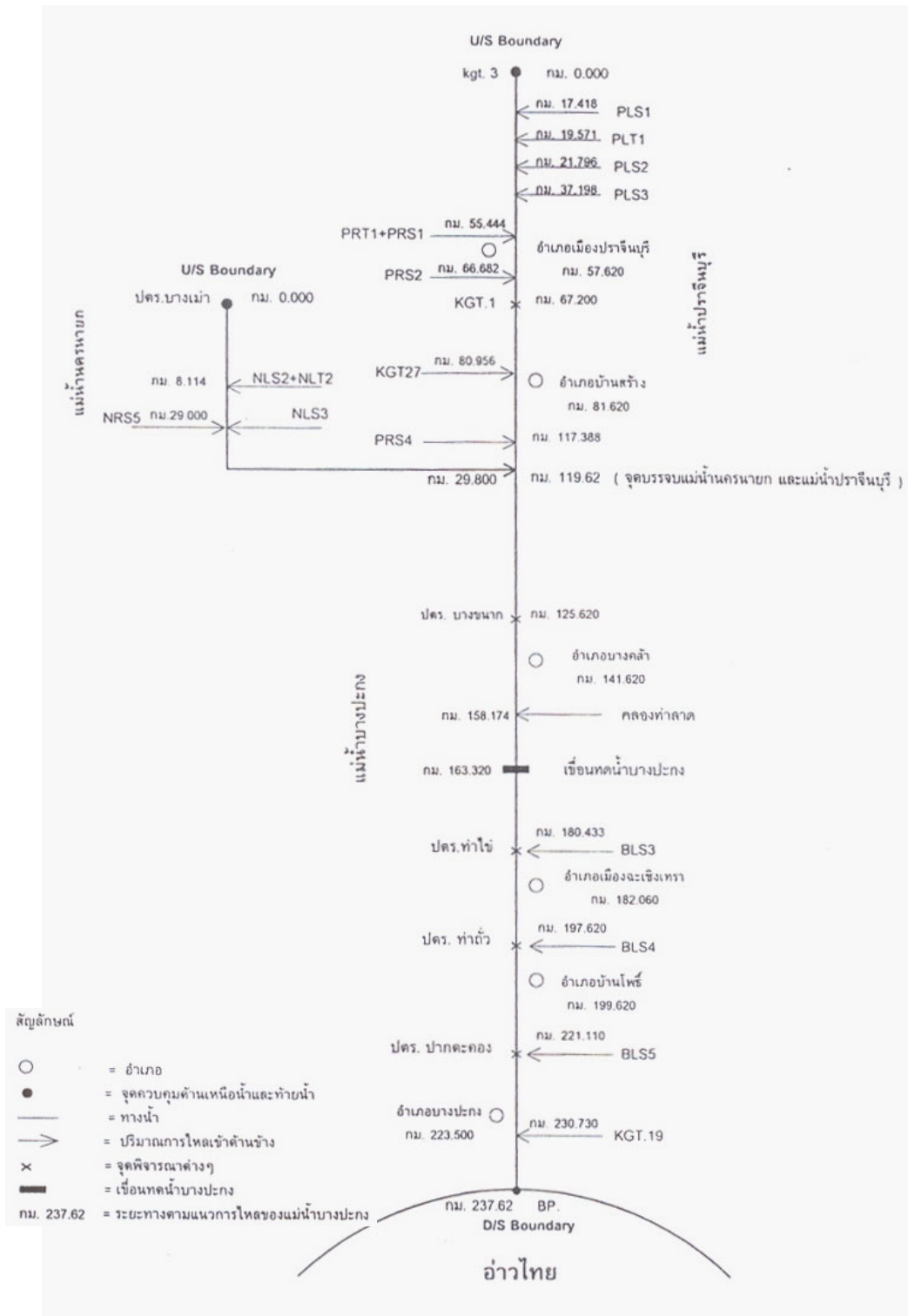
1) ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาในลักษณะอนุกรมเวลา (Time Series) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า Kgt.3 และข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงที่ประตูระบายน้ำบางเฒ่า เพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำของแม่น้ำปราจีนบุรีและแม่น้ำนครนายก ตามลำดับ ข้อมูลระดับน้ำท่ารายชั่วโมงที่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงเพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าด้านข้างจากลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำบางปะกงรวมถึงข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำท่า Kgt.1 ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงที่ประตูระบายน้ำบางขนาก ประตูระบายน้ำท่าไข่ ประตูระบายน้ำท่าถั่ว และประตูระบายน้ำปากตะคอง เพื่อนำมาเป็นจุดพิจารณาในการสอบเทียบแบบจำลองโดยเลือกเหตุการณ์ปริมาณน้ำท่าปีพ.ศ. 2540 ตั้งแต่วันที่ 19 กันยายน ถึงวันที่ 27 ตุลาคม มาใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง

2) ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำปราจีนบุรี และแม่น้ำนครนายกที่ได้ทำรวบรวมไว้ในขั้นต้น โดยมีรูปตัดลำน้ำในแม่น้ำแต่ละสายจำนวน 64, 36 และ 16 รูปตัด ตามลำดับ

3) พารามิเตอร์ของแบบจำลองอันประกอบด้วยค่า θ , Δx , Δt และค่า α

2.2 การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำสำหรับแต่ละรูปตัดขวางของลำน้ำ สามารถทำได้โดยเลือกข้อมูลด้านอุทกวิทยาในอดีตที่มีการเก็บรวบรวมโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษา ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าและระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าหรือข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆที่ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีนั้นๆ โดยที่ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลทั้งสองต้องมีความแตกต่างกันไม่มากนักอยู่



ภาพที่ 18 แผนภูมิแสดงการจำลองสภาพการไหลของแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำปราจีนบุรี และแม่น้ำนครนายก

ที่มา: นุชนารถ (2544)

ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ถ้าผลการเปรียบเทียบเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จะต้องเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าและระดับน้ำโดยใช้แบบจำลอง DYMWAV ใหม่ จนกระทั่งความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งสองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่สามารถเป็นตัวแทนของลำน้ำและนำไปใช้ศึกษาด้านอื่นๆ ต่อไป

อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระไปใช้เพื่อการศึกษาในด้านอื่นๆ จะต้องทำการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Model Verification) เพื่อให้มั่นใจว่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์กับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าเหตุการณ์อื่นได้ ซึ่งสามารถทำได้โดยเลือกเหตุการณ์น้ำท่าเหตุการณ์ใหม่ ถ้าผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกันจึงยอมรับได้ว่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองสามารถใช้เป็นตัวแทนลำน้ำได้ แต่ถ้าผลการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันมากเกินเกณฑ์ยอมรับได้ จะต้องทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองใหม่ เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่มีความเหมาะสมสำหรับเหตุการณ์น้ำท่าทั้งสองเหตุการณ์

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่มีความเหมาะสมและสามารถใช้เป็นตัวแทนลำน้ำได้แล้วจึงนำแบบจำลอง MIKE 11 HD มาประยุกต์กับพื้นที่ศึกษาเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำ (Manning Coefficient) ค่าเดียวกับที่ได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำไว้โดยแบบจำลอง DYMWAV มาทำการศึกษาปริมาณน้ำท่าจากเหตุการณ์น้ำท่าปี 2543 และ 2542 เช่นเดียวกับที่ได้ศึกษาโดยใช้แบบจำลอง DYMWAV จากนั้นนำผลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV ที่เหตุการณ์น้ำท่าเดียวกัน ถ้าผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันไม่มากนักและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง DYMWAV มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

2.3 เกณฑ์การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

สำหรับการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองนั้น จะต้องมีการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาใช้ค่าทางสถิติ 2 ค่า คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient,

r) และค่า Efficiency Index (EI) ดังแสดงในสมการที่ (91) และ (92) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองชุด

$$r = \frac{\sum (Q_i - \bar{Q}) \cdot (F_i - \bar{F})}{\sqrt{[\sum (Q_i - \bar{Q})^2 \cdot \sum (F_i - \bar{F})^2]}} \quad (91)$$

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}{\sum (Q_i - \bar{Q})^2} \times 100\% \quad (92)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i \quad (93)$$

เมื่อ Q_i = ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่เวลา i
 \bar{Q} = ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด
 F_i = ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองที่เวลา i
 \bar{F} = ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง
 N = จำนวนของข้อมูล

โดยปกติแล้วค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมาก และถ้า r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองก็มีความสัมพันธ์ที่ดีมากแต่ในเชิงปฏิภาคผกผัน แต่เมื่อไรก็ตามที่ r มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือแทบไม่มีเลย โดยทั่วไปแล้วในการศึกษาด้านอุทกวิทยาค่า r ควรมีค่ามากกว่า 0.6 จึงจะถือว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนค่า Efficiency index (EI) ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดทุกข้อมูล

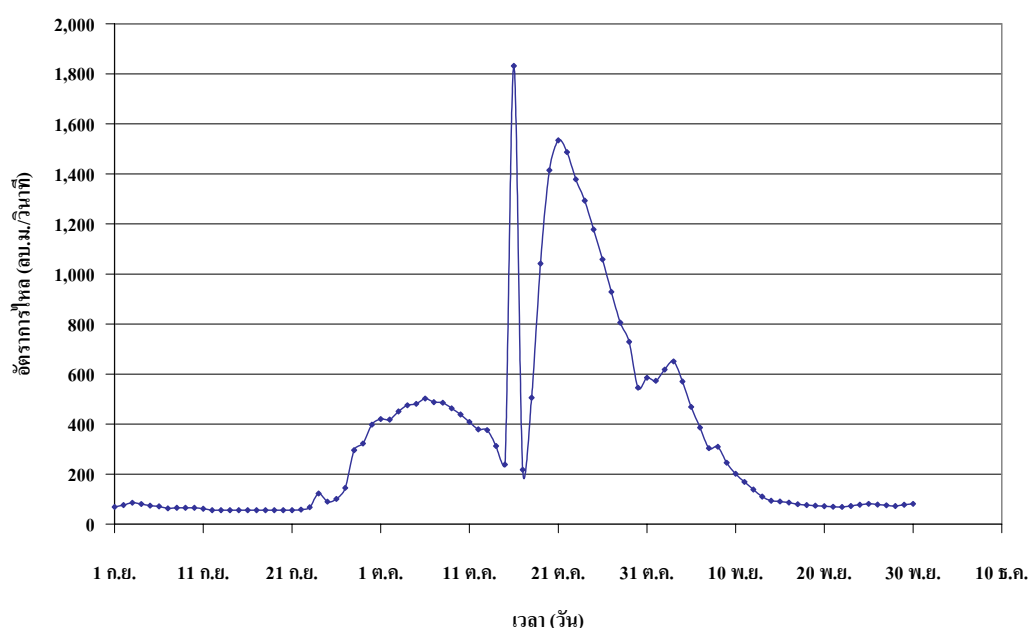
3. การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของแบบจำลอง DYMWAV ต่อเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ

จากการนำแบบจำลอง DYMWAV ไปประยุกต์กับพื้นที่ศึกษาทั้งสองคือลุ่มน้ำปึงตอนบน และลุ่มน้ำบางปะกงข้างต้นนั้น เป็นการทดสอบแบบจำลองว่าสามารถจำลองสภาพการไหลในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วมและการขึ้นลงของน้ำทะเลได้ ซึ่งการทดสอบแบบจำลองใน

กรณีที่ได้รับผลกระทบจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลนั้นจะเป็นการทดสอบแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ สำหรับการทําวิจัยนี้จึงได้ทําการตรวจสอบความมีเสถียรภาพของแบบจำลอง DYMWAV ต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำด้วย ซึ่งสามารถทําได้โดยการสมมติข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำและเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ ตลอดจนข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำขึ้นมามีดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ

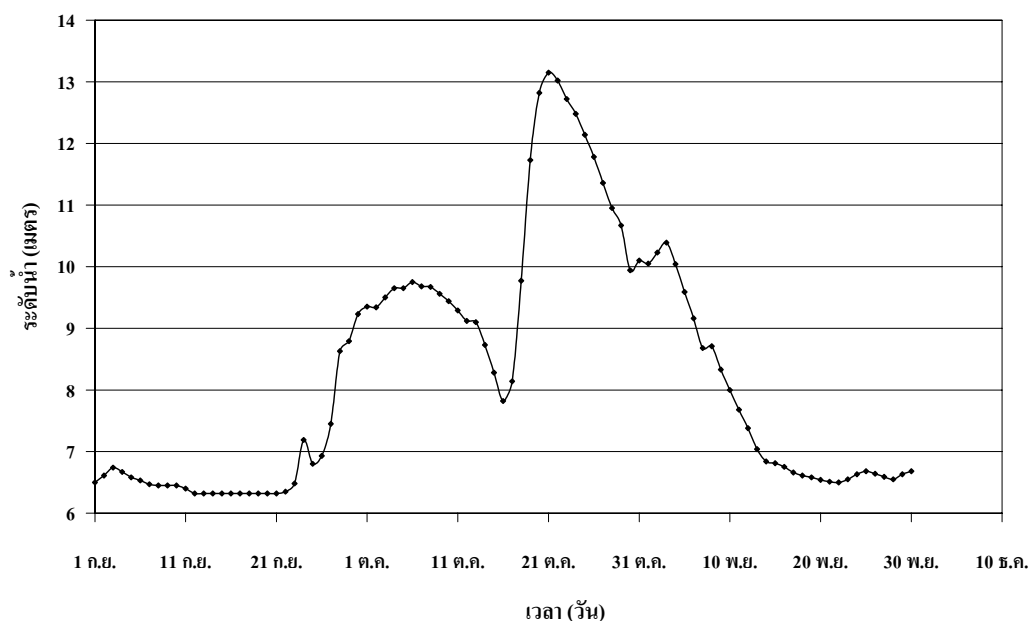
สำหรับข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำได้สมมติเหตุการณ์น้ำท่าซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นจริงขึ้นโดยสมมติให้เป็นข้อมูลกราฟน้ำท่าช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ณ วันที่ 16 ตุลาคม ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 เงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำกรณีทดสอบผลกระทบเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ

3.2 ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ

สำหรับข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำได้สมมติเหตุการณ์น้ำท่าซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นจริงขึ้น โดยสมมติให้เป็นข้อมูลระดับน้ำในลักษณะอนุกรมเวลาที่มีช่วงเวลาเดียวกับเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 เงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำกรณีทดสอบผลกระทบเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ

3.3 ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำ

สมมติข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำทั้งหมด 6 รูปตัด โดยที่รูปตัดด้านเหนือน้ำอยู่ที่กิโลเมตรที่ 0 และรูปตัดสุดท้ายอยู่ที่กิโลเมตรที่ 15 ความกว้างของลำน้ำของทุกรูปตัดขวางลำน้ำอยู่ในช่วง 251 ถึง 346 เมตร

ผลและวิจารณ์

การศึกษาสภาพการไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติมีสมการพื้นฐานคือสมการเซนต์-เวินนัท ซึ่งอยู่ในรูปของ Nonlinear Partial Differential Equations สำหรับการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงนั้นไม่มีวิธีการที่ยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากไม่สามารถแก้ระบบสมการแล้วหาคำตอบได้ภายในครั้งเดียว ต้องใช้เทคนิคการวนซ้ำเข้ามาช่วยในการแก้ปัญห โดยทำการสมมติคำตอบเริ่มต้นก่อนจากนั้นทำการวนซ้ำหาคำตอบจนกระทั่งได้คำตอบที่ถูกต้อง จากวิธีการที่ยุ่งยากดังกล่าวผู้พัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาสภาพการไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติหลายแบบจำลอง เช่นแบบจำลอง MIKE 11 และ Node and Branch พยายามลดความยุ่งยากของการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงลงโดยการเปลี่ยนระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงของสมการเซนต์-เวินนัท ให้อยู่ในรูประบบสมการแบบเป็นเส้นตรงซึ่งสามารถแก้สมการได้ง่ายกว่า แล้วทำการแก้ปัญหโดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหแบบเมตริกต่างๆไปแทนการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงโดยตรง อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงโดยการจัดให้อยู่ในรูประบบสมการแบบเป็นเส้นตรงนั้นถึงแม้ว่าจะสามารถแก้ปัญหได้ง่ายและมีโอกาสเสี่ยงต่อการลู่ออกจากคำตอบน้อยก็ตาม แต่ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีอาจมีความคลาดเคลื่อนจากคำตอบที่ถูกต้องได้มากกว่าการแก้ปัญหาระบบสมการแบบเป็นเส้นตรงโดยตรงที่จะทำการวนซ้ำหาคำตอบจนกระทั่งได้คำตอบที่ถูกต้อง

สำหรับแบบจำลอง DYMWAV ที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ได้ทำการแก้ระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงของสมการเซนต์-เวินนัท โดยตรงด้วยวิธี Newton – Raphson ซึ่งเป็นเทคนิคการวนซ้ำอย่างหนึ่งเพื่อศึกษาสภาพการไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติ จากนั้นนำแบบจำลอง DYMWAV ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำปึงตอนบนและลุ่มน้ำบางปะกงเพื่อทดสอบแบบจำลองว่าสามารถใช้ในการจำลองสภาพการไหลได้ทั้งในกรณีได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม และการขึ้นลงของน้ำทะเลได้ ตลอดจนทำการเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณการไหลและระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับผลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสอง ซึ่งผลการประยุกต์แบบจำลอง DYMWAV กับพื้นที่ศึกษามีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการประยุกต์แบบจำลอง DYMWAV กับลุ่มน้ำปึงตอนบน

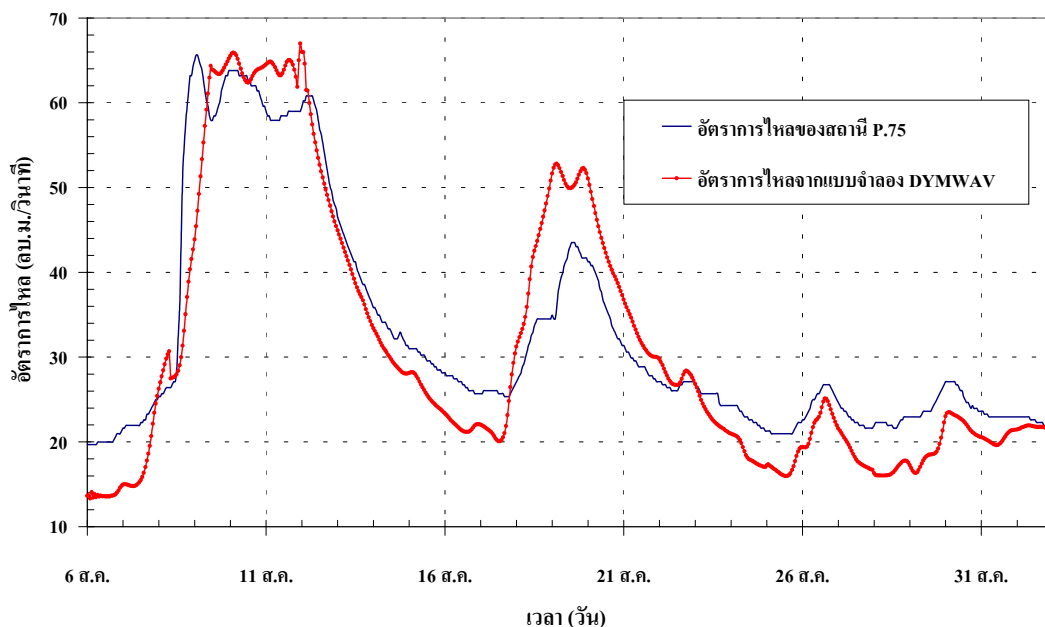
1.1 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV ได้เลือกเหตุการณ์น้ำท่า 2 เหตุการณ์ คือเหตุการณ์น้ำท่าปี พ.ศ. 2543 ตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม ถึงวันที่ 2 กุมภาพันธ์ สำหรับใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อให้ได้มาซึ่งสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ และเลือกเหตุการณ์ปริมาณน้ำท่าปี พ.ศ. 2542 ตั้งแต่วันที่ 2 สิงหาคม ถึงวันที่ 18 ตุลาคม มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง เพื่อพิสูจน์ว่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำที่ได้จากขั้นตอนการสอบเทียบแบบจำลองสามารถนำไปประยุกต์กับเหตุการณ์น้ำท่าเหตุการณ์อื่นได้ และสามารถเป็นตัวแทนของลำน้ำได้อย่างแท้จริง

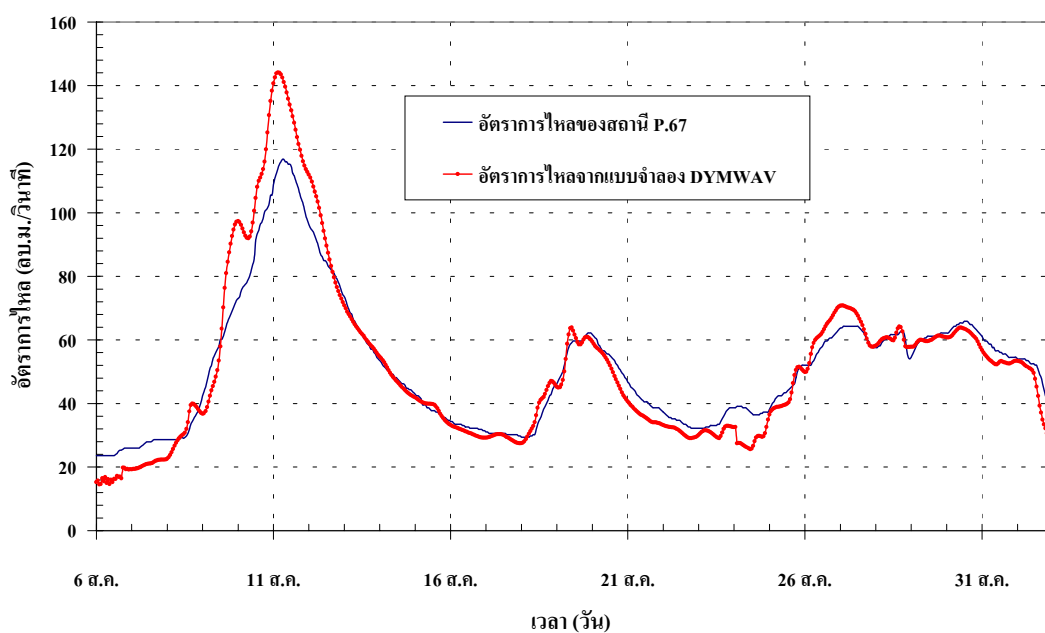
1.1.1 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV

การสอบเทียบแบบจำลองสำหรับเหตุการณ์น้ำท่าตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม ถึงวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2543 โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเพื่อให้ผลการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่รวบรวมจากสถานีตรวจวัดต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่สถานีวัดน้ำท่าที่นำมาพิจารณาสอบเทียบแบบจำลองประกอบด้วย สถานี P.75, P.67, P.1, P.73 และสถานี PE.2 ซึ่งผลการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีดังกล่าวแสดงในภาพที่ 21 ถึงภาพที่ 25 ตามลำดับ จากการพิจารณาผลของการสอบเทียบแบบจำลองด้วยสายตาที่สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ จะเห็นว่าที่จุดพิจารณาของสถานี P.75, P.67, P.1 และ PE.2 กราฟน้ำท่าโดยรวมที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และจากการตรวจวัดมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีค่าแตกต่างกันมากในช่วงเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดของกราฟน้ำท่าทั้งสอง ในขณะที่ผลการสอบเทียบแบบจำลองของสถานี P.73 พบว่ากราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV มีค่าต่ำกว่ากราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับแต่ละจุดพิจารณาดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.924 – 0.982 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะที่ค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 70.02 – 87.01 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีพอ โดยเฉพาะที่จุดพิจารณาของสถานี P.73 ซึ่งให้ค่า EI ต่ำสุดคือเท่ากับ 70.02 นั่นคือว่ายังไม่ดีพอ แต่สำหรับการศึกษานี้การสอบเทียบแบบจำลองไม่ใช่ประเด็นสำคัญ จุดประสงค์ของการสอบเทียบแบบจำลองเพียงเพื่อต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำโดยประมาณเท่านั้น โดยที่ ประเด็นหลักของการศึกษาคือการ

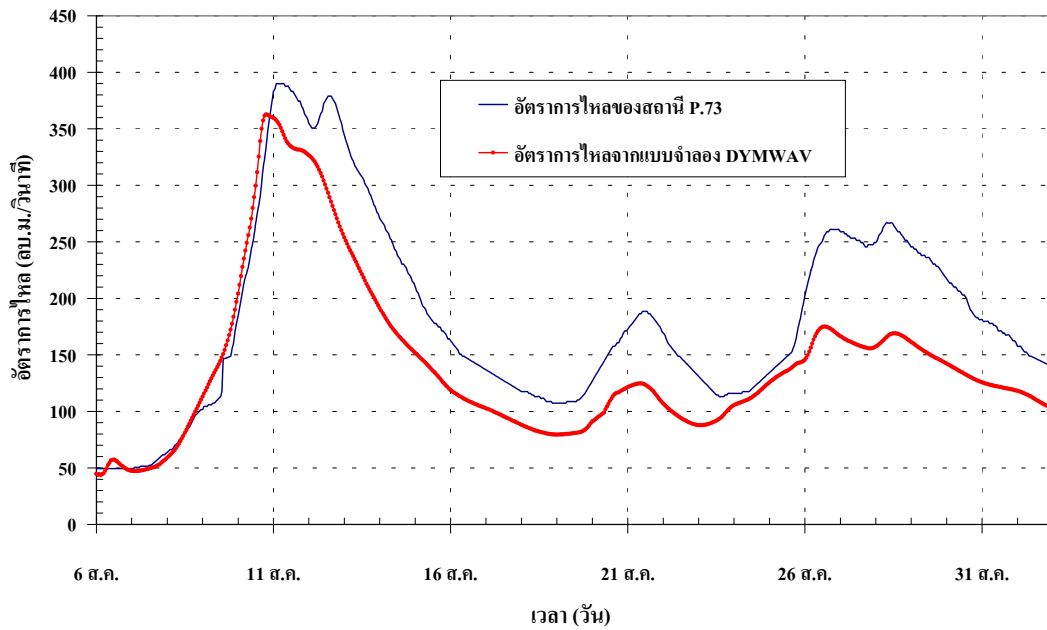
เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับผลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งต้องมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการสอบเทียบแบบจำลองนี้จึงยอมรับได้ ซึ่งค่าและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแต่ละช่วงลำน้ำที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 6



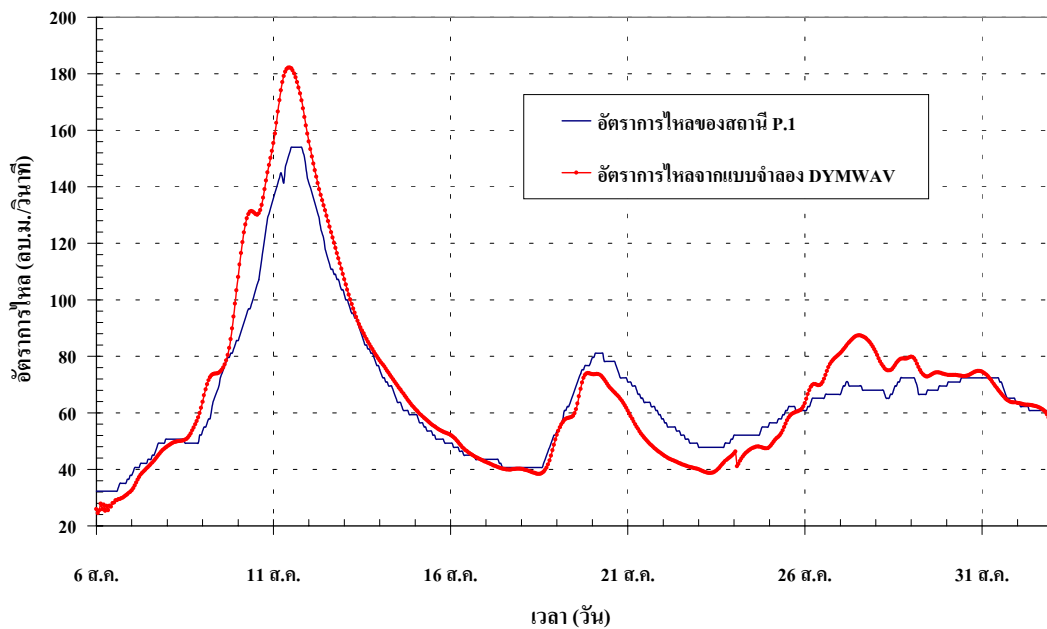
ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม.ของสถานี P.75 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



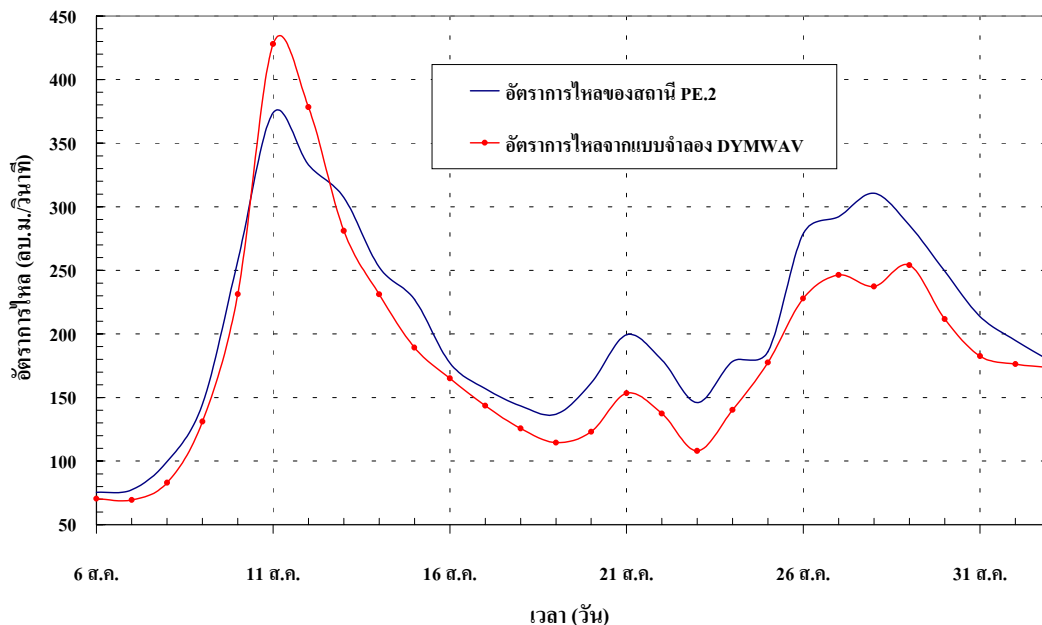
ภาพที่ 22 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม.ของสถานี P.67 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



ภาพที่ 23 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม.ของสถานี P.73 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม.ของสถานี P.1 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม.ของสถานี PE.2 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติจากกระบวนการ การสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน

จุดพิจารณา	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; r)	Efficiency Index (%)
สถานีวัดน้ำท่า P.75	0.937	81.35
สถานีวัดน้ำท่า P.67	0.982	85.82
สถานีวัดน้ำท่า P.1	0.973	84.24
สถานีวัดน้ำท่า P.73	0.924	70.02
สถานีวัดน้ำท่า PE.2	0.952	87.01

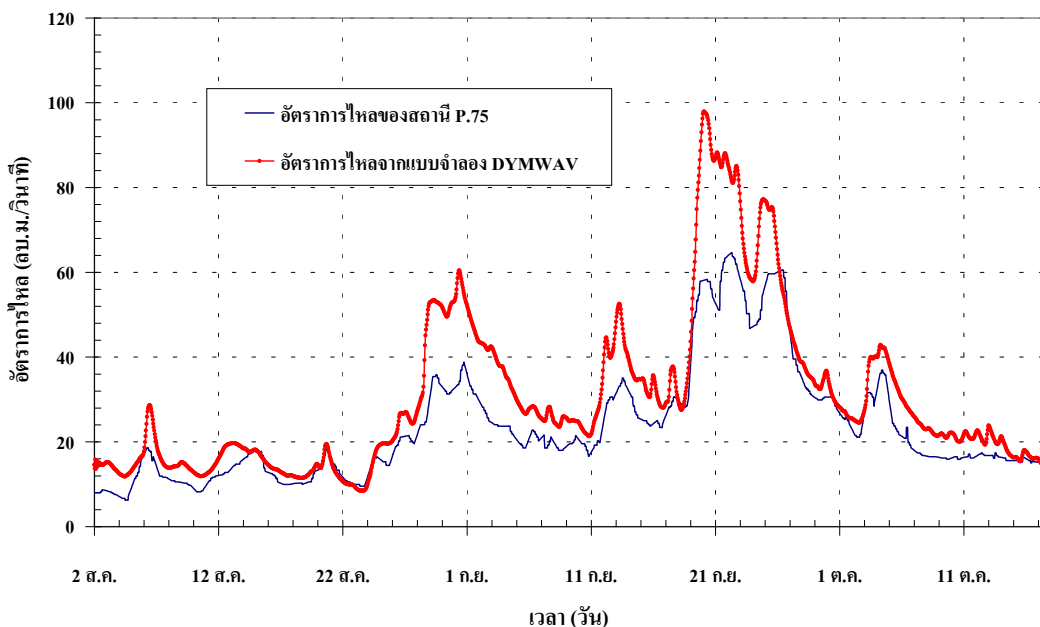
ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning Coefficient, n) ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV สำหรับการไหลในลำน้ำของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ชื่อแม่น้ำ	ระยะทาง (กม.)	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)
แม่น้ำปิง	กม. 0.00 - กม. 56.90	0.033
แม่น้ำปิง	กม. 59.91 - กม. 136.90	0.040
แม่น้ำปิง	กม. 139.91 - กม.216.15	0.033
น้ำแม่จืด	กม. 0.00 - กม.4.90	0.033
น้ำแม่แดง	กม. 0.00 - กม.3.30	0.033
น้ำแม่ริม	กม. 0.00 - กม.4.10	0.040
น้ำแม่กวง	กม. 0.00 - กม.64.00	0.033
น้ำแม่กลาง	กม. 0.00 - กม.8.35	0.033
น้ำแม่ขาน	กม. 0.00 - กม.3.10	0.033
น้ำแม่แจ่ม	กม. 0.00 - กม.11.90	0.033

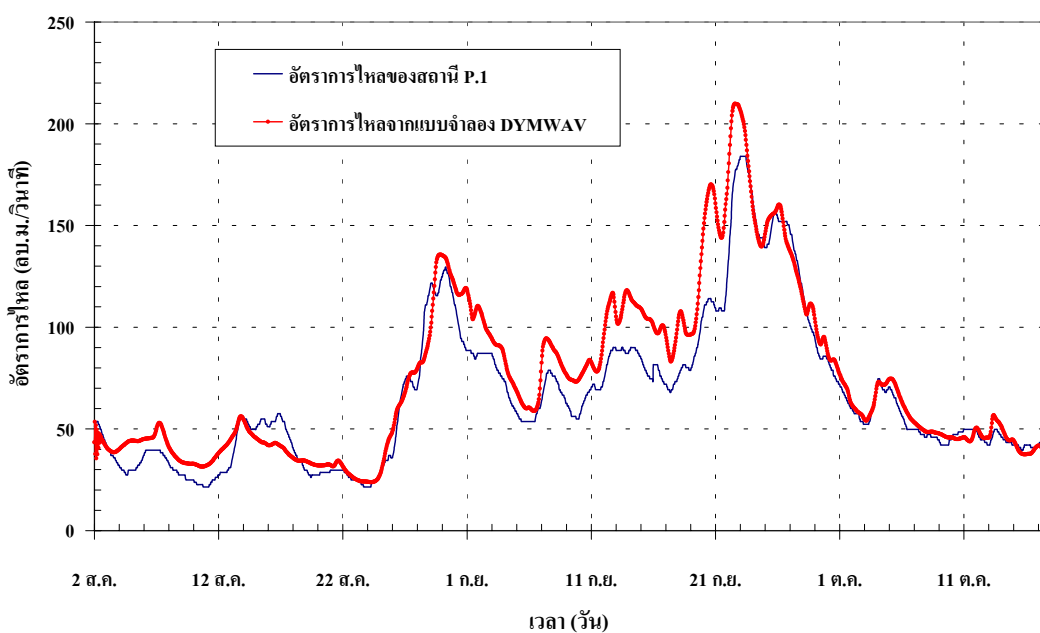
1.1.2 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV

การตรวจพิสูจน์แบบจำลองสำหรับเหตุการณ์น้ำท่วมตั้งแต่วันที่ 2 สิงหาคม ถึงวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2542 โดยใช้สัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง และทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองกับอัตราการไหลที่รวบรวมจาก สถานีตรวจวัดต่างๆ โดยที่สถานีวัดน้ำทำที่นำมาพิจารณาตรวจพิสูจน์แบบจำลองประกอบด้วย สถานี P.75, P.1, P.73 และสถานี PE.2 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีดังกล่าวแสดงในภาพที่ 26 ถึงภาพที่ 29 ตามลำดับ จากการพิจารณาผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองด้วยสายตาพบว่า การตรวจพิสูจน์แบบจำลองให้ผลไม่ดัดนัก คือที่จุดพิจารณา P.75, P.1 และ PE.2 อัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV จะมีค่าที่มากกว่าอัตราการไหลที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยเฉพาะที่ สถานี P.75 ซึ่งจะเห็นความแตกต่างที่ชัดเจนที่สุด ในขณะที่มีเพียงจุดพิจารณาเดียวคือสถานี P.73 ที่ อัตราการไหลทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติสำหรับแต่ละจุดพิจารณาดัง แสดงในตารางที่ 7 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.956 – 0.963 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะที่ค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 50.00 – 92.68 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี โดยเฉพาะที่จุดพิจารณา

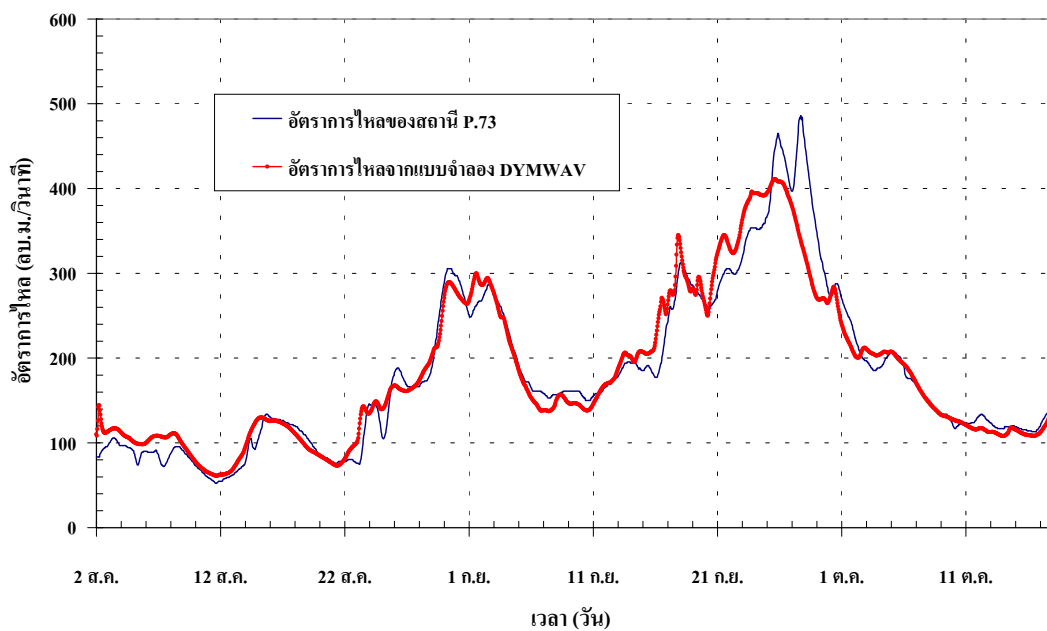
ของสถานี P.75 ซึ่งให้ค่า EI เท่ากับ 50.00 นั้นต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามสำหรับการศึกษานี้การตรวจพิสูจน์แบบจำลองไม่ใช่ประเด็นหลักของการศึกษาเช่นเดียวกับการสอบเทียบแบบจำลองดังนั้นผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองนี้จึงยอมรับได้



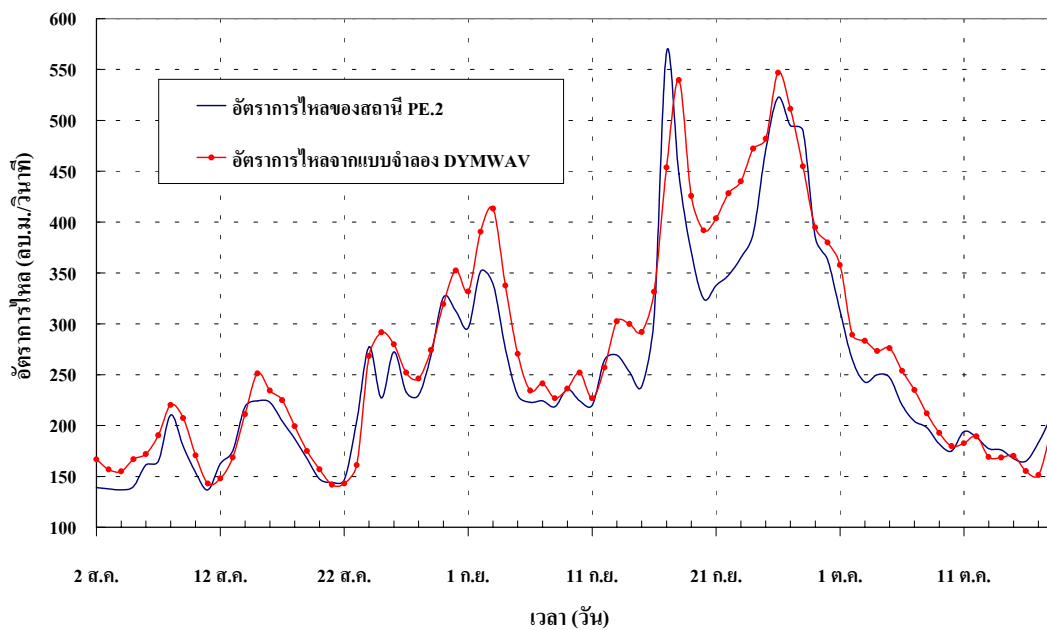
ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม. ของสถานี P.75 กรณีการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม. ของสถานี P.1 กรณีการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 28 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม.ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลราย ชม. ของสถานี P.73 กรณีการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบอัตราการไหลรายวันที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลรายวัน ของสถานี PE.2 กรณีการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

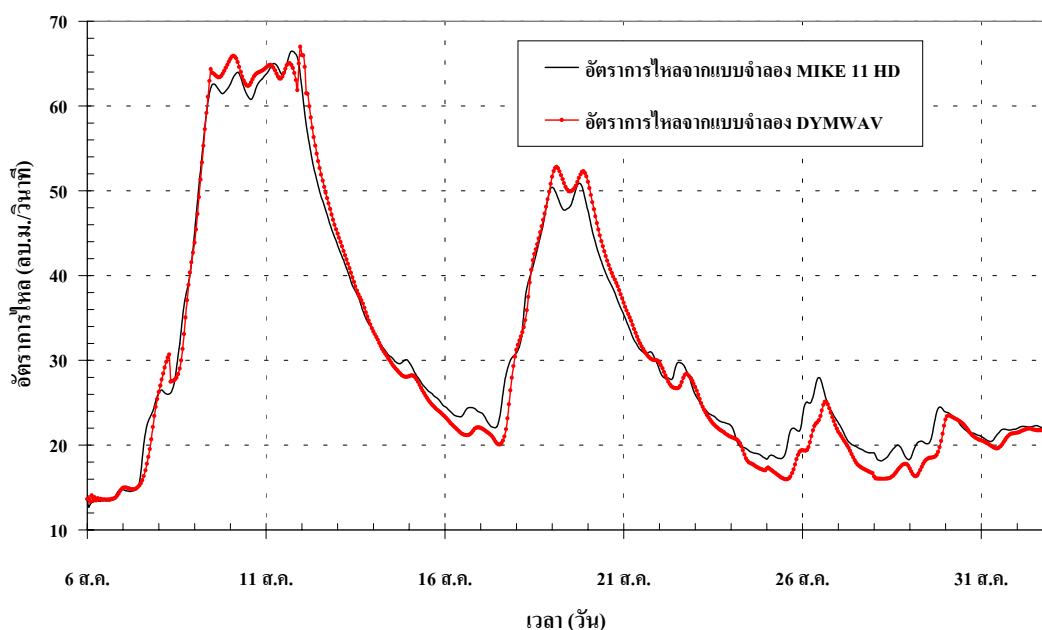
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติจากกระบวนการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน

จุดพิจารณา	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r)	Efficiency Index (%)
สถานีวัดน้ำท่า P.75	0.956	50.00
สถานีวัดน้ำท่า P.1	0.960	87.60
สถานีวัดน้ำท่า P.73	0.963	92.68
สถานีวัดน้ำท่า PE.2	0.957	86.29

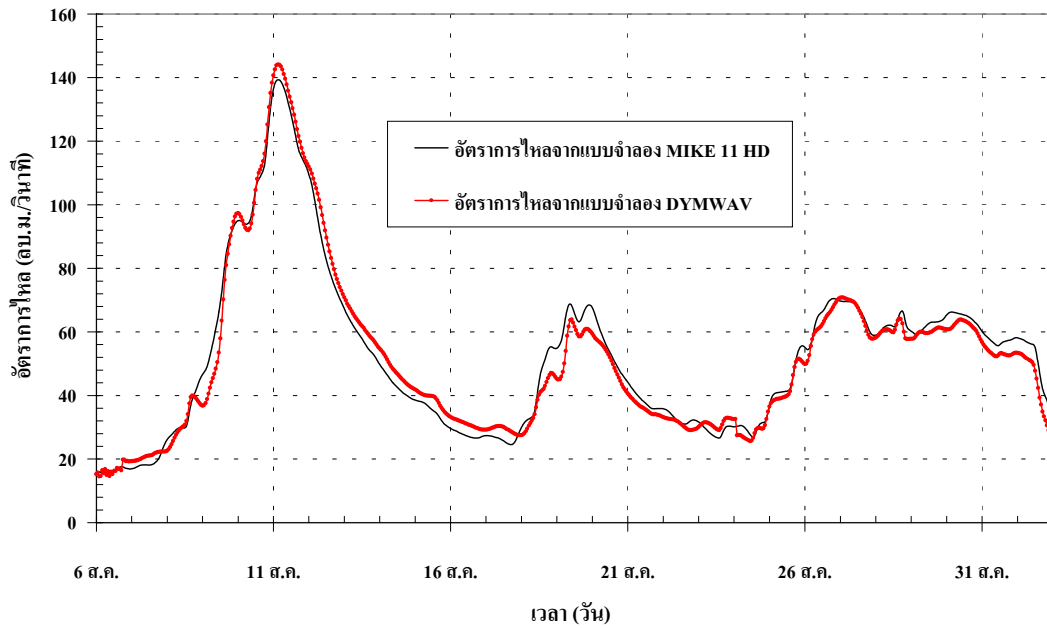
1.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง DYMWAV

เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง DYMWAV จึงนำแบบจำลอง MIKE 11 HD มาประยุกต์กับพื้นที่ศึกษาเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลรูปตัดลำน้ำและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำ (Manning Coefficient) ค่าเดียวกับที่ได้ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองลุ่มน้ำไว้โดยแบบจำลอง DYMWAV มาทำการศึกษาปริมาณการไหลจากเหตุการณ์น้ำท่าปี พ.ศ. 2543 และ ปี พ.ศ. 2542 เช่นเดียวกับที่ได้ศึกษาโดยใช้แบบจำลอง DYMWAV ซึ่งผลของการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD กับผลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV สำหรับเหตุการณ์น้ำท่าปี พ.ศ.2543 กรณีสอบเทียบแบบจำลองแสดงในภาพที่ 30 ถึงภาพที่ 34 จากผลการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองด้วยสายตาสำหรับจุดพิจารณาทุกสถานีพบว่า อัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีรูปแบบการไหลที่เหมือนกันและยังมีค่าใกล้เคียงกันมากด้วย เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองด้วยวิธีเชิงเส้นดังแสดงในภาพที่ 35 ถึงภาพที่ 39 ถ้าอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะได้ค่าที่อยู่บนเส้นตรงที่เอียงทำมุม 45 องศากับแกนนอน จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าที่ได้จะมีการกระจายตัวไปตามเส้นตรงโดยไม่ห่างจากเส้นตรงมากนัก ซึ่งเป็นการยืนยันว่าอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ผลของการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทั้งสองสำหรับเหตุการณ์น้ำท่าปี พ.ศ. 2542 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง แสดงในภาพที่ 40 ถึงภาพที่ 43 โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองแสดงในภาพที่ 44 ถึงภาพที่ 47 จากผลการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองพบว่า อัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมี

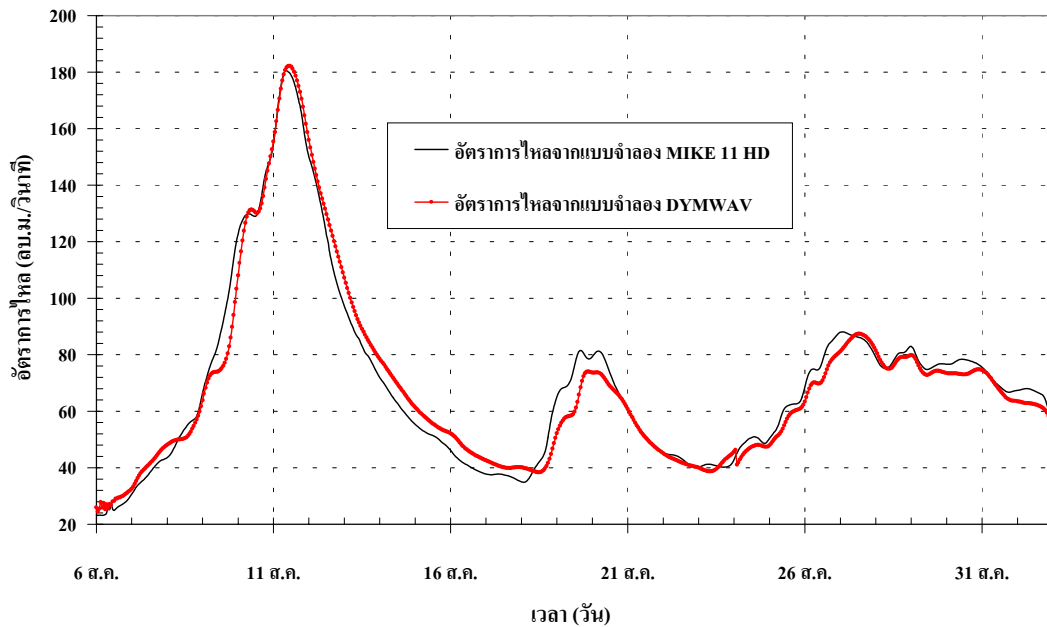
รูปแบบการไหลที่เหมือนกันและยังมีค่าใกล้เคียงกันมากเช่นกัน สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองในกรณีสอบเทียบแบบจำลองและกรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลองแสดงในตารางที่ 8 และตารางที่ 9 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.986 – 0.996 สำหรับเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ.2543 และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.995 – 0.997 สำหรับเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ.2542 ส่วนค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 97.12 – 99.06 สำหรับเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ.2543 และมีค่าอยู่ระหว่าง 96.6 – 98.82 สำหรับเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ.2542



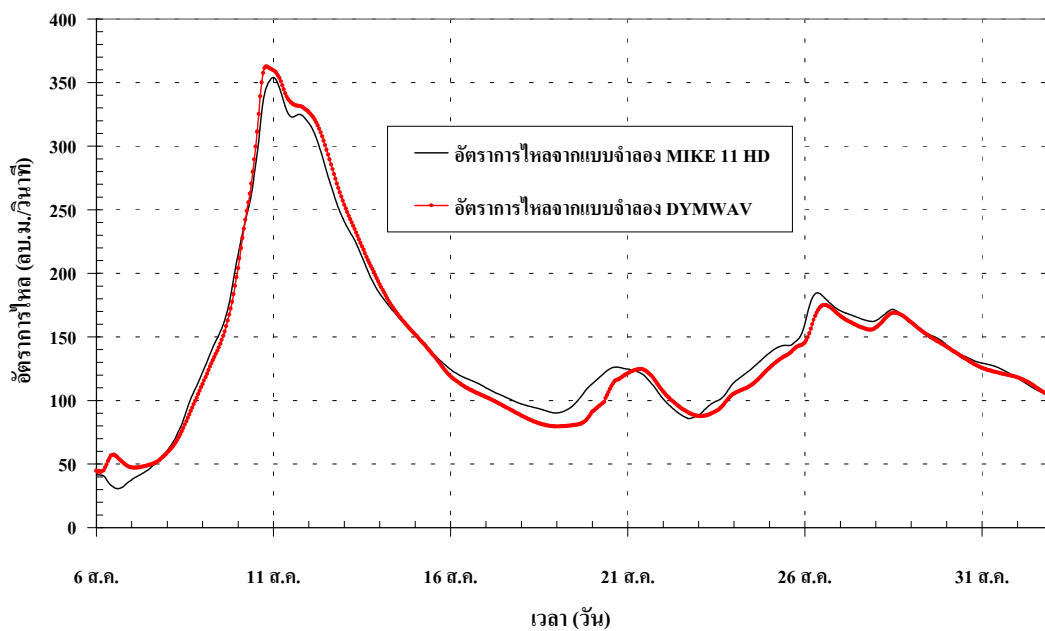
ภาพที่ 30 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.75 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



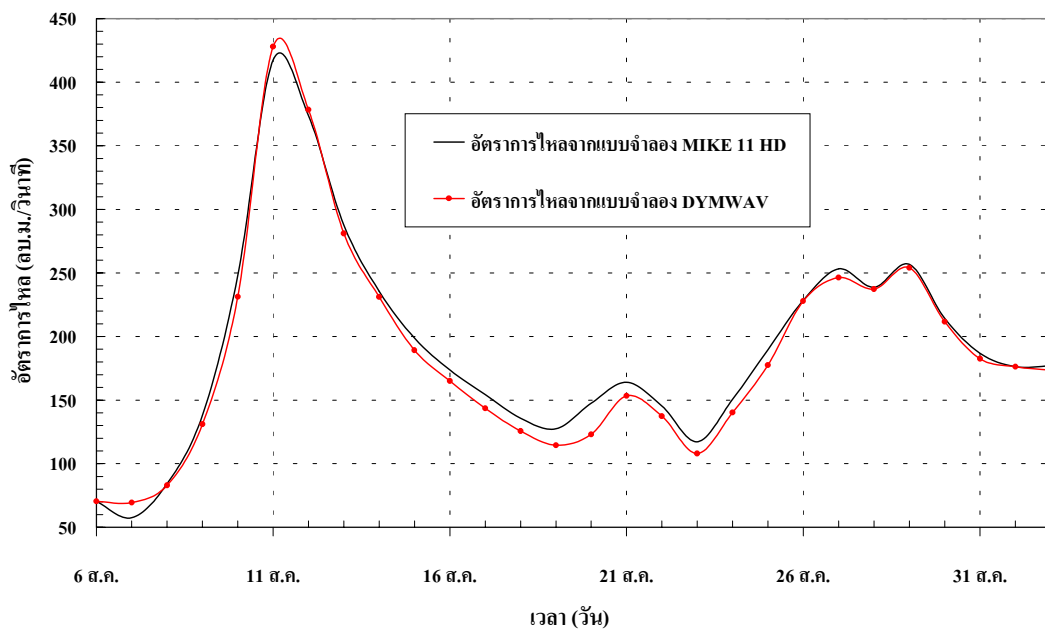
ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.67 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



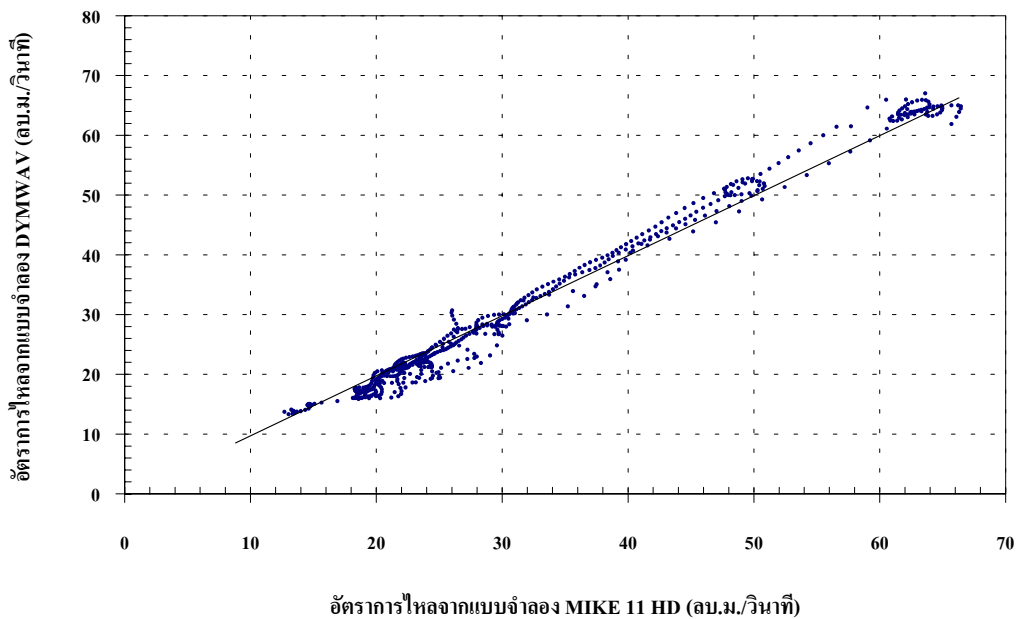
ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.1 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



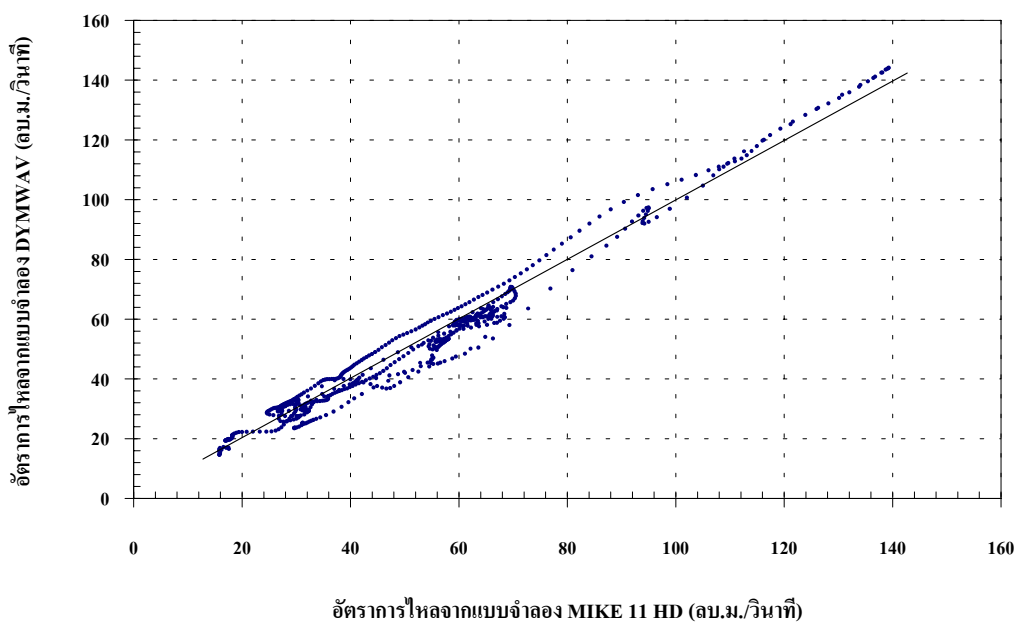
ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.73 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



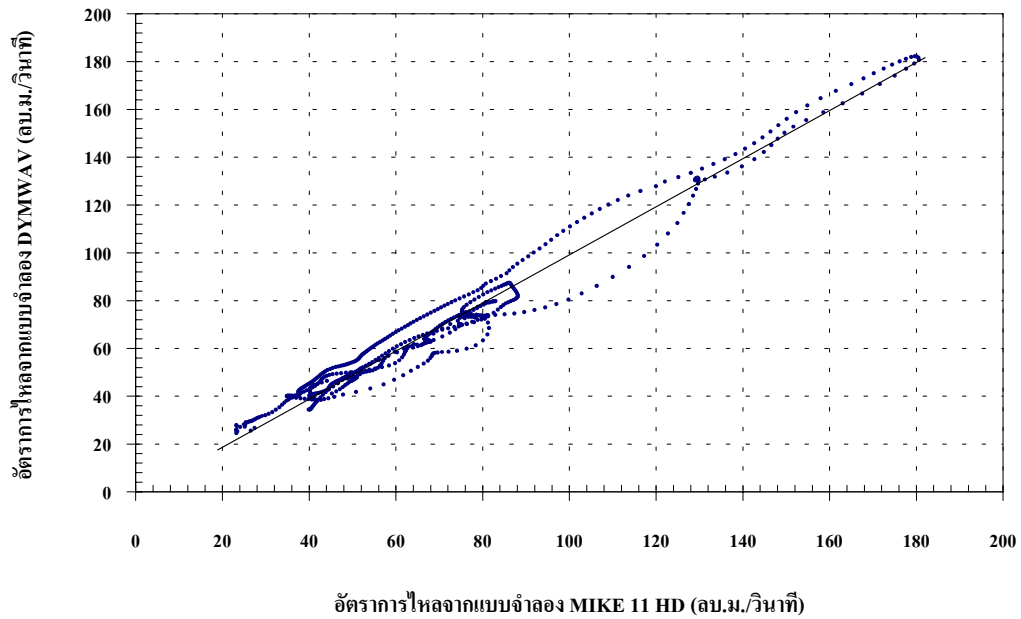
ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบอัตราการไหลรายวัน ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี PE.75 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



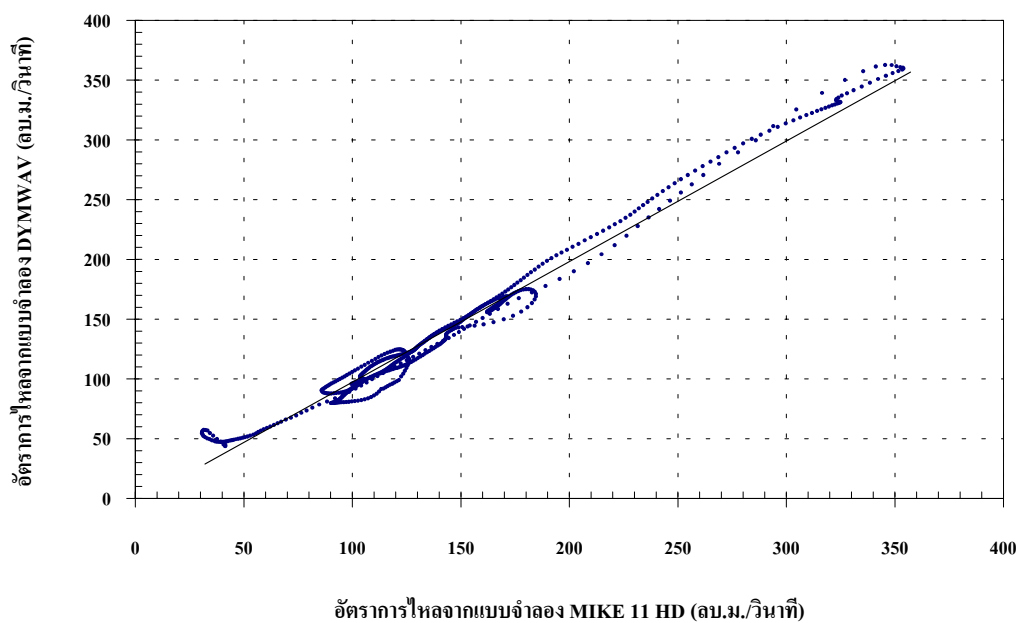
ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.75 กรณีสอบเทียบแบบจำลอง



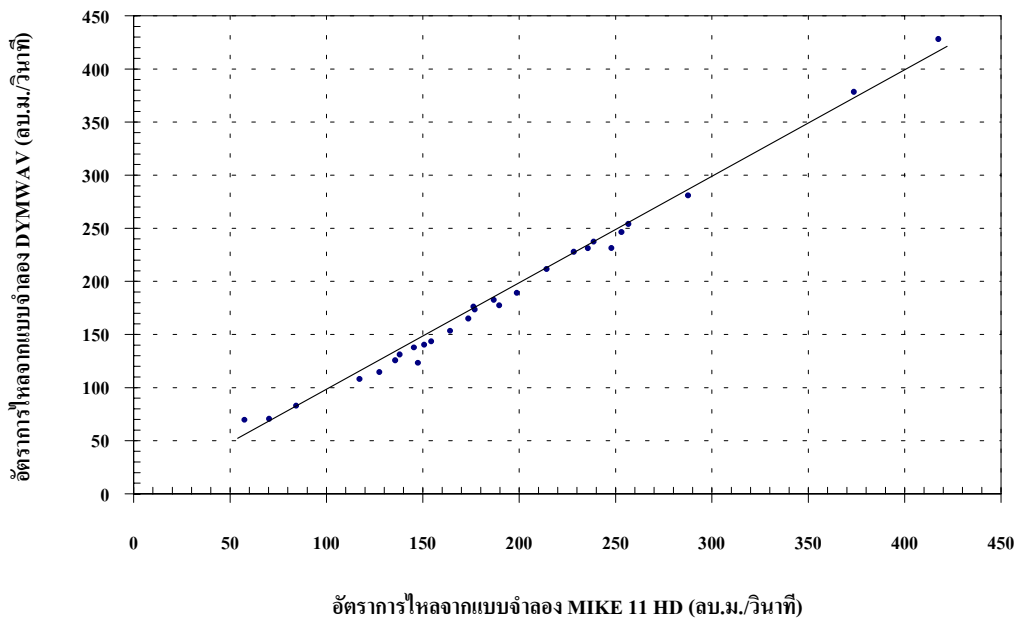
ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.67 กรณีสอบเทียบแบบจำลอง



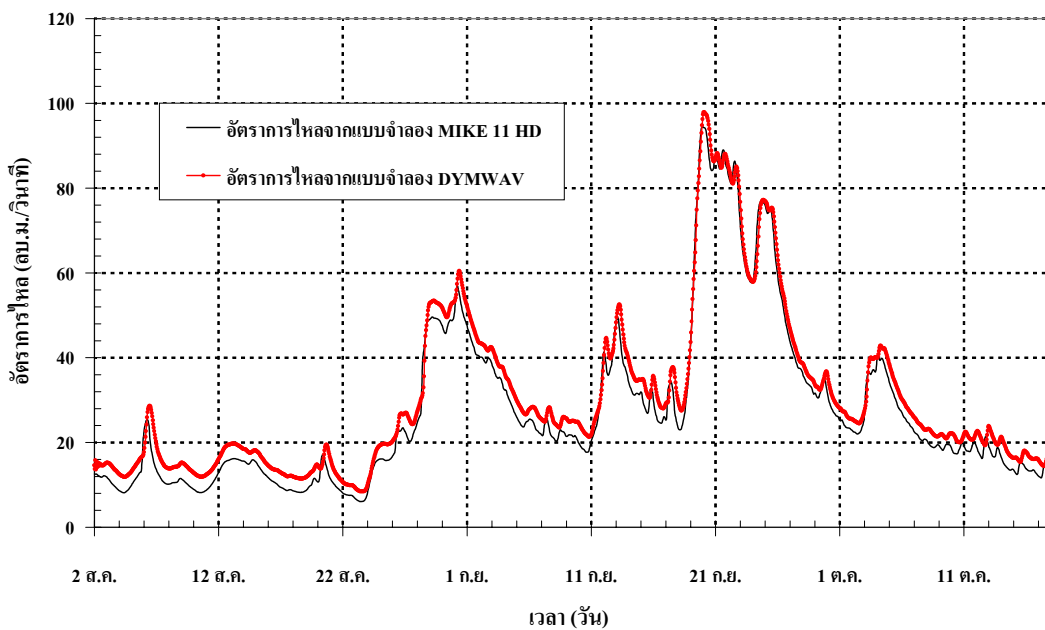
ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการใช้ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการใช้ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.1 กรณีสอบเทียบแบบจำลอง



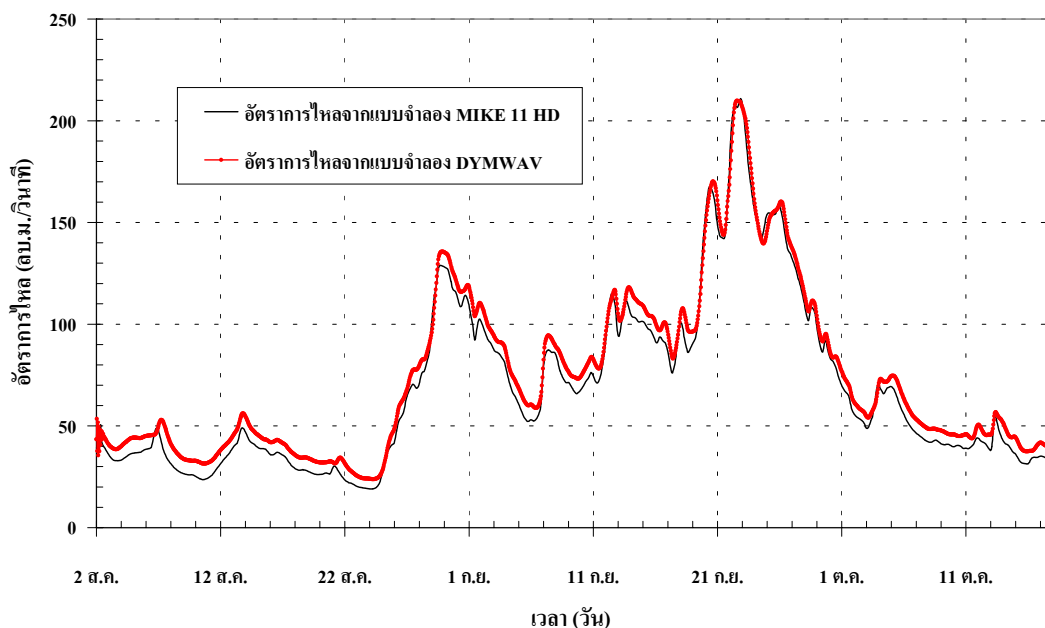
ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการใช้ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการใช้ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.73 กรณีสอบเทียบแบบจำลอง



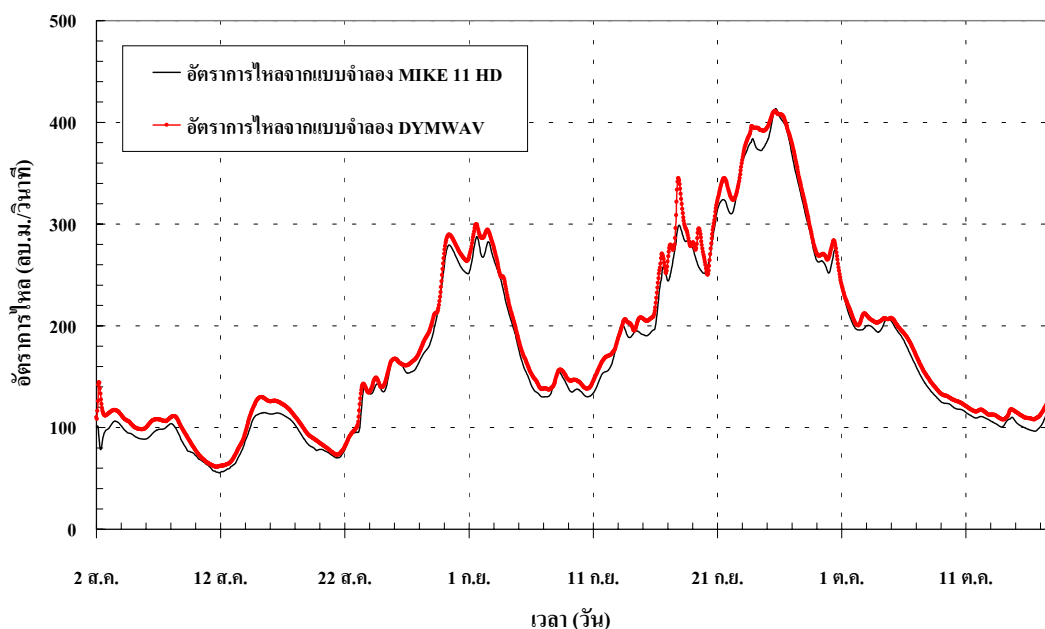
ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี PE.2 กรณีสอบเทียบแบบจำลอง



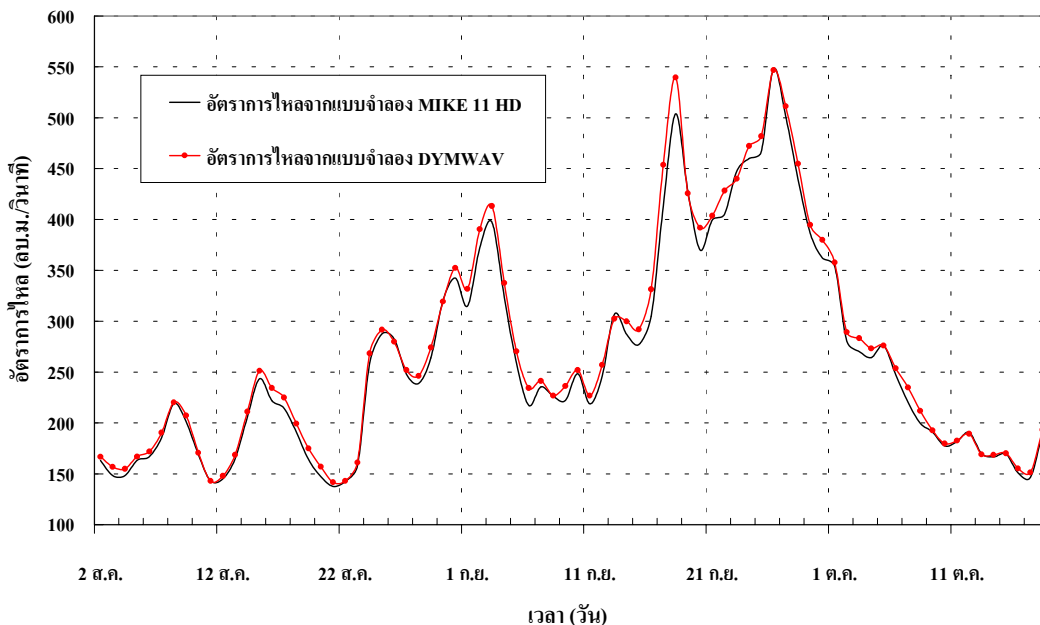
ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.75 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



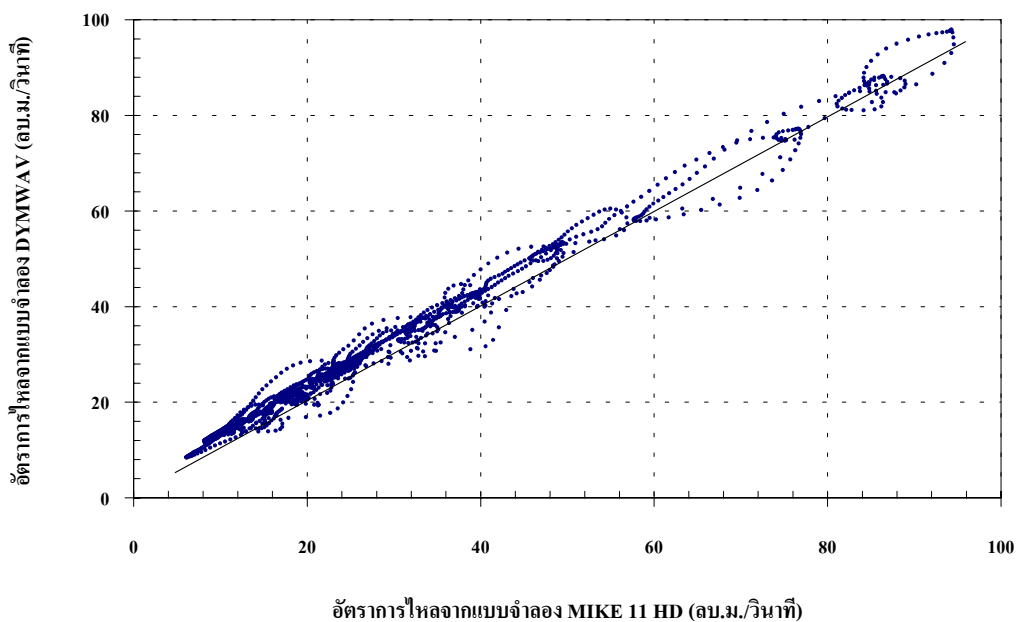
ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.1 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



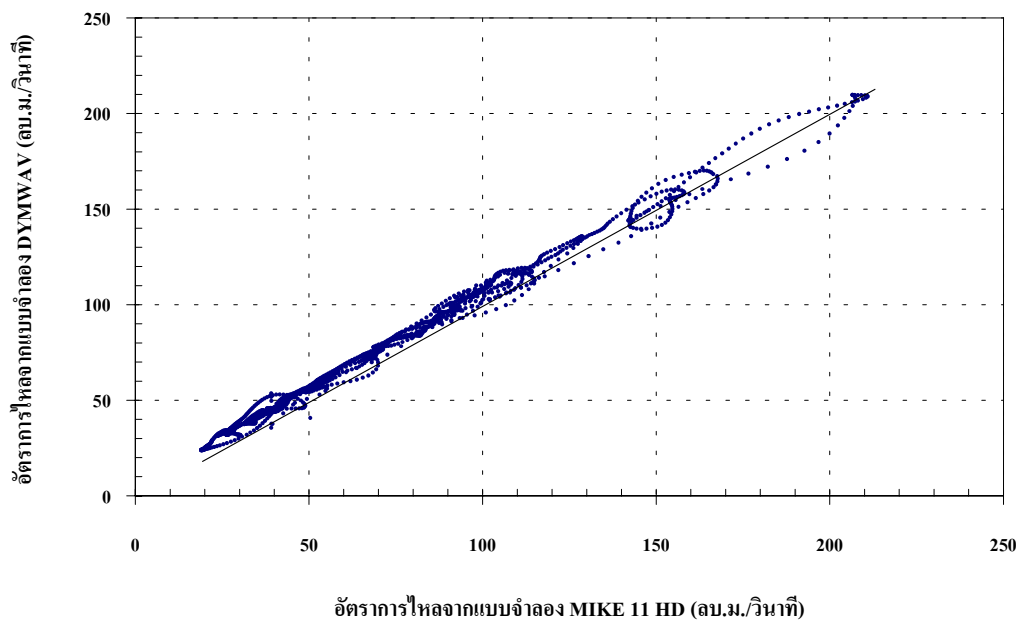
ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบอัตราการไหลราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.73 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



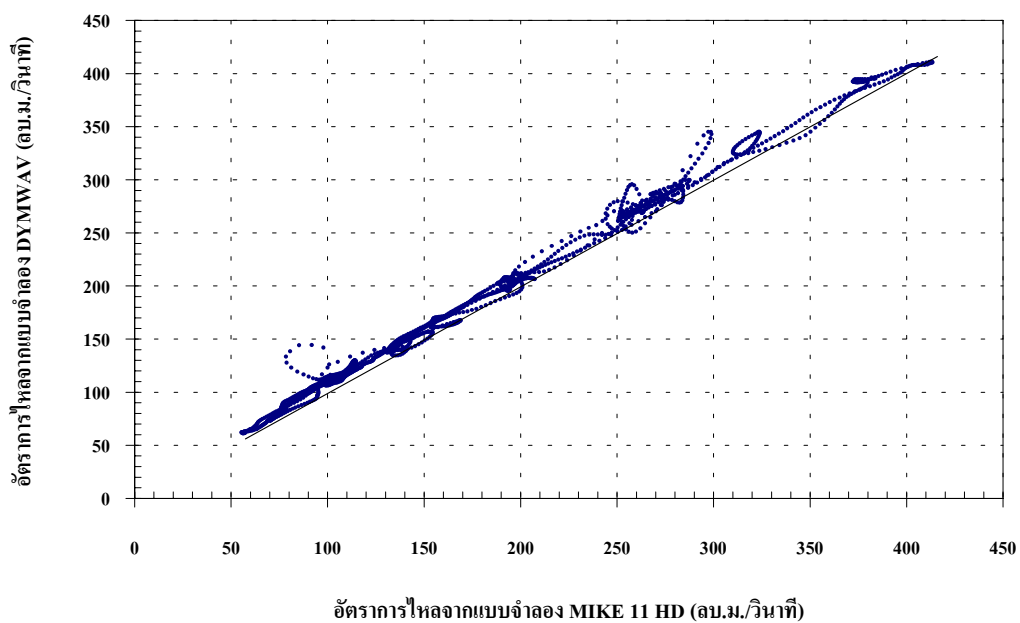
ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบอัตราการไหลรายวัน ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี PE.2 กรมตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



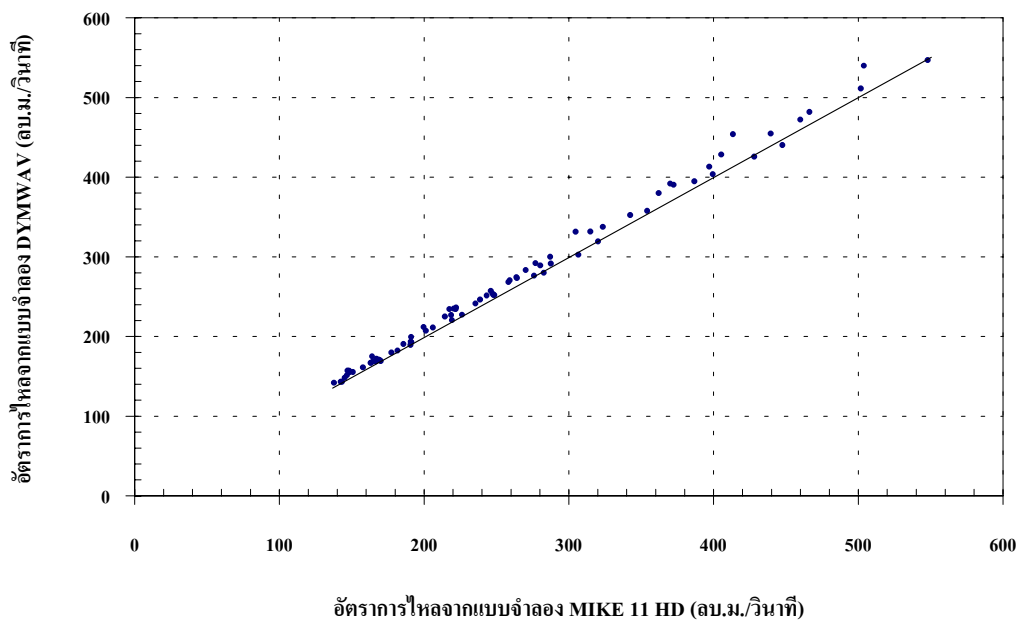
ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.75 กรมตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.1 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.73 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี PE.2 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติระหว่างข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และจากแบบจำลอง MIKE 11 HD กรณีสอบเทียบแบบจำลอง

จุดพิจารณา	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r)	Efficiency Index (%)
สถานีวัดน้ำท่า P.75	0.994	98.33
สถานีวัดน้ำท่า P.67	0.988	97.48
สถานีวัดน้ำท่า P.1	0.986	97.12
สถานีวัดน้ำท่า P.73	0.993	98.31
สถานีวัดน้ำท่า PE.2	0.996	99.06

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติระหว่างข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และจากแบบจำลอง MIKE 11 HD กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

จุดพิจารณา	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r)	Efficiency Index (%)
สถานีวัดน้ำท่า P.75	0.995	96.60
สถานีวัดน้ำท่า P.1	0.997	97.43
สถานีวัดน้ำท่า P.73	0.997	98.40
สถานีวัดน้ำท่า PE.2	0.997	98.82

2. ผลการประยุกต์แบบจำลอง DYMWAV กับลุ่มน้ำบางปะกง

สำหรับการศึกษาสภาพการไหลในลุ่มน้ำบางปะกงมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบว่าแบบจำลอง DYMWAV มีความสามารถในการวิเคราะห์การไหลในกรณีที่มีผลกระทบจากการขึ้นลงของน้ำทะเลได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาเหตุการณ์น้ำท่าเพียงเหตุการณ์เดียวคือเหตุการณ์ปริมาณน้ำท่าปี พ.ศ. 2540 ตั้งแต่วันที่ 19 กันยายน ถึงวันที่ 27 ตุลาคม เพื่อนำมาใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการสอบเทียบแบบจำลองและการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

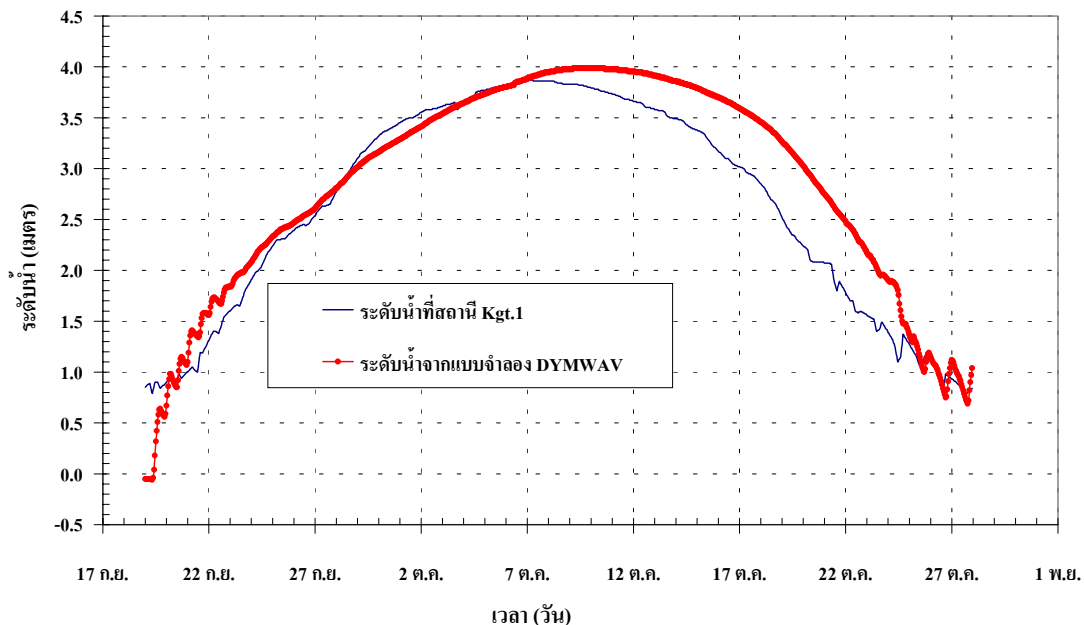
2.1 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV

การสอบเทียบแบบจำลองสำหรับเหตุการณ์น้ำท่าตั้งแต่วันที่ 19 กันยายน ถึงวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2540 โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเพื่อให้ผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับระดับน้ำที่มีการตรวจวัดที่จุดพิจารณาต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันโดยที่จุดพิจารณาที่นำมาสอบเทียบแบบจำลองประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า Kgt.1 ประจวบประจวบ น้บางขนาก ประจวบประจวบน้ำท่าไข ประจวบประจวบน้ำท่าถั่ว และประจวบประจวบน้ำปากตะคอง ผลการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีดังกล่าวแสดงในภาพที่ 48 ถึงภาพที่ 52 ตามลำดับ จากการพิจารณาผลของการสอบเทียบแบบจำลองด้วยสายตาที่จุดพิจารณาต่างๆ จะเห็นว่าที่ทุกจุดพิจารณา ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV มีความแตกต่างจากระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับแต่ละจุดพิจารณาดังแสดงในตา

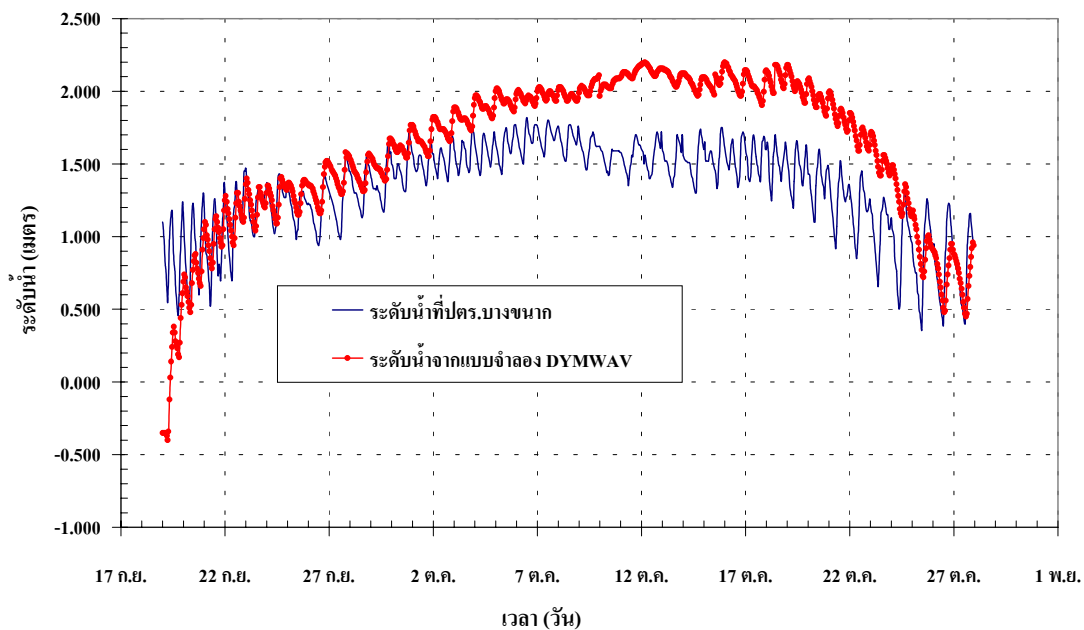
รางที่ 10 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.650 – 0.957 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ต่ำ โดยที่ค่าต่ำที่สุดอยู่ที่จุดพิจารณาประตูระบายน้ำท่าไข่ ในขณะที่ค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 60.50 – 87.06 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ต่ำเช่นกัน แต่ค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ประตูระบายน้ำท่าถั่ว แต่สำหรับการศึกษานี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองซึ่งจุดประสงค์ของการสอบเทียบแบบจำลองเพียงเพื่อต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำโดยประมาณเท่านั้น ไม่ใช่จุดประสงค์หลักของการศึกษา จุดประสงค์หลักของการศึกษาคือการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับผลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งต้องมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการสอบเทียบแบบจำลองนี้จึงยอมรับได้ ซึ่งค่าและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแต่ละช่วงลำน้ำที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 11

2.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง DYMWAV

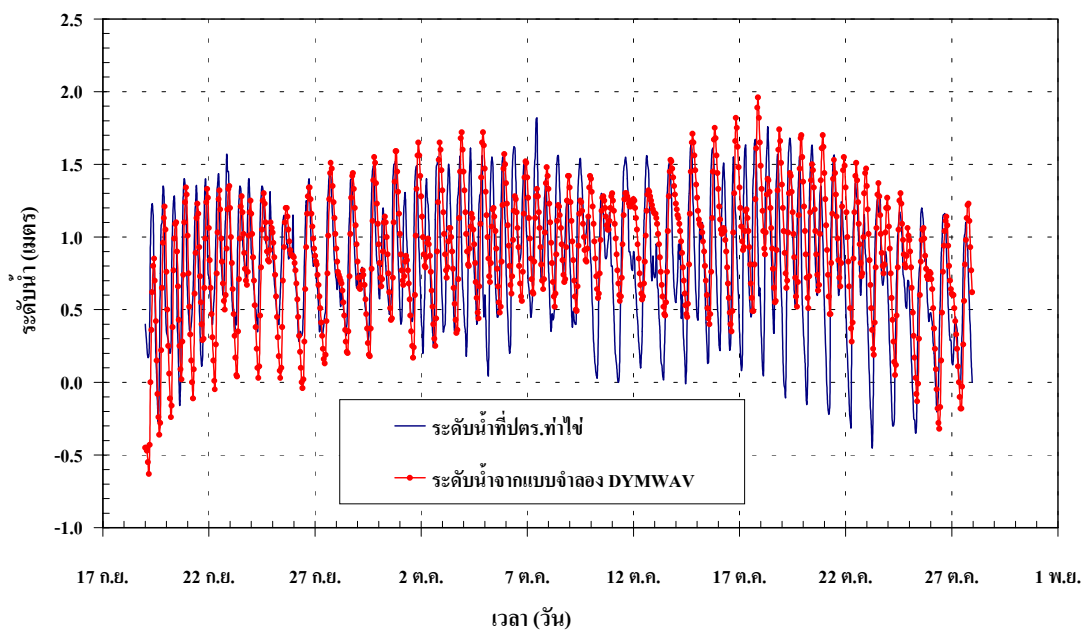
เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง DYMWAV จึงนำแบบจำลอง MIKE 11 HD มาประยุกต์กับพื้นที่ศึกษาเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลรูปตัดลำน้ำและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำ (Manning Coefficient) ค่าเดียวกับที่ได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองกลุ่มน้ำไว้โดยแบบจำลอง DYMWAV มาทำการศึกษาสภาพการไหลจากเหตุการณ์น้ำท่าปี พ.ศ. 2540 เช่นเดียวกับที่ได้ศึกษาโดยใช้แบบจำลอง DYMWAV ซึ่งผลของการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD กับผลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV แสดงในภาพที่ 53 ถึงภาพที่ 57 จากผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองด้วยสายตาสำหรับทุกจุดพิจารณาพบว่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกันมากด้วย เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองด้วยวิธีเชิงเส้นดังแสดงในภาพที่ 58 ถึงภาพที่ 62 ถ้าอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะได้ว่าค่าที่อยู่บนเส้นตรงที่เอียงทำมุม 45 องศากับแกนนอน จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าที่ได้ จะมีการกระจายตัวไปตามเส้นตรงโดยไม่ห่างจากเส้นตรงมากนัก ซึ่งเป็นการยืนยันว่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองที่อยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.945 – 0.993 ส่วนค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 85.75 – 97.30 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 12



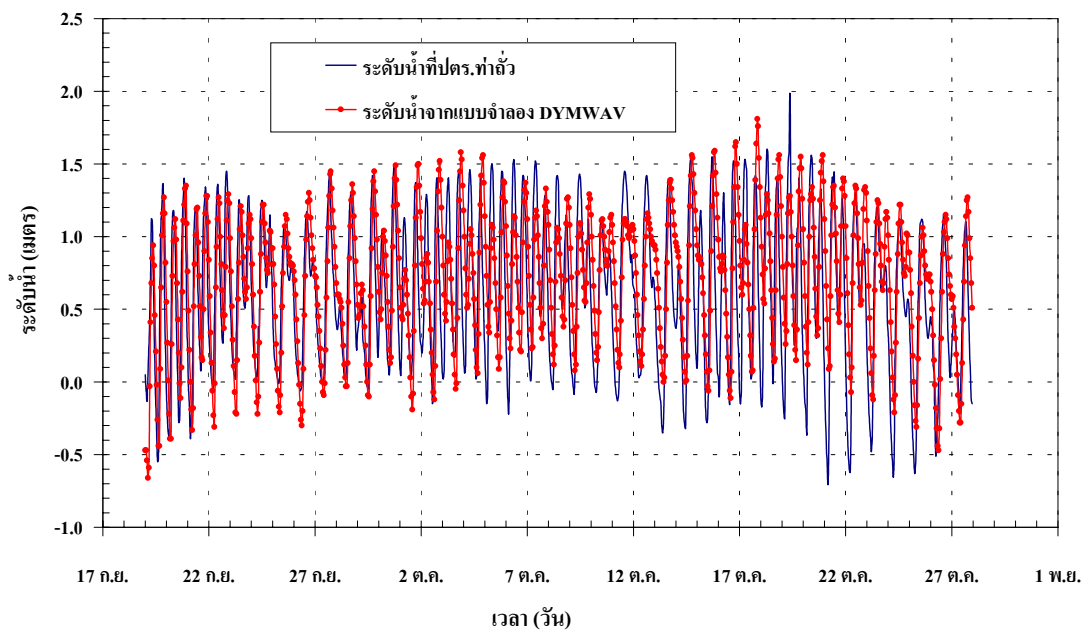
ภาพที่ 48 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ของสถานี Kgt.1 กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



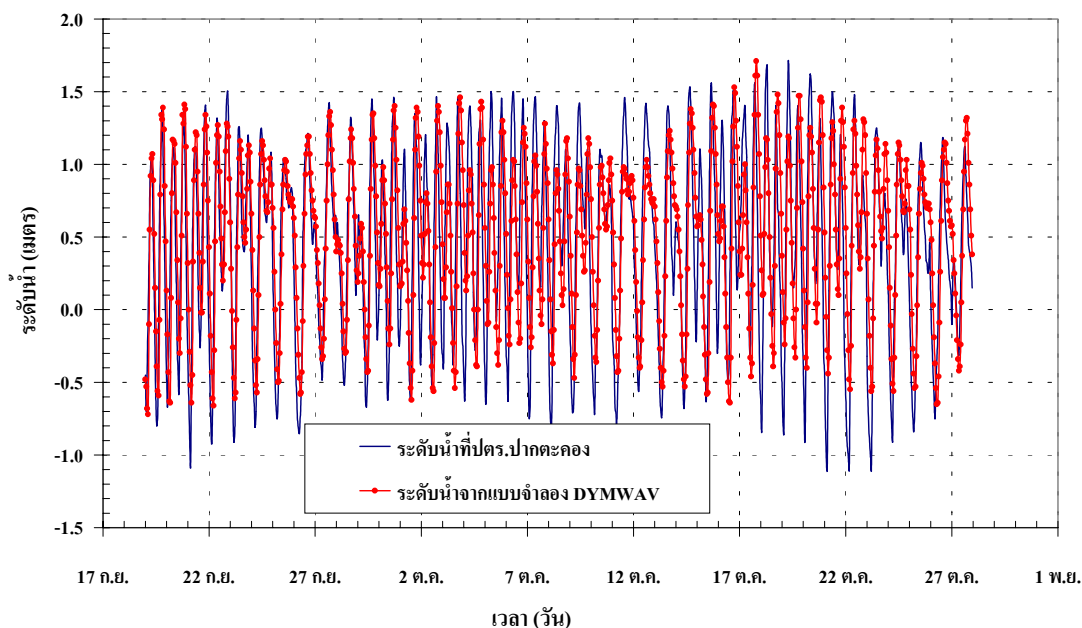
ภาพที่ 49 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ ปตร. บางขนาก กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



ภาพที่ 50 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ ปตร. ท่าไข่ กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



ภาพที่ 51 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ ปตร. ท่าถั่ว กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง



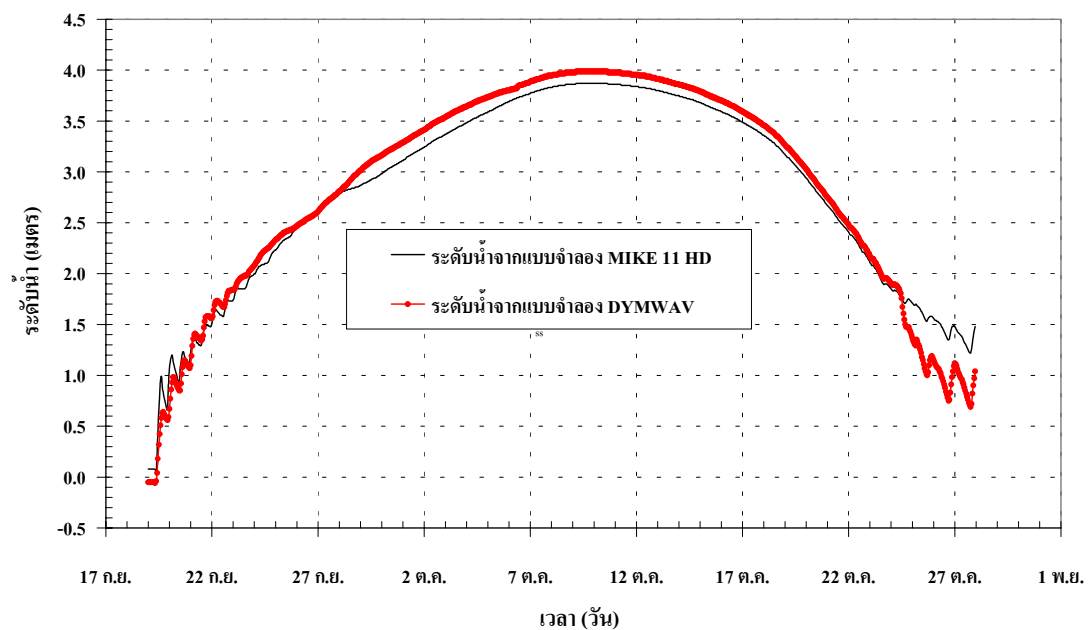
ภาพที่ 52 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำราย ชม. ที่ ปตร. ปากตะคอง กรณีการสอบเทียบแบบจำลอง

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติจากกระบวนการ การสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV สำหรับลุ่มน้ำบางปะกง

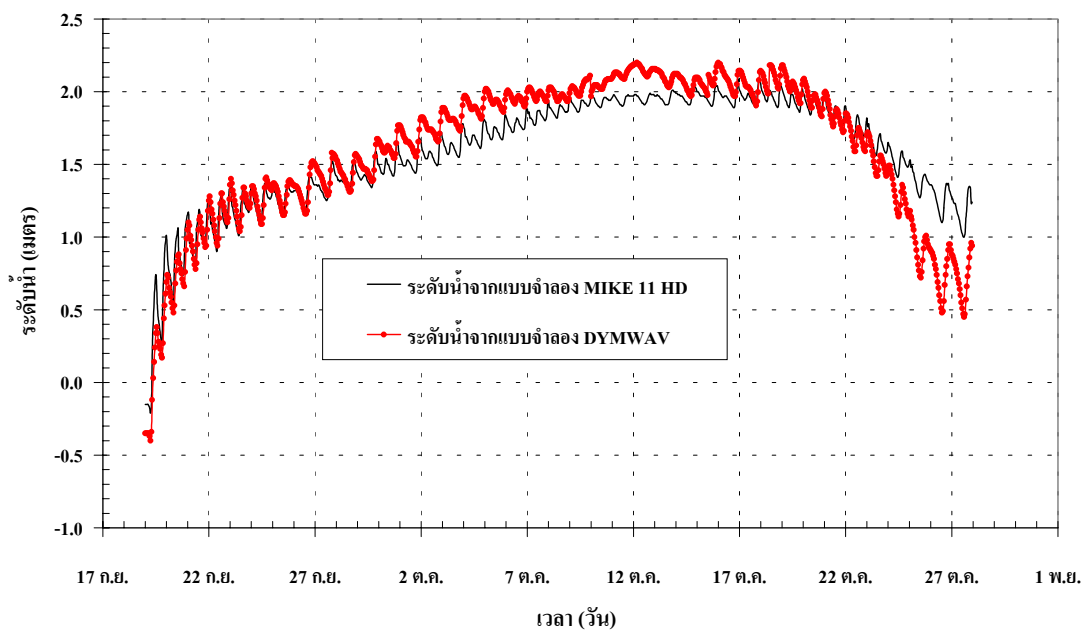
จุดพิจารณา	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r)	Efficiency Index (%)
สถานีวัดน้ำท่า Kgt.1	0.957	87.06
ปตร.บางขนาก	0.800	80.97
ปตร.ท่าไข่	0.650	70.00
ปตร.ท่าถั่ว	0.702	60.50
ปตร.ปากตะคอง	0.720	61.20

ตารางที่ 11 สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning Coefficient, n) ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV การไหลในลำน้ำของกลุ่มน้ำบางปะกง

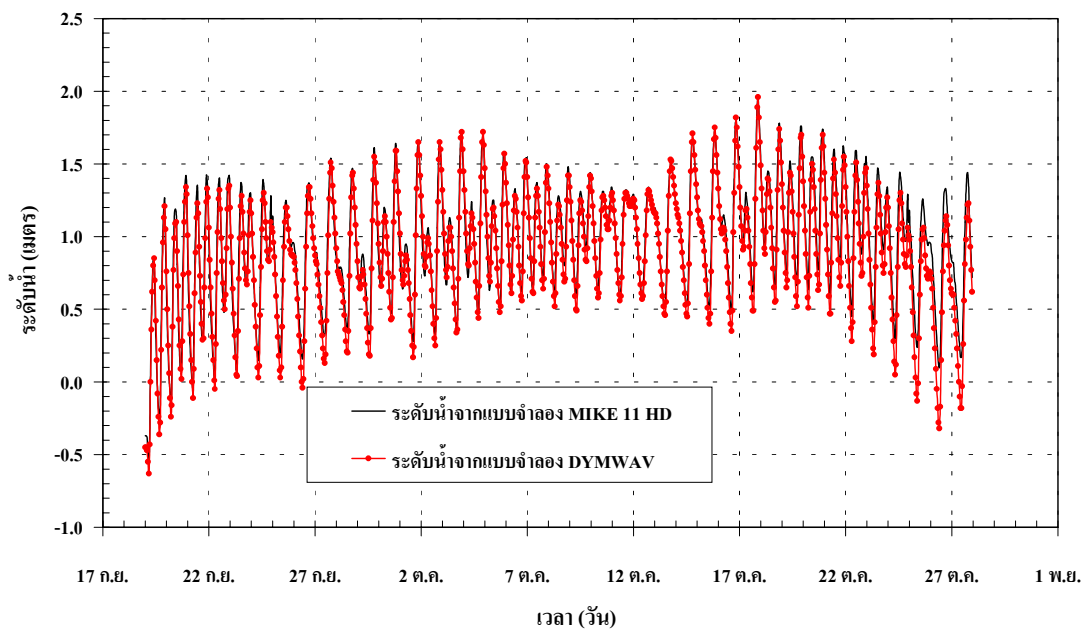
ชื่อแม่น้ำ	ระยะทาง (กม.)	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)
ปราจีนบุรี	กม. 0.00 – กม.66.69	0.035
ปราจีนบุรี	กม. 66.70 – กม.124.62	0.028
บางปะกง	กม. 124.62 - กม.181.38	0.020
บางปะกง	กม. 181.39 - กม.198.00	0.030
บางปะกง	กม. 198.01 - กม.221.44	0.030
บางปะกง	กม. 221.44 – กม.237.32	0.030



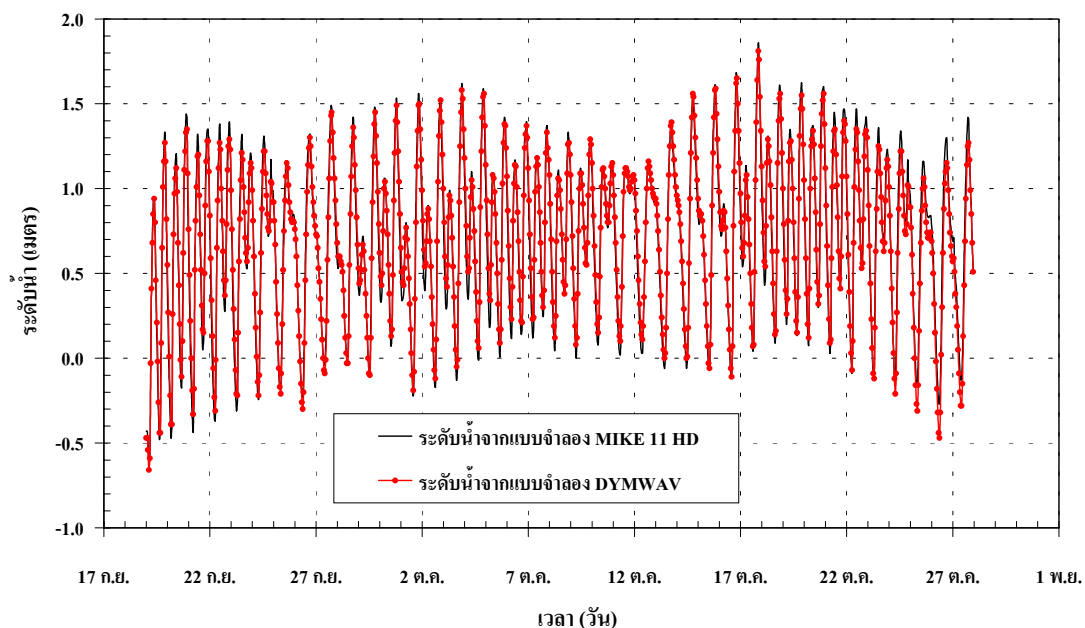
ภาพที่ 53 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำ ราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานี Kgt.1



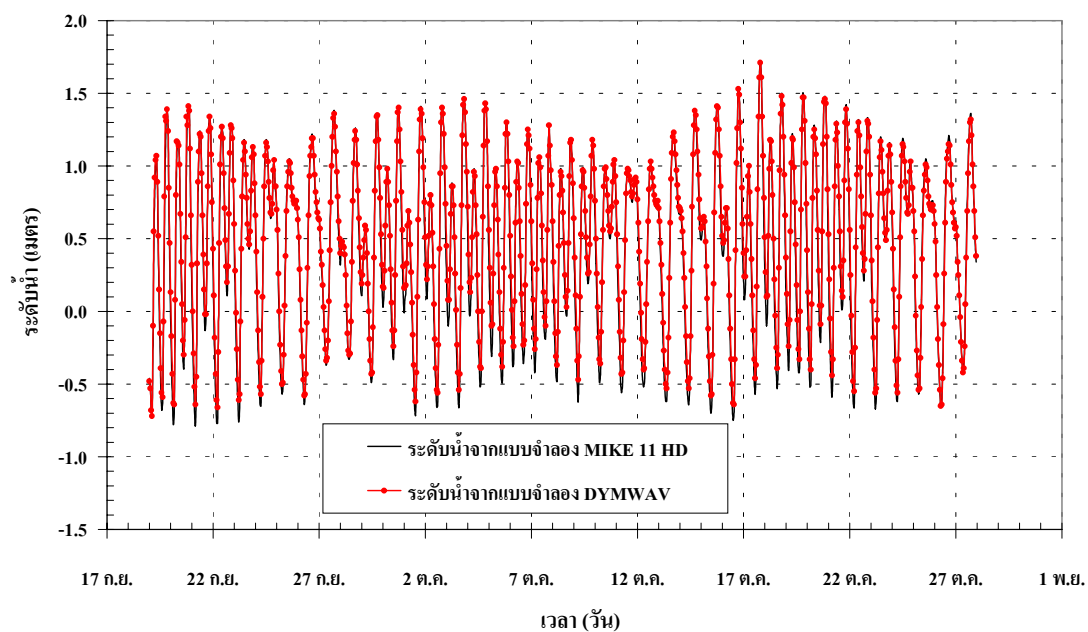
ภาพที่ 54 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำ ราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร. บางขนาก



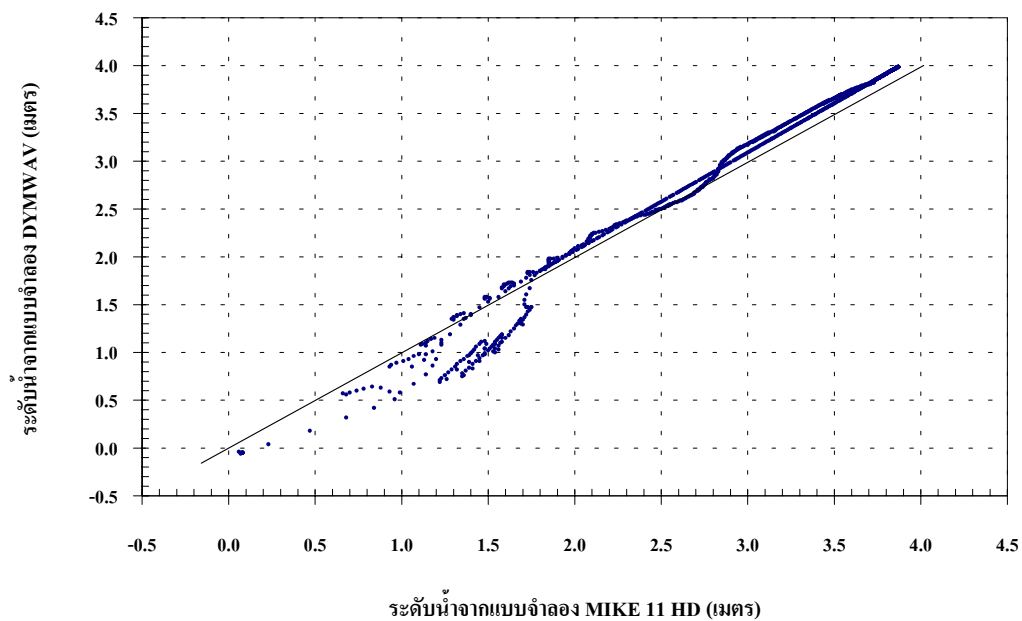
ภาพที่ 55 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำ ราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร. ท่าไข่



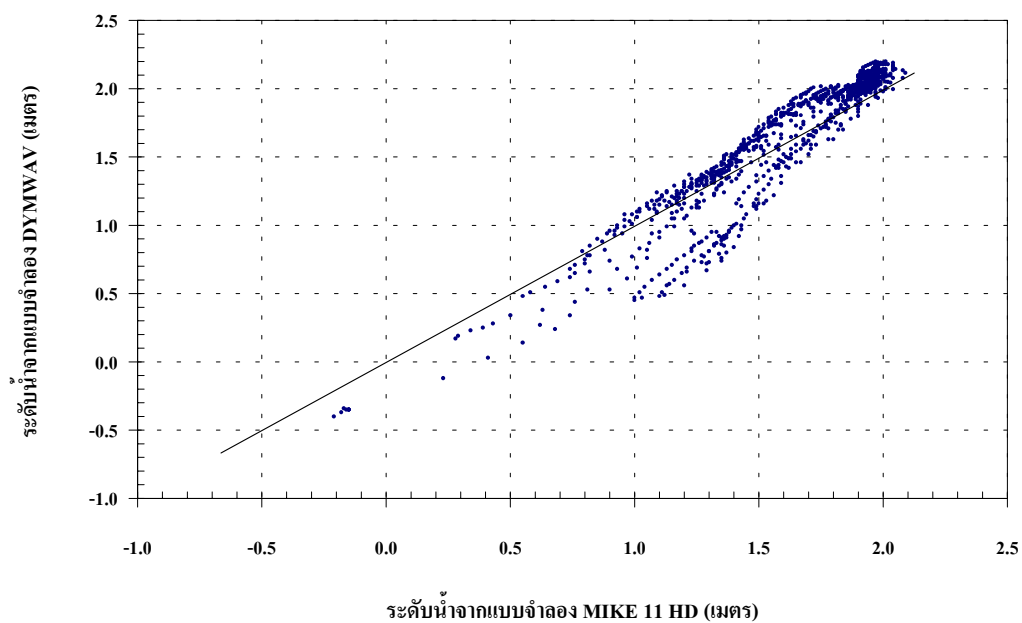
ภาพที่ 56 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำ ราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร. ท่าถั่ว



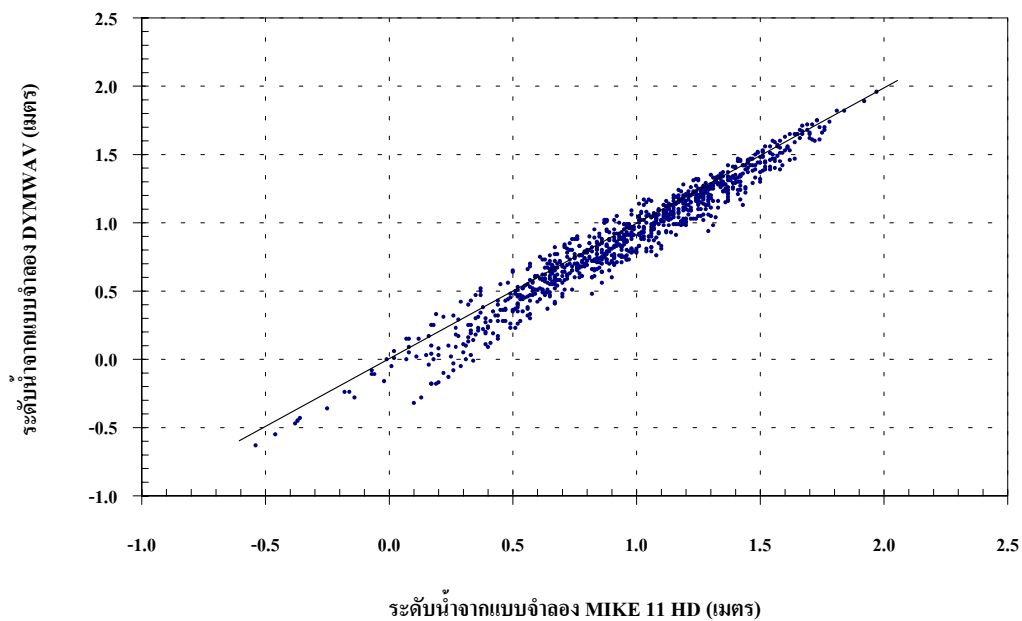
ภาพที่ 57 การเปรียบเทียบระดับน้ำราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำ ราย ชม. ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร. ปากตะคอง



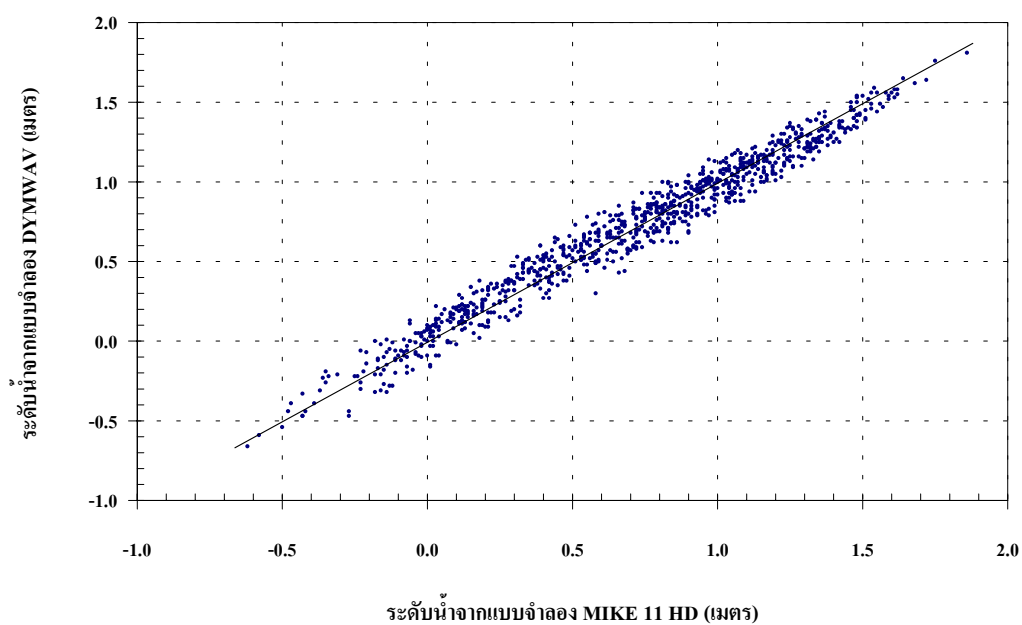
ภาพที่ 58 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานี Kgt.1



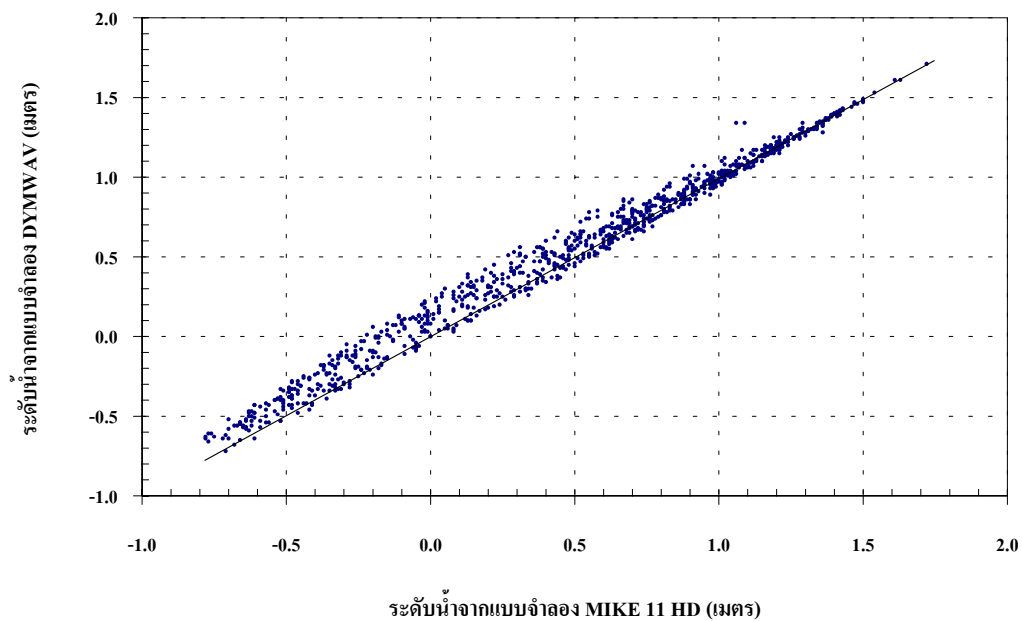
ภาพที่ 59 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร.บางขนาก



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร.ท่าไข่



ภาพที่ 61 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร.ท่าถั่ว



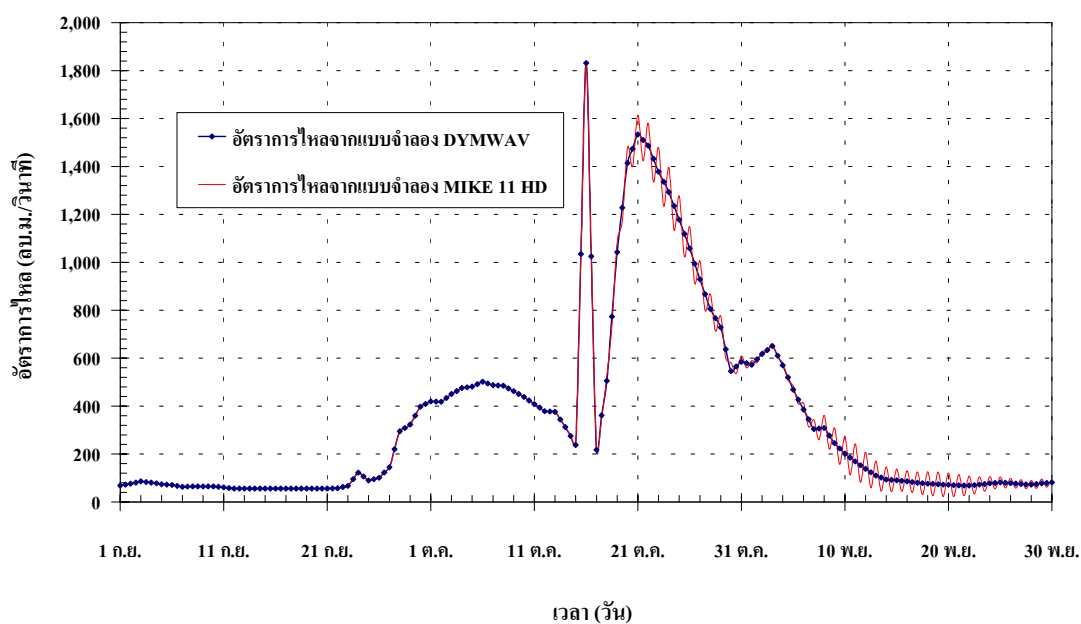
ภาพที่ 62 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ปตร.ปากตะคอง

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิติระหว่างข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และจากแบบจำลอง MIKE 11 HD กรณีสอบเทียบแบบจำลอง

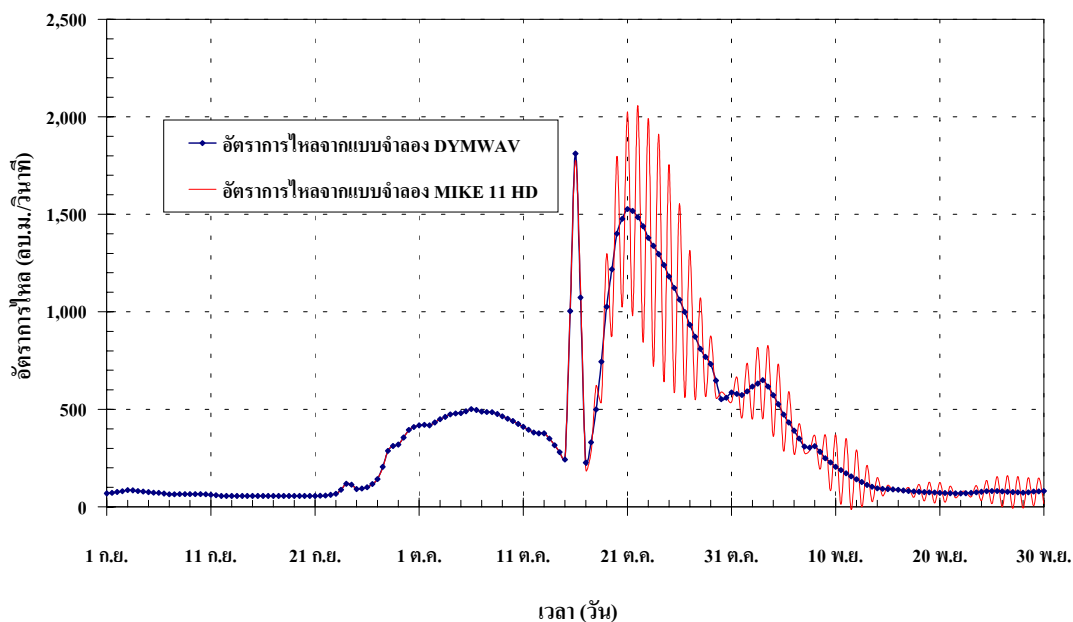
จุดพิจารณา	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r)	Efficiency Index (%)
สถานีวัดน้ำท่า Kgt.1	0.993	97.30
ปตร.บางขนาก	0.945	85.75
ปตร.ท่าไข่	0.974	91.76
ปตร.ท่าถั่ว	0.982	96.13
ปตร.ปากตะคอง	0.993	97.17

3. ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของแบบจำลอง DYMWAV ต่อเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ

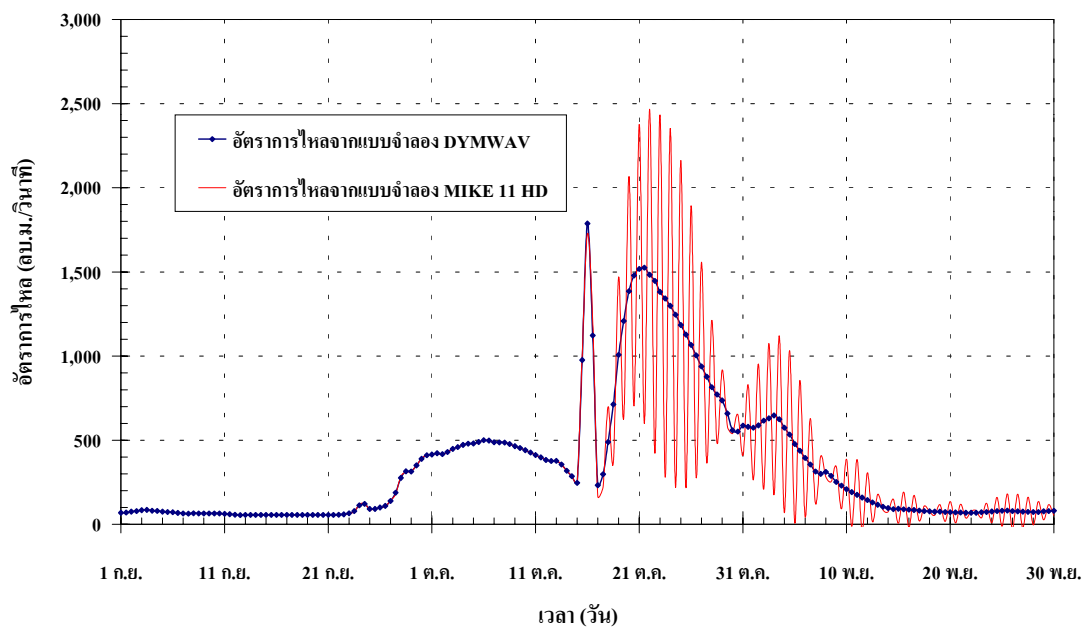
ผลการวิเคราะห์สภาพการไหลที่ได้รับอิทธิพลจากกราฟน้ำท่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันนั้น พบว่าแบบจำลอง DYMWAV สามารถจำลองสภาพการไหลในเงื่อนไขดังกล่าวได้เป็นอย่างดีโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ ในขณะที่เดียวกันได้นำแบบจำลอง MIKE 11 HD มาทำการศึกษาในกรณีเดียวกัน พบว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ไม่สามารถจำลองสภาพการไหลในกรณีดังกล่าวได้ โดยผลการประเมินอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD พบว่ามีการแกว่งตัวมากในช่วงเวลาหลังจากได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ ซึ่งผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD แสดงในภาพที่ 63 ถึง 66



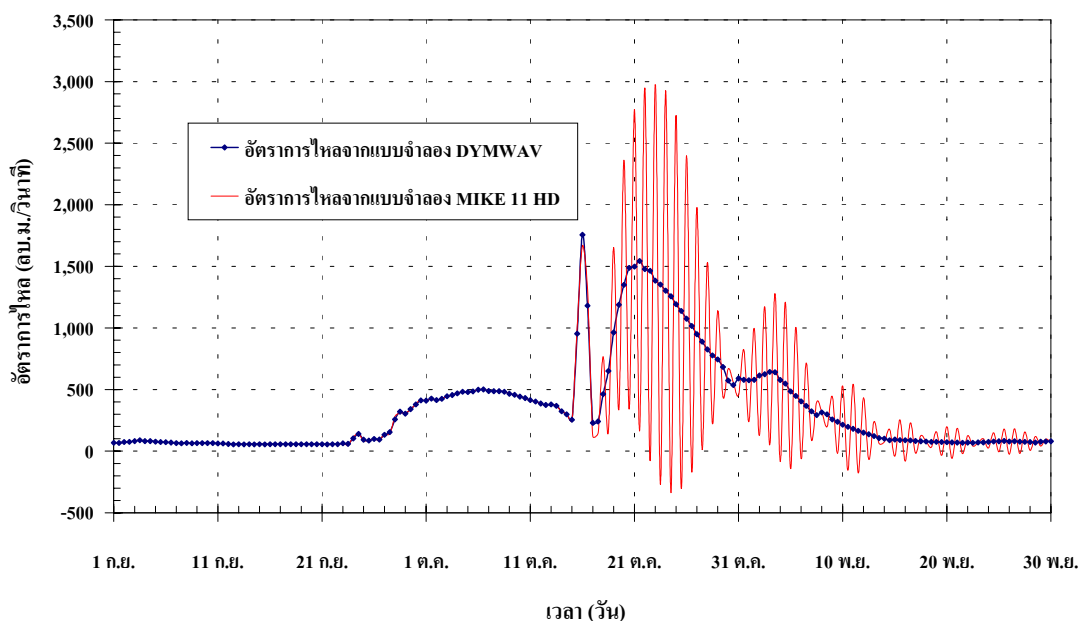
ภาพที่ 63 การเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่กิโลเมตรที่ 2 จากเหนือน้ำ



ภาพที่ 64 การเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่กิโลเมตรที่ 4 จากเหนือหน้า



ภาพที่ 65 การเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่กิโลเมตรที่ 8 จากเหนือหน้า



ภาพที่ 66 การเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่กิโลเมตรที่ 15 จากเหนือน้ำ

4. ผลการศึกษาความเหมาะสมของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

เนื่องจากแบบจำลอง DYMWAV ใช้วิธีการแก้ระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงของสมการเซนต์-วีแนนท์ด้วยวิธี Newton – Raphson ซึ่งเป็นเทคนิคการวนซ้ำอย่างหนึ่ง สำหรับเทคนิคการวนซ้ำนี้พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการเข้าสู่ของคำตอบคือค่าคำตอบที่สมมติเริ่มต้น ถ้าการสมมติค่าเริ่มต้นใกล้เคียงกับคำตอบจริงมากก็จะทำให้การเข้าสู่หาคำตอบเร็วมากไปด้วยแต่ถ้าการสมมติค่าเริ่มต้นห่างจากคำตอบจริงมากๆ การเข้าสู่หาคำตอบก็จะช้ามากเนื่องจากต้องมีการวนซ้ำหลายรอบหรืออาจนำไปสู่การลู่ออกจากคำตอบ สำหรับการศึกษารุ่นนี้เมื่อประยุกต์แบบจำลอง DYMWAV กับพื้นที่ศึกษาที่ประสบกับปัญหานี้ เป็นเหตุให้ผลการวิเคราะห์ไม่สมบูรณ์ จากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่มีผลต่อการลู่ออกของแบบจำลองคือ ค่าเริ่มต้นของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าที่อยู่บนเส้นของเวลา $j+1$ ที่ต้องถูกสมมติขึ้นสำหรับการวนซ้ำครั้งแรก สำหรับค่าที่มีความเหมาะสมที่จะทำให้การลู่เข้าสู่หาคำตอบเร็วและให้ผลที่ถูกต้องจะต้องสมมติให้มีค่าเท่ากับค่าที่ทราบค่าในช่วงเวลาก่อนหน้า (เส้นของเวลา j) ประกอบกับต้องนำเทคนิค Relaxation มาใช้ร่วมในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อหาคำตอบของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าตัวใหม่สำหรับการวนซ้ำครั้งต่อไปดังนั้นสม

การที่ (41) และ (42) จะต้องมีการปรับปรุงค่าตามสมการที่ (94) และ (95) โดยกำหนดค่า $\alpha = 0.6$ ดังนี้

$$h_i^{k+1} = \alpha(h_i^k + dh_i) + (1 - \alpha)h_i^k \quad (94)$$

$$Q_i^{k+1} = \alpha(Q_i^k + dQ_i) + (1 - \alpha)Q_i^k \quad (95)$$

เมื่อ α = Weighting Factor

สรุปและเสนอแนะ

สรุป

จากการนำแบบจำลอง DYMWAV ที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์กับพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำปิงตอนบน และลุ่มน้ำบางปะกงที่ได้รับอิทธิพลของการเกิดน้ำท่วมและการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล ตามลำดับ นั้น สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง DYMWAV กับลุ่มน้ำปิงตอนบนพบว่า ผลของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองให้ผลการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับอัตราการไหลที่ได้จากการตรวจวัดยังไม่ใกล้เคียงกันอย่างดีพอสำหรับบางจุดพิจารณา แต่ถึงกระนั้นการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ไม่ใช่ประเด็นสำคัญสำหรับการศึกษารุ่นนี้ การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองสำหรับการศึกษานี้เพียงเพื่อให้ได้สัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่จะนำไปเป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง MIKE 11 HD ในขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง DYMWAV ต่อไป ดังนั้นผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่ได้นี้จึงยอมรับได้ ในทางเดียวกันสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง DYMWAV กับลุ่มน้ำบางปะกงพบว่า ผลการสอบเทียบแบบจำลองให้ผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดยังไม่ใกล้เคียงกันอย่างดีพอเช่นกัน ด้วยเหตุผลเดียวกันกับการศึกษาในลุ่มน้ำปิงตอนบนส่งผลให้การสอบเทียบแบบจำลองสำหรับลุ่มน้ำบางปะกงนี้ยอมรับได้

สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง DYMWAV โดยการนำข้อมูลชุดเดียวกัน ได้แก่อุทกวิทยา รูปตัดขวางของลำน้ำ และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมาทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD นั้นพบว่า การเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV และที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ทั้งลุ่มน้ำปิงตอนบนและลุ่มน้ำบางปะกง มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาถึงค่าทางสถิติพบว่า มีค่าทางสถิติอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.986 – 0.996 สำหรับกรณีเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ. 2543 และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.995 – 0.997 สำหรับกรณีเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ. 2542 ส่วนค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 97.12 – 99.06 สำหรับกรณีเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ. 2543 และมีค่าอยู่ระหว่าง 96.6 – 98.82 สำหรับกรณีเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ. 2542 ในขณะที่ผลทางสถิติของลุ่มน้ำบางปะกงพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.945 – 0.993 ส่วนค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 85.75 – 97.30

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้จำลองสภาพการไหลในทางน้ำแบบหนึ่งมิติที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้เช่นเดียวกับแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งได้รับการยอมรับทั่วโลก แต่ถึงกระนั้นแบบจำลองที่พัฒนาครั้งนี้ก็มีขีดความสามารถที่ไม่เท่าแบบจำลอง MIKE 11 อยู่มาก ดังแสดงการเปรียบเทียบความสามารถระหว่างแบบจำลอง DYMWAV และแบบจำลอง MIKE 11 HD ในตารางที่ 13 ดังนี้

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบความสามารถระหว่างแบบจำลอง DYMWAV และแบบจำลอง MIKE 11 HD

รายการ	แบบจำลอง DYMWAV	แบบจำลอง MIKE 11 HD
1. การจำลองการไหลของน้ำ		
1.1 มิติของการไหล	- สภาพการไหลแบบหนึ่งมิติ	- สภาพการไหลแบบหนึ่งมิติ
1.2 ลักษณะการไหล	- การไหลเป็นแบบค่อยๆเปลี่ยนแปลงทีละน้อย	- การไหลเป็นแบบค่อยๆเปลี่ยนแปลงทีละน้อย
1.3 การแก้ปัญหาสมการพื้นฐาน	- แก่ระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรง	- แก่ระบบสมการแบบเป็นเส้นตรง
1.3 รูปร่างของลำน้ำ	- รูปร่างของลำน้ำมีลักษณะไม่สม่ำเสมอได้	- รูปร่างของลำน้ำมีลักษณะไม่สม่ำเสมอได้
1.4 โครงข่ายของแม่น้ำ	- วิเคราะห์การไหลของโครงข่ายแม่น้ำได้	- วิเคราะห์การไหลของโครงข่ายแม่น้ำได้
1.5 อิทธิพลเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ	- การเกิดน้ำท่วมและการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล	- การเกิดน้ำท่วมและการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล
1.6 อิทธิพลเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ	- สามารถจำลองการไหลที่มีขอบเขตด้านเหนือน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้	- ไม่สามารถจำลองการไหลที่มีขอบเขตด้านเหนือน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้
1.7 ไหลผ่านอาคารทางชลศาสตร์	- ไม่สามารถจำลองการไหลผ่านอาคารทางชลศาสตร์ได้	- สามารถจำลองการไหลผ่านอาคารทางชลศาสตร์ได้
2. การใช้งาน		
2.1 การนำเข้าข้อมูลรูปร่างของลำน้ำและข้อมูลอุทกวิทยา	- รับข้อมูลในลักษณะ Text File	- รับข้อมูลในลักษณะ Text File และรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านหน้าจอใช้งาน
2.2 การกำหนดโครงข่ายแม่น้ำ	- กำหนดได้จากหน้าจอใช้งาน	- กำหนดได้จากหน้าจอใช้งาน
2.3 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ	- กำหนดจากข้อมูลรูปร่างของลำน้ำในลักษณะ Text File - กำหนดจากหน้าจอใช้งาน	- กำหนดจากหน้าจอใช้งาน
2.4 การแสดงผล	- แสดงค่าระดับน้ำและอัตราการไหลที่ระยะทางและเวลาต่างๆ ตามที่กำหนดในลักษณะ Text File	- แสดงค่าระดับน้ำและอัตราการไหลที่ระยะทางและเวลาต่างๆ ตามที่กำหนดในลักษณะ Text File - แสดงค่าระดับน้ำและอัตราการไหล Animation

ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าแบบจำลอง DYMWAV ที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถจำลองสภาพการไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบ 1 มิติ ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการจำลองสภาพการไหลโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD แล้วก็ตาม แต่ประสิทธิภาพและขีดความสามารถของแบบจำลอง DYMWAV ยังน้อยกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD อยู่มาก ดังนั้นแบบจำลอง DYMWAV สมควรได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยรายละเอียดที่ควรพัฒนาสามารถประมวลได้ดังต่อไปนี้

1. ในการวิเคราะห์โครงข่ายระบบแม่น้ำซึ่ง แบบจำลอง DYMWAV ใช้เทคนิค Relaxation ในการแก้ปัญหาเพื่อหลีกเลี่ยงการแก้ปัญหาเมตริกกระจายตัว ซึ่งมีข้อเสียคือจะใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน คือถ้ามีแม่น้ำสาขา 1 สาขา จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 5 นาที แต่ถ้ามีแม่น้ำสาขาเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็จะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าของจำนวนแม่น้ำสาขา 1 สาขา ในขณะที่แบบจำลอง MIKE 11 HD ใช้เวลาในการวิเคราะห์ระบบแม่น้ำกรณีมีแม่น้ำสาขา 1 สาขา ซึ่งใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 2 นาที อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะทำการวิเคราะห์โครงข่ายแม่น้ำที่มีแม่น้ำสาขาเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็ไม่แตกต่างจากการวิเคราะห์กรณีแม่น้ำสาขาเพียง 1 สาขา มากนัก ดังนั้นถ้าต้องการลดเวลาในการวิเคราะห์โครงข่ายทางน้ำลง ควรมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อปรับปรุงวิธีการในการแก้ปัญหาโครงข่ายของทางน้ำให้สามารถใช้เวลาในการคำนวณลดลงและมีเสถียรภาพมากขึ้น

2. แบบจำลอง DYMWAV สามารถจำลองสภาพการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติ โดยที่สภาพการไหลต้องเป็นแบบเปลี่ยนแปลงไปที่ละน้อยและไหลได้อย่างอิสระโดยไม่มีสิ่งกีดขวางในทางน้ำเท่านั้น ดังนั้นควรมีการพัฒนาแบบจำลอง DYMWAV ให้สามารถจำลองสภาพการไหลในกรณีที่มีอาคารทางชลศาสตร์ประเภทต่างๆ ในทางน้ำด้วย เพื่อให้สามารถจำลองสภาพการไหลได้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

3. ควรพัฒนาการนำเข้าข้อมูลด้านเข้าประเภทต่างๆ การแก้ไขข้อมูลต่างๆ ของแบบจำลอง DYMWAV ให้สามารถแสดงผลโต้ตอบและเพิ่มทางเลือกการนำเข้าข้อมูลให้กับผู้ใช้งานได้มากขึ้น

4. ควรพัฒนาการแสดงผลการคำนวณของแบบจำลอง DYMWAV ให้มีความสามารถในการแสดงผลการคำนวณระดับน้ำและอัตราการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเป็นแบบ

Animation ตลอดจนการพัฒนาโดยการนำเทคโนโลยีด้านข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง DYMWAV เพื่อให้สามารถหาขอบเขตของพื้นที่น้ำท่วมได้

ดังนั้นถ้ามีการนำเอาจุดด้อยต่างๆ ของแบบจำลอง DYMWAV มาปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาอย่างต่อเนื่องแล้ว ชีตความสามารถและประสิทธิภาพของแบบจำลอง DYMWAV ย่อมเพิ่มมากขึ้นและอาจเทียบเท่าได้กับแบบจำลองที่ได้รับความนิยมกันในปัจจุบันหลายแบบจำลอง ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าลิขสิทธิ์ที่แพงมากก็ได้ นอกจากนี้การพัฒนาแบบจำลองนี้ยังเป็นการช่วยพัฒนาประเทศอีกทางหนึ่งด้วยคือ เป็นการพัฒนาบุคลากรของประเทศให้มีความสามารถเทียบเท่ากับบุคลากรของประเทศที่พัฒนาแล้ว ตลอดจนช่วยลดเงินตราที่จะต้องรั่วไหลออกนอกประเทศลงอีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ทวนทัน กิจไพศาลสกุล. 2534. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์สภาพน้ำท่วมที่ราบลุ่ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2540. การศึกษาสภาวะน้ำท่วมของกลุ่มน้ำปึงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิศวกรรมสารเกษตรศาสตร์ (35) 12: 113-145
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2545. เอกสารประกอบวิชาการจำลองสภาวะการเกิดน้ำท่วม. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2544. การศึกษาผลกระทบต่อสภาพการเกิดน้ำท่วมจากการก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกง. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย KIP 75.41, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Ackermann, N.L., S. Pinkayan, H. Shi-Igai, T. Tingsanchali and V.A. Sahagun 1975. **Bicol River Basin Flood Control Investigation in Phillipines.** Research Report No. 48, Vols. I and II , Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Amein, M. and N. C. Kraus. 1991. **Dynamic Implicit Numerical Model of One-Dimensional Tidal Flow Through Inlets.** Department of The Army US Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Chow, V. T. 1959. **Open-Channel Hydraulics.** McGraw-Hill, New York.
- Chow, V. T., D. R. Maidment. and L. W. Mays. 1988. **Applied Hydrology.** McGraw-Hill Book Company, New York.
- Chatrcharoenmitr, V. 1977. **Flood Flow Computation in the Middle Chao Phraya River System.** Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

- Chapra, S.C. and R. P. Canale. 2002. **Numerical Methods for Engineers**. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Delft Hydraulics Laboratory. 1974. **Flood Protection in Rharb Plain**. Hydro Delft Contents No. 36, Morocco.
- Fread, D. L. 1973. **Effect of Time Step Size in Implicit Dynamic Routing, Water Resour. Bull.**, Vol. 9, No. 2, pp. 338-351
- Fread, D. L. 1974. **Numerical Properties of Implicit Four-Point Finite Difference Equations of Unsteady Flow**. NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO-18, National Weather Service, NOAA, U. S. Department of Commerce, Silver Spring, Md.
- Hann, Roy W., Jr. Young. and P. Jonathan. 1972. **Mathematical Models of Water Quality Parameters for River and Estuaries**. Technical Report No. 45, Water Resources Institute Texas A&M University.
- Maijer, Th.J. G. P., C. B. Vreugdenhil. and M. De Vries. 1965. **A Method of Computation for Non-Stationary Flow in Open Channel Network**. Delft Hydraulics Laboratory Publication, No.34, The Netherlands.
- Stapel, D.R.A. and M. De Vries. 1970. **Experience with the Mathematical Model of the Hydraulic Network of Rijn Land Water Board**. Delft Hydraulics Laboratory Publication No.74, The Netherlands.
- Singh, P. 1996. **Kinematic Wave Modeling in Water Resources**. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Torranin, P. 1969. **A Tidal Mathematical Model of the Chao Phraya River**. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Tingsanchali, T. and A. Arbhabhirama. 1978. **Hydrodynamic Model of the Chao Phraya River System.** Research Report No.81 Vol. I, II and III, Conducted for Office of the national Economic and Social Development Board, Office of the Prime Minister, the Kingdom of Thailand.

Vreugdenhil, C.B. 1968. **The Accuracy of the Method of Computation for Unsteady Flow in Open Channel Networks.** Research Report, No. S89-1, Delft Hydraulic Laboratory

Vatcharasinthu, C. 1977. **Preliminary Flood Control Investigation in The Lower Chao Phraya River.** Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างข้อมูลด้านเข้าและผลการคำนวณของแบบจำลอง DYMWAV

รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาในลักษณะอนุกรมของเวลาด้านเข้านั้น ข้อมูลแต่ละสดมภ์ (Column) สำหรับแต่ละบรรทัดจะจัดชิดขวาและมีระยะห่างระหว่างสดมภ์เท่ากับ 8 ตัวอักษร ดังแสดงในตัวอย่างข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาในลักษณะอนุกรมของเวลาด้านเข้า ซึ่งมีรายละเอียดของรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลมีดังต่อไปนี้

รูปแบบข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำด้านเข้า

จากตัวอย่างข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำด้านเข้าของแบบจำลองมีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลด้านเข้าดังต่อไปนี้

1. บรรทัดที่ 1

สดมภ์ที่ 1 คือ จำนวนแม่น้ำทั้งหมดในโครงข่ายแม่น้ำ

ป้อนข้อมูลรูปตัดลำน้ำของแม่น้ำที่ละสายจนกระทั่งครบตามจำนวนแม่น้ำทั้งหมดในโครงข่ายแม่น้ำที่ได้กำหนดค่าไว้ในบรรทัดแรก โดยที่การป้อนข้อมูลของแม่น้ำแต่ละสายมีดังนี้

2. บรรทัดที่ 2

สดมภ์ที่ 1 คือ รหัสแม่น้ำสายปัจจุบัน

สดมภ์ที่ 2 คือ จำนวนรูปตัดตามขวางทั้งหมดของแม่น้ำสายปัจจุบัน

3. บรรทัดที่ 3

สดมภ์ที่ 1 คือ ชื่อแม่น้ำสายปัจจุบัน (จัดชิดซ้าย)

4. บรรทัดที่ 4

สดมภ์ที่ 1 คือ กิโลเมตรที่มีการสำรวจของข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำปัจจุบัน

5. บรรทัดที่ 5

สดมภ์ที่ 1 คือ จำนวนพิกัด (x, y) ที่มีการเก็บค่าของรูปตัดขวางลำน้ำ

6. บรรทัดที่ 6

สคมภ์ที่ 1	คือ	ค่าพิกัดในแนวแกน x
สคมภ์ที่ 2	คือ	ค่าพิกัดในแนวแกน y
สคมภ์ที่ 3	คือ	ดัชนีตลับ (ถ้า 1 คือค่าขอบตลับซ้ายหรือขวา)
สคมภ์ที่ 4	คือ	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำ

7. บรรทัดที่ 7

ป้อนข้อมูลเหมือนบรรทัดที่ 6 จนกระทั่งครบตามจำนวนพิกัด (x, y) ตามค่าที่กำหนดในบรรทัดที่ 5

8. บรรทัดที่ 69

เริ่มป้อนข้อมูลของรูปตัดตามขวางของแม่น้ำสายเดิมอีกโดยมีรูปแบบเหมือนในบรรทัดที่ 4 ถึงบรรทัดที่ 68 จนกระทั่งครบตามจำนวนของรูปตัดขวางลำน้ำทั้งหมด

รูปแบบข้อมูลอุทกวิทยาในลักษณะอนุกรมเวลาด้านเข้า

จากตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลาด้านเข้าของแบบจำลองมีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลด้านเข้าดังต่อไปนี้

1. บรรทัดที่ 1

คำอธิบายข้อมูลบรรทัดที่ 2 จัดชิดขวา

2. บรรทัดที่ 2

สคมภ์ที่ 1 คือ ช่วงเวลาที่มีการเก็บข้อมูลอนุกรมเวลา (วินาที)

3. บรรทัดที่ 3

คำอธิบายในบรรทัดที่ 4

4. บรรทัดที่ 4

สคมภ์ที่ 1 คือ รหัสของแม่น้ำตามที่ได้ระบุไว้ในข้อมูลรูปตัดขวางของ

- ลำน้ํ
- สคมภที่ 2 คือ กิลอเมตรของเม่น้ำสายปัจจุบันที่มีข้อมูลอุทกวิทยานี้
เป็นเงื่อนไขขอบเขต
5. บรรทัดที่ 5
คำอธิบายในบรรทัดที่ 6
6. บรรทัดที่ 6
สคมภที่ 1 คือ ประเภทของข้อมูลอุทกวิทยา
1 คือ ข้อมูลอัตราการไหล
2 คือ ข้อมูลระดับน้ำ
3. คือ ข้อมูล Rating Curve
4. คือ ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง
7. บรรทัดที่ 7
ข้อมูลอุทกวิทยาในลักษณะอนุกรมเวลา
สคมภที่ 1 คือ ปี
สคมภที่ 2 คือ เดือน
สคมภที่ 3 คือ วัน
สคมภที่ 4 คือ ชั่วโมง
สคมภที่ 5 คือ นาที
สคมภที่ 6 คือ ข้อมูลอุทกวิทยา
8. บรรทัดที่ 8
ป้อนค่าของข้อมูลอุทกวิทยาตามรูปแบบของบรรทัดที่ 7 จนกระทั่งสิ้นสุดข้อมูล
9. บรรทัดที่ 37
ป้อนค่า ED เพื่อบอกว่าสิ้นสุดข้อมูลอุทกวิทยา

ตัวอย่างข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำด้านเข้าของแบบจำลอง

2			
1	175		
MAIN PING			
0			
63			
-50	377.52	0	0.0333
-45	377.58	0	0.0333
-40	377.62	0	0.0333
-35	377.69	0	0.0333
-30	377.77	0	0.0333
-25	377.87	0	0.0333
-20	377.98	0	0.0333
-15	378.07	0	0.0333
-10	378.19	0	0.0333
-5	378.31	0	0.0333
0	378.44	1	0.0333
0	376.63	0	0.0333
1	376.01	0	0.0333
3	375.50	0	0.0333
5	375.14	0	0.0333
8	374.93	0	0.0333
10	374.83	0	0.0333
13	374.17	0	0.0333
15	373.86	0	0.0333
18	373.74	0	0.0333
20	373.99	0	0.0333
23	374.20	0	0.0333
25	373.98	0	0.0333
28	374.14	0	0.0333
30	372.73	0	0.0333
35	372.78	0	0.0333
40	373.18	0	0.0333
45	373.37	0	0.0333
50	373.64	0	0.0333
55	372.97	0	0.0333
60	373.38	0	0.0333
65	372.70	0	0.0333
66	373.54	0	0.0333
68	373.59	0	0.0333
70	373.52	0	0.0333
73	373.51	0	0.0333
75	373.96	0	0.0333
78	374.44	0	0.0333
80	374.45	0	0.0333
83	374.66	0	0.0333
85	374.68	0	0.0333
88	374.74	0	0.0333
90	374.74	0	0.0333
93	374.83	0	0.0333
95	374.83	0	0.0333
98	375.00	0	0.0333
100	375.13	0	0.0333
102	375.44	0	0.0333
103	376.29	0	0.0333
105	376.97	0	0.0333
106	377.74	0	0.0333
108	378.30	0	0.0333
109	378.61	0	0.0333
109	379.54	0	0.0333
110	379.76	0	0.0333
115	379.95	0	0.0333
120	379.97	0	0.0333
125	379.91	0	0.0333
130	379.90	0	0.0333
135	379.95	0	0.0333
140	379.92	0	0.0333
145	379.93	0	0.0333
150	380.00	1	0.0333
39.9			
36			
0	343.00	1	0.0333
10	342.45	0	0.05
20	342.35	0	0.05
30	340.92	0	0.05
40	340.77	0	0.05
50	340.56	0	0.05
60	340.71	0	0.05
70	340.40	0	0.05

ตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลาด้านเข้าของแบบจำลอง

```

'Time Interval
86400
ChannelID Chainage
1 214.45
'Type Time series
4
2001      8      1      0      0  18.033
2001      8      2      0      0  18.033
2001      8      3      0      0  24.888
2001      8      4      0      0  34.763
2001      8      5      0      0  64.431
2001      8      6      0      0  82.771
2001      8      7      0      0  95.318
2001      8      8      0      0 114.800
2001      8      9      0      0 117.940
2001      8     10      0      0 106.000
2001      8     11      0      0 114.860
2001      8     12      0      0 239.340
2001      8     13      0      0 284.310
2001      8     14      0      0 260.700
2001      8     15      0      0 223.280
2001      8     16      0      0 186.780
2001      8     17      0      0 156.610
2001      8     18      0      0 133.840
2001      8     19      0      0 117.220
2001      8     20      0      0 105.090
2001      8     21      0      0  96.394
2001      8     22      0      0  90.232
2001      8     23      0      0  85.803
2001      8     24      0      0  82.516
2001      8     25      0      0  79.961
2001      8     26      0      0  77.869
2001      8     27      0      0  76.071
2001      8     28      0      0  76.602
2001      8     29      0      0  80.467
2001      8     30      0      0  81.309
ED

```

ข้อมูลด้านออกของแบบจำลอง DYMWAV ได้แก่ค่าระดับน้ำและอัตราการไหลที่ระยะทาง และช่วงเวลาต่างๆ จะแสดงออกมาในลักษณะ Text File ดังตัวอย่างผลการคำนวณค่าระดับน้ำและ อัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองดังนี้

ตัวอย่างผลการคำนวณค่าระดับน้ำจากแบบจำลอง

Station	0.000	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000
Day-M-Year/Time											
02-08-2001/00:00	373.64	371.89	370.17	368.44	366.65	364.88	363.12	361.31	359.50	357.69	355.88
02-08-2001/01:00	373.64	371.89	370.18	368.43	366.65	364.89	363.11	361.30	359.50	357.68	355.89
02-08-2001/02:00	373.63	371.89	370.17	368.43	366.65	364.88	363.12	361.30	359.50	357.68	355.90
02-08-2001/03:00	373.63	371.88	370.17	368.43	366.65	364.88	363.11	361.30	359.49	357.68	355.88
02-08-2001/04:00	373.63	371.88	370.17	368.43	366.65	364.88	363.12	361.29	359.50	357.67	355.89
02-08-2001/05:00	373.63	371.88	370.16	368.43	366.64	364.88	363.11	361.30	359.49	357.68	355.88
02-08-2001/06:00	373.63	371.88	370.16	368.42	366.64	364.87	363.11	361.29	359.50	357.67	355.89
02-08-2001/07:00	373.63	371.88	370.16	368.43	366.63	364.87	363.10	361.30	359.49	357.68	355.88
02-08-2001/08:00	373.63	371.88	370.16	368.42	366.64	364.87	363.11	361.29	359.49	357.67	355.89
02-08-2001/09:00	373.63	371.88	370.16	368.43	366.63	364.87	363.10	361.29	359.48	357.67	355.88
02-08-2001/10:00	373.64	371.88	370.17	368.42	366.64	364.87	363.10	361.28	359.49	357.66	355.88
02-08-2001/11:00	373.64	371.89	370.17	368.43	366.63	364.87	363.10	361.29	359.48	357.66	355.87
02-08-2001/12:00	373.65	371.90	370.18	368.43	366.64	364.87	363.10	361.28	359.49	357.66	355.88
02-08-2001/13:00	373.66	371.91	370.18	368.44	366.65	364.88	363.10	361.29	359.48	357.66	355.87
02-08-2001/14:00	373.66	371.91	370.19	368.44	366.65	364.88	363.11	361.29	359.49	357.66	355.88
02-08-2001/15:00	373.68	371.92	370.19	368.45	366.66	364.89	363.12	361.29	359.49	357.66	355.87
02-08-2001/16:00	373.71	371.94	370.20	368.46	366.67	364.90	363.12	361.30	359.50	357.67	355.88
02-08-2001/17:00	373.76	371.98	370.22	368.46	366.68	364.91	363.13	361.31	359.50	357.67	355.88
02-08-2001/18:00	373.80	372.02	370.26	368.49	366.69	364.92	363.14	361.31	359.51	357.68	355.89
02-08-2001/19:00	373.82	372.05	370.30	368.53	366.73	364.95	363.15	361.33	359.52	357.69	355.89
02-08-2001/20:00	373.83	372.07	370.32	368.56	366.78	364.99	363.17	361.34	359.53	357.70	355.90
02-08-2001/21:00	373.85	372.08	370.33	368.58	366.83	365.06	363.21	361.37	359.54	357.71	355.91
02-08-2001/22:00	373.87	372.10	370.35	368.60	366.85	365.10	363.27	361.41	359.57	357.73	355.92
02-08-2001/23:00	373.97	372.15	370.38	368.62	366.87	365.12	363.30	361.46	359.62	357.77	355.94
03-08-2001/00:00	374.17	372.29	370.47	368.67	366.90	365.13	363.33	361.50	359.67	357.82	355.98
03-08-2001/01:00	374.24	372.43	370.61	368.78	366.98	365.18	363.36	361.54	359.71	357.87	356.04
03-08-2001/02:00	374.26	372.49	370.72	368.90	367.10	365.27	363.44	361.59	359.74	357.91	356.09
03-08-2001/03:00	374.27	372.51	370.76	368.98	367.21	365.40	363.57	361.71	359.80	357.96	356.13
03-08-2001/04:00	374.28	372.53	370.78	369.01	367.26	365.48	363.69	361.86	359.93	358.05	356.19
03-08-2001/05:00	374.28	372.53	370.79	369.02	367.28	365.52	363.75	361.96	360.07	358.19	356.30
03-08-2001/06:00	374.29	372.54	370.80	369.03	367.29	365.54	363.77	362.00	360.17	358.32	356.40
03-08-2001/07:00	374.29	372.55	370.81	369.04	367.30	365.55	363.79	362.02	360.22	358.42	356.49
03-08-2001/08:00	374.30	372.56	370.82	369.05	367.31	365.56	363.80	362.03	360.26	358.48	356.56
03-08-2001/09:00	374.31	372.57	370.83	369.06	367.32	365.57	363.80	362.04	360.28	358.52	356.60
03-08-2001/10:00	374.31	372.57	370.84	369.06	367.32	365.57	363.81	362.05	360.29	358.53	356.62
03-08-2001/11:00	374.31	372.58	370.84	369.07	367.33	365.58	363.82	362.05	360.29	358.54	356.64
03-08-2001/12:00	374.31	372.57	370.84	369.07	367.34	365.59	363.82	362.06	360.30	358.54	356.65
03-08-2001/13:00	374.30	372.56	370.84	369.07	367.34	365.59	363.83	362.07	360.31	358.55	356.66
03-08-2001/14:00	374.30	372.56	370.83	369.06	367.33	365.59	363.83	362.08	360.32	358.55	356.67
03-08-2001/15:00	374.30	372.56	370.83	369.06	367.33	365.59	363.83	362.08	360.32	358.56	356.68
03-08-2001/16:00	374.29	372.55	370.82	369.06	367.33	365.59	363.82	362.07	360.32	358.56	356.69
03-08-2001/17:00	374.29	372.55	370.82	369.05	367.32	365.58	363.82	362.07	360.31	358.56	356.69
03-08-2001/18:00	374.30	372.56	370.82	369.05	367.32	365.58	363.82	362.07	360.31	358.56	356.68
03-08-2001/19:00	374.32	372.57	370.83	369.05	367.32	365.58	363.81	362.06	360.31	358.55	356.68
03-08-2001/20:00	374.36	372.60	370.85	369.07	367.32	365.58	363.81	362.06	360.30	358.55	356.67
03-08-2001/21:00	374.40	372.65	370.89	369.09	367.34	365.59	363.82	362.06	360.30	358.55	356.67
03-08-2001/22:00	374.44	372.70	370.93	369.13	367.37	365.61	363.83	362.07	360.31	358.55	356.66
03-08-2001/23:00	374.52	372.75	370.97	369.18	367.42	365.65	363.85	362.09	360.32	358.56	356.67
04-08-2001/00:00	374.58	372.81	371.03	369.24	367.48	365.70	363.89	362.12	360.34	358.57	356.68
04-08-2001/01:00	374.63	372.87	371.10	369.31	367.55	365.76	363.94	362.16	360.37	358.59	356.70
04-08-2001/02:00	374.69	372.92	371.15	369.38	367.62	365.83	364.00	362.20	360.40	358.62	356.74
04-08-2001/03:00	374.78	372.99	371.22	369.44	367.67	365.88	364.07	362.26	360.45	358.66	356.79
04-08-2001/04:00	374.87	373.07	371.29	369.50	367.72	365.93	364.13	362.33	360.51	358.72	356.86
04-08-2001/05:00	374.92	373.13	371.35	369.56	367.78	365.99	364.20	362.40	360.58	358.78	356.95
04-08-2001/06:00	374.97	373.18	371.40	369.62	367.84	366.06	364.28	362.48	360.64	358.86	357.03
04-08-2001/07:00	375.02	373.23	371.44	369.66	367.89	366.12	364.35	362.55	360.72	358.94	357.10
04-08-2001/08:00	375.04	373.26	371.48	369.71	367.94	366.16	364.39	362.61	360.79	359.02	357.17
04-08-2001/09:00	375.08	373.29	371.51	369.74	367.98	366.20	364.43	362.65	360.85	359.10	357.25
04-08-2001/10:00	375.09	373.33	371.55	369.77	368.00	366.23	364.47	362.69	360.90	359.17	357.32
04-08-2001/11:00	375.10	373.33	371.56	369.79	368.02	366.26	364.49	362.72	360.94	359.22	357.37
04-08-2001/12:00	375.11	373.34	371.56	369.80	368.04	366.27	364.51	362.75	360.98	359.25	357.42
04-08-2001/13:00	375.12	373.35	371.58	369.81	368.04	366.28	364.52	362.77	361.00	359.27	357.46
04-08-2001/14:00	375.14	373.37	371.59	369.82	368.05	366.29	364.53	362.77	361.01	359.28	357.47
04-08-2001/15:00	375.16	373.39	371.61	369.84	368.07	366.30	364.54	362.78	361.02	359.28	357.49
04-08-2001/16:00	375.20	373.41	371.63	369.85	368.08	366.32	364.55	362.80	361.04	359.29	357.50
04-08-2001/17:00	375.23	373.45	371.66	369.88	368.11	366.34	364.57	362.82	361.05	359.31	357.51
04-08-2001/18:00	375.28	373.49	371.70	369.92	368.14	366.37	364.60	362.84	361.07	359.32	357.53
04-08-2001/19:00	375.32	373.53	371.74	369.96	368.18	366.40	364.64	362.87	361.10	359.35	357.56
04-08-2001/20:00	375.34	373.56	371.78	370.00	368.22	366.45	364.68	362.91	361.13	359.38	357.59
04-08-2001/21:00	375.35	373.57	371.80	370.03	368.25	366.48	364.71	362.94	361.17	359.41	357.63
04-08-2001/22:00	375.33	373.57	371.80	370.04	368.27	366.50	364.74	362.97	361.20	359.45	357.67
04-08-2001/23:00	375.30	373.54	371.78	370.02	368.26	366.51	364.74	362.99	361.22	359.48	357.70
05-08-2001/00:00	375.27	373.50	371.75	369.99	368.24	366.49	364.73	362.98	361.23	359.49	357.71
05-08-2001/01:00	375.21	373.46	371.70	369.95	368.20	366.46	364.71	362.96	361.21	359.48	357.71
05-08-2001/02:00	375.17	373.41	371.65	369.90	368.15	366.41	364.67	362.93	361.18	359.45	357.70
05-08-2001/03:00	375.11	373.37	371.61	369.86	368.11	366.37	364.63	362.89	361.15	359.42	357.66
05-08-2001/04:00	375.07	373.32	371.57	369.82	368.07	366.32	364.59	362.85	361.11	359.38	357.63
05-08-2001/05:00	375.03	373.28	371.52	369.78	368.03	366.28	364.54	362.81	361.07	359.34	357.59
05-08-2001/06:00	374.99	373.24	371.49	369.74	367.99	366.25	364.50	362.77	361.03	359.30	357.54
05-08-2001/07:00	374.96	373.20	371.45	369.70	367.96	366.21	364.47	362.73	360.99	359.27	357.50
05-08-2001/08:00	374.93	373.17	371.42	369.67	367.93	366.18	364.44	362.69	360.95	359.24	357.46
05-08-2001/09:00	374.91	373.15	371.39	369.6							

ตัวอย่างผลการคำนวณค่าอัตราการไหลจากแบบจำลอง

Station	0.000	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000
Day-M-Year/Time											
02-08-2001/00:00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
02-08-2001/01:00	9.70	9.71	9.61	9.66	9.85	9.79	9.78	9.98	9.98	10.03	9.96
02-08-2001/02:00	9.40	9.85	10.03	9.92	9.77	9.99	9.96	9.81	9.94	9.98	10.00
02-08-2001/03:00	9.40	9.28	9.52	9.72	9.85	9.66	9.84	9.92	9.87	9.90	10.02
02-08-2001/04:00	9.40	9.53	9.50	9.67	9.72	9.94	9.79	9.85	9.87	9.92	9.84
02-08-2001/05:00	9.40	9.30	9.37	9.35	9.60	9.61	9.83	9.77	9.88	9.82	9.97
02-08-2001/06:00	9.40	9.49	9.43	9.48	9.38	9.67	9.66	9.83	9.74	9.90	9.77
02-08-2001/07:00	9.40	9.33	9.39	9.34	9.46	9.34	9.59	9.62	9.83	9.72	9.93
02-08-2001/08:00	9.40	9.46	9.40	9.46	9.36	9.51	9.39	9.58	9.58	9.82	9.69
02-08-2001/09:00	9.70	9.40	9.41	9.35	9.45	9.32	9.47	9.38	9.58	9.55	9.82
02-08-2001/10:00	10.00	9.77	9.46	9.45	9.36	9.48	9.35	9.47	9.37	9.58	9.53
02-08-2001/11:00	10.00	9.93	9.76	9.50	9.47	9.34	9.45	9.35	9.47	9.37	9.58
02-08-2001/12:00	10.38	10.09	10.01	9.89	9.57	9.51	9.37	9.45	9.35	9.47	9.37
02-08-2001/13:00	10.76	10.39	10.10	10.01	9.92	9.58	9.52	9.39	9.45	9.36	9.47
02-08-2001/14:00	10.76	10.74	10.50	10.25	10.04	9.93	9.63	9.55	9.40	9.46	9.36
02-08-2001/15:00	11.52	10.86	10.77	10.56	10.32	10.05	9.94	9.68	9.59	9.42	9.47
02-08-2001/16:00	12.66	11.67	11.01	10.86	10.61	10.36	10.09	9.98	9.72	9.61	9.45
02-08-2001/17:00	14.74	12.91	11.91	11.27	10.94	10.62	10.39	10.14	10.01	9.76	9.64
02-08-2001/18:00	16.15	15.31	13.88	12.55	11.52	11.01	10.67	10.45	10.19	10.04	9.79
02-08-2001/19:00	17.09	16.58	15.96	14.55	12.94	11.70	11.11	10.75	10.50	10.23	10.06
02-08-2001/20:00	17.56	17.32	16.91	16.29	14.84	13.15	11.91	11.27	10.84	10.56	10.27
02-08-2001/21:00	18.50	17.90	17.58	17.12	16.36	14.91	13.40	12.20	11.44	10.93	10.61
02-08-2001/22:00	19.54	18.93	18.32	17.82	17.21	16.50	15.24	13.77	12.49	11.61	11.02
02-08-2001/23:00	24.96	21.45	19.95	18.83	18.02	17.47	16.79	15.48	14.05	12.74	11.78
03-08-2001/00:00	35.20	29.12	24.56	21.46	19.44	18.46	17.75	16.85	15.74	14.42	12.98
03-08-2001/01:00	40.00	37.94	32.74	27.70	23.97	21.23	19.31	17.96	17.12	16.28	14.95
03-08-2001/02:00	41.40	40.61	39.14	35.78	31.53	27.16	23.08	19.98	18.41	17.60	16.70
03-08-2001/03:00	42.80	42.04	41.10	40.25	38.14	34.52	29.41	24.18	20.94	19.30	18.15
03-08-2001/04:00	42.80	42.84	42.38	41.65	41.00	39.30	36.14	31.26	26.29	22.88	20.49
03-08-2001/05:00	43.50	43.07	42.90	42.68	42.01	41.15	40.02	37.84	33.30	28.18	24.55
03-08-2001/06:00	44.25	43.87	43.37	43.09	42.83	42.19	41.51	40.64	38.39	33.69	29.36
03-08-2001/07:00	44.25	44.26	44.02	43.65	43.27	42.93	42.43	41.91	40.67	38.14	34.98
03-08-2001/08:00	45.00	44.56	44.36	44.19	43.87	43.42	43.10	42.71	41.95	40.49	38.88
03-08-2001/09:00	45.75	45.36	44.85	44.57	44.32	43.98	43.60	43.30	42.76	41.86	40.90
03-08-2001/10:00	45.75	45.76	45.53	45.14	44.79	44.42	44.15	43.79	43.44	43.03	42.38
03-08-2001/11:00	45.75	45.74	45.74	45.66	45.34	44.93	44.59	44.31	43.96	43.64	43.30
03-08-2001/12:00	45.00	45.44	45.63	45.70	45.66	45.41	45.10	44.78	44.45	44.14	43.84
03-08-2001/13:00	45.00	44.96	45.25	45.48	45.60	45.62	45.49	45.24	44.92	44.63	44.34
03-08-2001/14:00	45.00	45.03	44.98	45.12	45.34	45.52	45.60	45.53	45.33	45.08	44.81
03-08-2001/15:00	44.25	44.67	44.91	44.94	45.05	45.26	45.44	45.53	45.52	45.42	45.22
03-08-2001/16:00	44.25	44.22	44.49	44.75	44.87	45.01	45.18	45.33	45.47	45.52	45.46
03-08-2001/17:00	44.25	44.27	44.24	44.36	44.60	44.80	44.94	45.09	45.26	45.40	45.47
03-08-2001/18:00	45.00	44.56	44.38	44.28	44.33	44.53	44.71	44.86	45.02	45.17	45.31
03-08-2001/19:00	46.50	45.68	44.97	44.62	44.43	44.37	44.47	44.62	44.79	44.93	45.08
03-08-2001/20:00	49.50	47.83	46.49	45.59	45.00	44.60	44.43	44.45	44.58	44.71	44.85
03-08-2001/21:00	52.60	50.93	49.04	47.48	46.21	45.34	44.83	44.59	44.50	44.54	44.64
03-08-2001/22:00	55.80	54.11	52.46	50.40	48.36	46.80	45.81	45.20	44.79	44.58	44.56
03-08-2001/23:00	62.20	58.97	56.37	54.02	51.49	49.22	47.60	46.49	45.62	45.06	44.78
04-08-2001/00:00	67.00	64.82	61.83	58.53	55.35	52.53	50.34	48.64	47.19	46.17	45.52
04-08-2001/01:00	72.10	69.53	67.19	63.98	60.13	56.67	53.93	51.78	50.10	48.54	47.12
04-08-2001/02:00	77.40	74.84	72.07	69.04	65.75	62.52	59.20	56.11	53.69	51.86	49.79
04-08-2001/03:00	85.00	81.16	77.87	74.70	72.11	69.48	65.93	61.99	58.72	56.10	53.38
04-08-2001/04:00	93.00	89.23	85.64	82.51	79.21	76.07	72.69	68.80	65.11	61.85	58.16
04-08-2001/05:00	99.20	97.10	94.26	90.85	87.44	83.81	79.76	75.65	72.00	68.53	64.19
04-08-2001/06:00	105.50	103.04	100.89	98.49	95.46	92.01	87.79	83.08	79.15	75.39	71.30
04-08-2001/07:00	112.40	109.75	107.09	104.64	102.24	99.35	95.99	92.22	87.79	83.01	78.68
04-08-2001/08:00	114.70	114.24	112.75	110.60	108.14	105.79	103.46	100.68	96.77	91.76	86.86
04-08-2001/09:00	122.00	118.67	116.90	115.36	113.59	111.60	109.47	107.15	104.13	100.04	95.47
04-08-2001/10:00	122.00	122.82	121.28	119.55	118.07	116.55	114.76	112.69	110.05	106.69	103.05
04-08-2001/11:00	123.25	122.35	122.88	122.53	121.56	120.36	119.02	117.38	115.16	112.33	109.25
04-08-2001/12:00	124.50	124.23	123.20	123.11	123.10	122.69	121.93	120.82	119.26	117.72	115.43
04-08-2001/13:00	127.00	125.83	125.36	124.42	123.83	123.58	123.35	122.86	121.95	120.84	119.78
04-08-2001/14:00	129.50	128.65	127.42	126.74	125.87	125.01	124.40	123.97	123.46	122.92	122.13
04-08-2001/15:00	132.00	130.98	130.21	129.12	128.28	127.41	126.46	125.55	124.78	124.23	123.72
04-08-2001/16:00	137.00	134.97	133.36	132.26	131.08	130.03	129.04	127.98	126.82	125.89	125.16
04-08-2001/17:00	142.00	140.31	138.44	136.49	134.91	133.45	132.08	130.86	129.75	128.61	127.43
04-08-2001/18:00	149.80	147.08	144.71	142.48	140.23	138.21	136.32	134.59	133.11	131.84	130.50
04-08-2001/19:00	156.40	154.59	152.07	149.40	146.92	144.42	141.99	139.77	137.75	135.94	134.20
04-08-2001/20:00	160.60	159.42	158.03	156.10	153.77	151.30	148.73	146.29	143.88	141.52	139.15
04-08-2001/21:00	162.00	161.78	161.12	160.22	158.95	157.24	155.30	153.09	150.65	148.14	145.38
04-08-2001/22:00	159.20	160.36	161.11	161.31	161.09	160.55	159.63	158.33	156.61	154.42	152.04
04-08-2001/23:00	153.70	155.55	157.35	158.91	159.99	160.58	160.80	160.62	160.01	158.90	157.33
05-08-2001/00:00	147.20	149.27	151.45	153.62	155.67	157.42	158.73	159.65	160.21	160.32	159.96
05-08-2001/01:00	138.25	141.41	144.17	146.82	149.33	151.69	153.82	155.69	157.30	158.58	159.45
05-08-2001/02:00	132.00	133.91	136.43	139.17	141.95	144.67	147.22	149.62	151.91	154.09	155.99
05-08-2001/03:00	124.50	127.54	129.74	132.02	134.50	137.22	140.04	142.66	145.20	147.81	150.35
05-08-2001/04:00	118.25	120.46	123.26	125.63	127.86	130.22	132.80	135.47	138.09	140.81	143.55
05-08-2001/05:00	113.55	115.31	117.09	119.35	121.63	123.86	126.26	128.80	131.29	133.82	136.59
05-08-2001/06:00	107.80	110.08	112.19	114.00	115.88	117.93	120.17	122.55	125.02	127.36	130.00
05-08-2001/07:00	103.40	104.94	106.88	109.02	110.90	112.70	114.60	116.84	119.53	121.85	124.10
05-08-2001/08:00	100.25	101.39	102.63	104.21	106.15	107.99	109.73	111.68	114.08	116.39	118.66
05-08-2001/09:00	97.10	98.32	99.49	100.69	102.01	103.54	105.19	107.02	109.20	111.23	113.32
05-08-2001/10:00	95.00	95.70	96.67	97.76	98.96	100.19	101.45	102.87	104.92	107.15	109.02
05-08-2001/11:00	93.00	93.83	94.49	95.30	96.28	97.42	98.50	99.64	101.17	103.27	105.54
05-08-2001/12:00	91.00	91.80	92.62	93.34	94.12	95.01	95.95	96.95	98.24	99.93	101.78
05-08-2001/13:00	90.00	90.32	90.83	91.52	92.27	93.06	93.81	94.63	95.73	97.17	98.72
05-08-2001/14:00	88.00	88.94	89.48	89.97	90.59	91.31	92.06	92.78	93.65	94.84	96.14
05-08-2001/15:00	85.00	86.39	87.52	88.36							

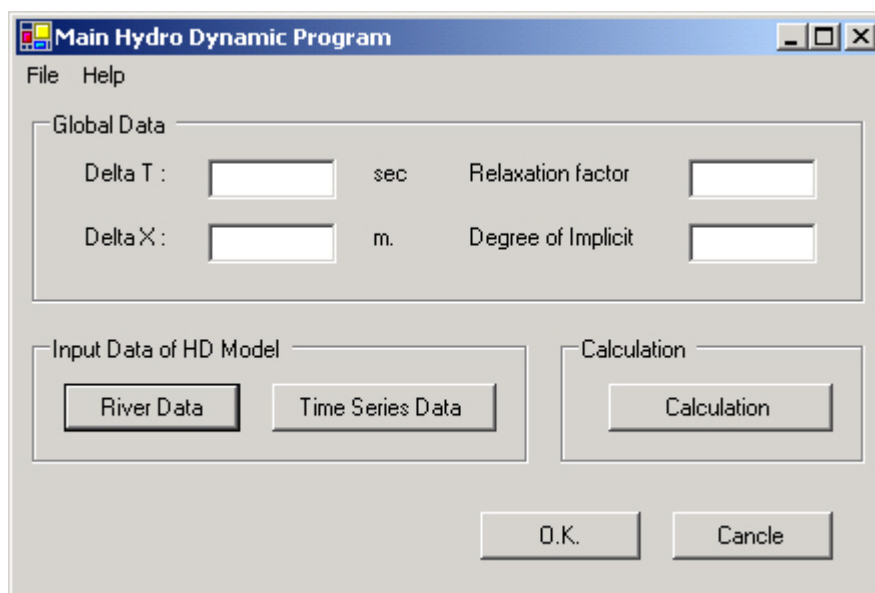
ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้แบบจำลอง DYMWAV

คู่มือการใช้แบบจำลอง DYMWAV Version 1.0

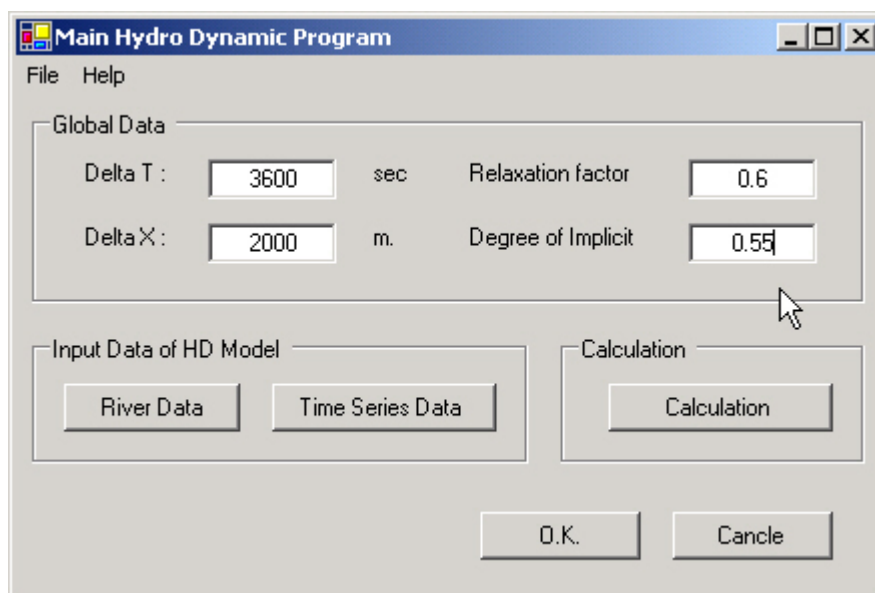
แบบจำลอง DYMWAV (Dynamic Wave) Version 1.0 ได้พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Visual Basic.Net เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม เพื่อใช้ในการจำลองสภาพการไหลแบบไม่คงที่กับเวลาในทางน้ำเปิด แบบจำลอง DYMWAV Version 1.0 นี้ง่ายต่อการใช้งาน เนื่องจากมีหน้าต่างกรับข้อมูลจากผู้ใช้ง่ายๆ ไม่ยุ่งยาก รวมถึงมีการแสดงผลโต้ตอบกับผู้ใช้อย่างชัดเจน ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนและวิธีการใช้มีดังนี้คือ

1. หน้าจอหลักของแบบจำลอง DYMWAV Version 1.0 แสดงในภาพผนวกที่ 1



ภาพผนวกที่ ข1 หน้าจอหลักของแบบจำลอง DYMWAV

2. ป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลอง อันประกอบด้วยค่า Δt ในหน่วยวินาที, ค่า Δx ในหน่วยเมตร, ค่าคิกรีของความเป็นอิมพลีซิท (θ), และค่า Relaxation factor (α) ดังแสดงในภาพผนวกที่ 2

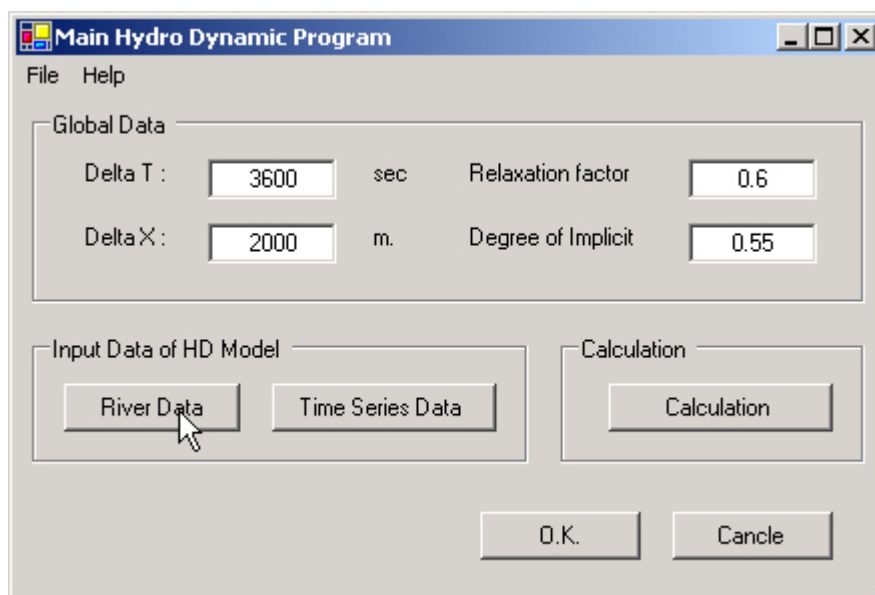


ภาพผนวกที่ ๒ ตัวอย่างการป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลอง

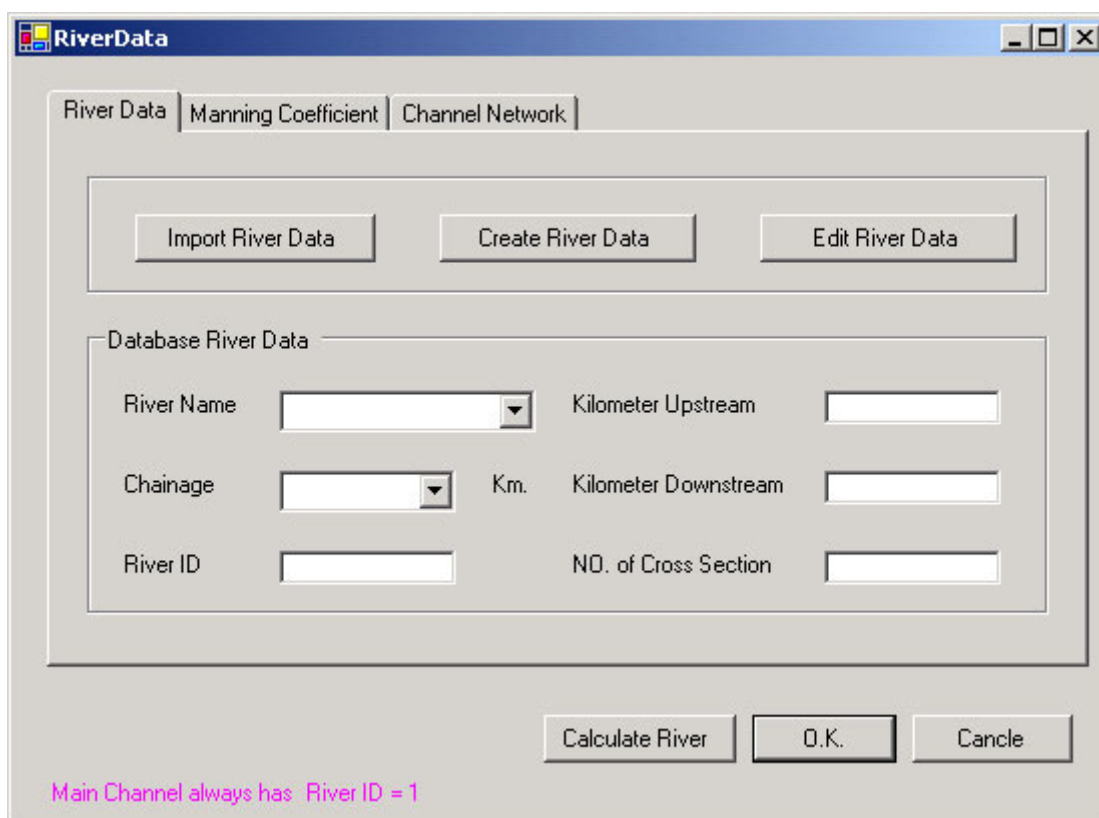
3. นำเข้าข้อมูลแม่น้ำ อันประกอบด้วยข้อมูลรูปตัดลำน้ำ ข้อมูลสัมประสิทธิ์ความขรุขระ และข้อมูลโครงข่ายระบบแม่น้ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 คลิกที่ปุ่ม River Data ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3 เพื่อเข้าสู่หน้าต่างข้อมูลแม่น้ำ ดังแสดงในภาพผนวกที่ 4

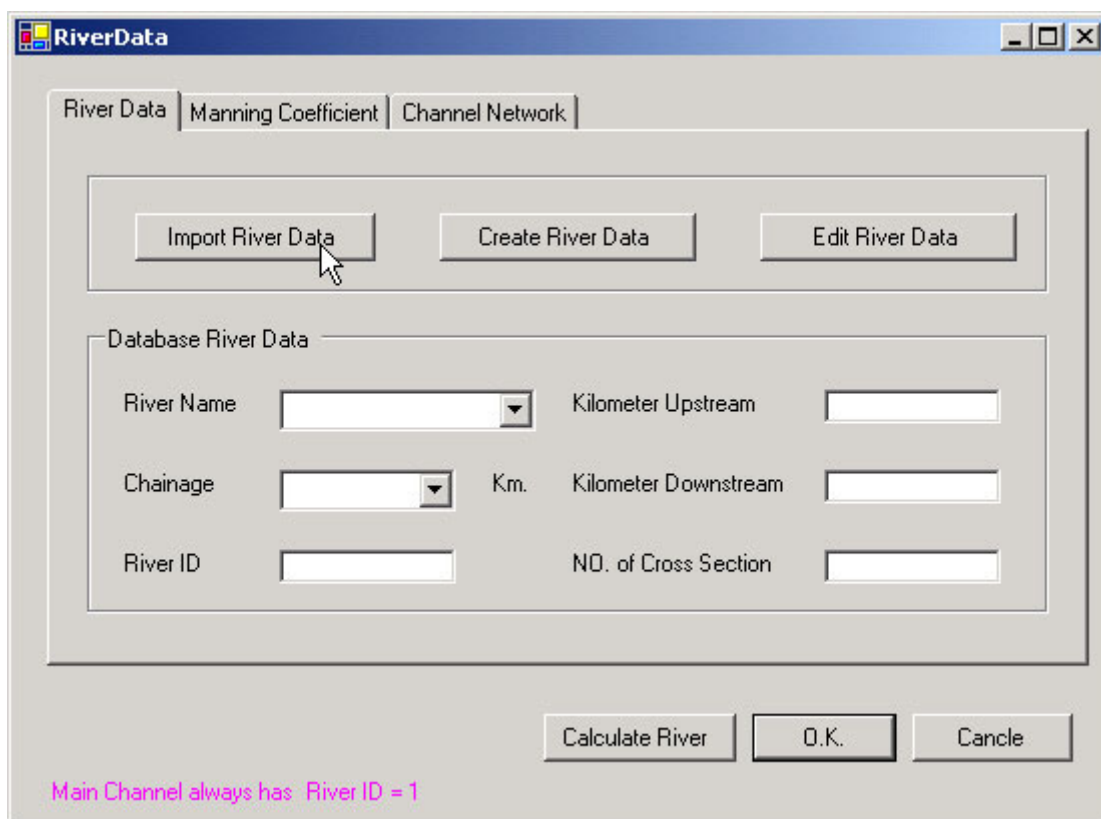
3.2 การกำหนดข้อมูลแม่น้ำสามารถทำได้โดยการนำเข้าข้อมูลแม่น้ำจากข้อมูลด้านนอกโดยการคลิกที่ปุ่ม Import River Data ดังแสดงในภาพผนวกที่ 5 ทั้งนี้ข้อมูลด้านนอกดังกล่าวต้องมีการจัดเรียงตามรูปแบบที่แบบจำลองกำหนดไว้ ดังตัวอย่างในตารางผนวกที่ 1



ภาพผนวกที่ ข3 การเข้าสู่หน้าต่างการนำเข้าข้อมูลแม่น้ำ

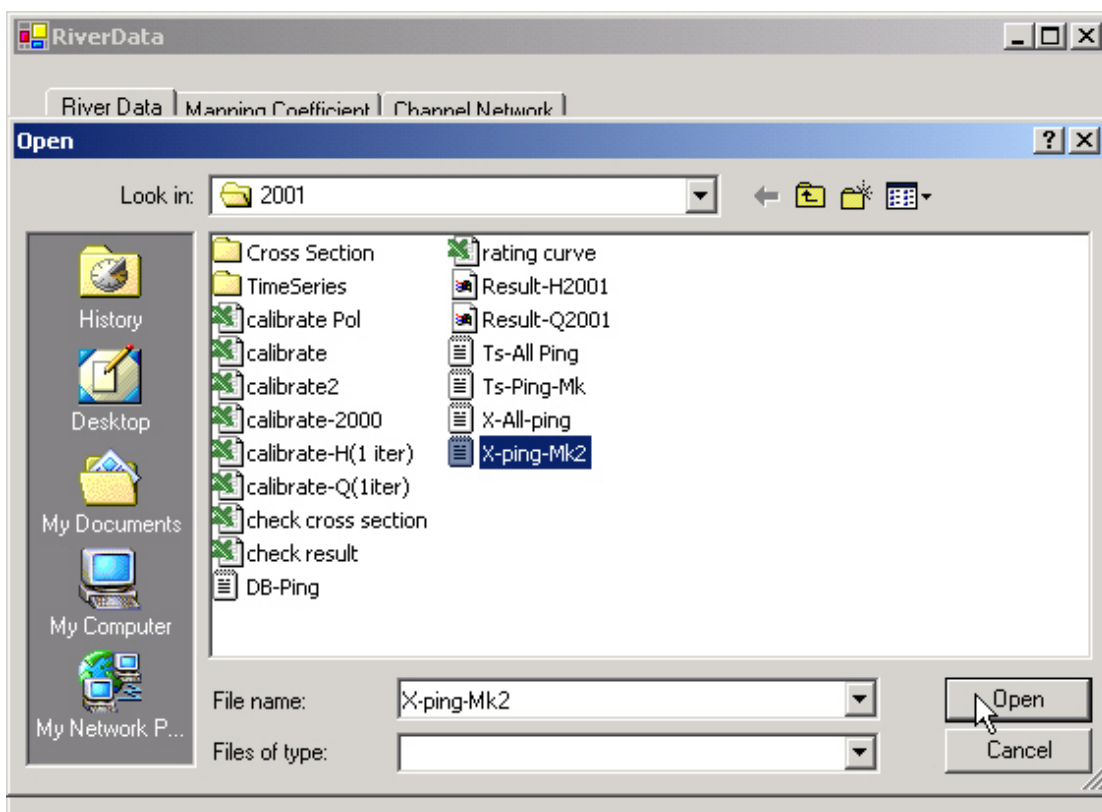


ภาพผนวกที่ ข4 หน้าต่างข้อมูลแม่น้ำ



ภาพผนวกที่ ๖5 วิธีการนำเข้าข้อมูลแม่น้ำจากข้อมูลด้านนอก

3.3 เลือกไฟล์ของข้อมูลจาก dialog box ดังแสดงในภาพผนวกที่ 6 และจะแสดงผลรายละเอียดของข้อมูลที่น่าเข้าเป็นชื่อแม่น้ำ รหัสแม่น้ำ กิโลเมตรด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำดังแสดงในภาพผนวกที่ 7 รวมถึงรายละเอียดของกิโลเมตรต่างๆที่มีการเก็บข้อมูลรูปตัดลำน้ำ ดังแสดงในภาพผนวกที่ 8



ภาพผนวกที่ ๖ Dialog Box การเลือกไฟล์ข้อมูลแม่น้ำ

The screenshot shows the 'RiverData' software window with three tabs: 'River Data', 'Manning Coefficient', and 'Channel Network'. The 'River Data' tab is active. It contains three buttons: 'Import River Data', 'Create River Data', and 'Edit River Data'. Below these is the 'Database River Data' section with the following fields:

River Name	MAIN PING	Kilometer Upstream	0
Chainage	0 Km.	Kilometer Downstream	216.15
River ID	1	NO. of Cross Section	175

At the bottom right, there are three buttons: 'Calculate River', 'O.K.', and 'Cancle'. A mouse cursor is pointing at the 'Calculate River' button. A pink text note at the bottom left reads: 'Main Channel always has River ID = 1'.

ภาพผนวกที่ ข7 หน้าต่างแสดงรายละเอียดของข้อมูลแม่น้ำที่ได้นำเข้าแล้ว

RiverData

River Data | Manning Coefficient | Channel Network

Import River Data | Create River Data | Edit River Data

Database River Data

River Name: MAIN PING | Kilometer Upstream: 0

Chainage: 44.9 | Km. | Kilometer Downstream: 216.15

River ID: 49.9 | ND. of Cross Section: 175

Calculate River | O.K. | Cancle

Main Channel always has River ID = 1

ภาพผนวกที่ ข8 รายละเอียดของกิโลเมตรต่างๆที่มีการเก็บข้อมูลรูปตัดลำน้ำในแม่น้ำนั้นๆ

3.4 ป้อนข้อมูลสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (manning coefficient) โดยสามารถกำหนดได้สองลักษณะคือถ้าจะกำหนดให้เท่ากันทั้งหมดทุกแม่น้ำทุกสถานี ก็กำหนดที่ Global Manning Coefficient อย่างเดียวดังแสดงในภาพผนวกที่ 9 แต่ถ้าต้องการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ไม่เท่ากันทุกระยะทางและทุกแม่น้ำทำได้โดยการกรอกตัวเลขจำนวนของระยะทางที่ต้องการเปลี่ยนแปลงในช่อง Number of Location แล้วกดที่ปุ่ม Add Manning Coefficient ดังแสดงในภาพผนวกที่ 10 จากนั้นป้อนค่ารหัสของแม่น้ำ ระยะทาง และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในแม่น้ำและในทุ่งน้ำท่วมตามที่ต้องการดังแสดงในภาพผนวกที่ 11

RiverData

River Data Manning Coefficient Channel Network

Global Manning Coefficient

Channel Coefficient Flood Plain Coefficient

Branches where local manning coefficient

Number of Location

No.	River ID	River Chainage	Channel Coef	Flood Plain Coef
*				

Main Channel always has River ID = 1

ภาพผนวกที่ ๙ การป้อนข้อมูล Global Manning Coefficient

RiverData

River Data Manning Coefficient Channel Network

Global Manning Coefficient

Channel Coefficient Flood Plain Coefficient

Branches where local manning coefficient

Number of Location

No.	River ID	River Chainage	Channel Coef	Flood Plain Coef
1				
2				
3				

Main Channel always has River ID = 1

ภาพผนวกที่ ข10 การเพิ่มจำนวนค่าที่ต้องการจะเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

RiverData

River Data Manning Coefficient Channel Network

Global Manning Coefficient

Channel Coefficient Flood Plain Coefficient

Branches where local manning coefficient

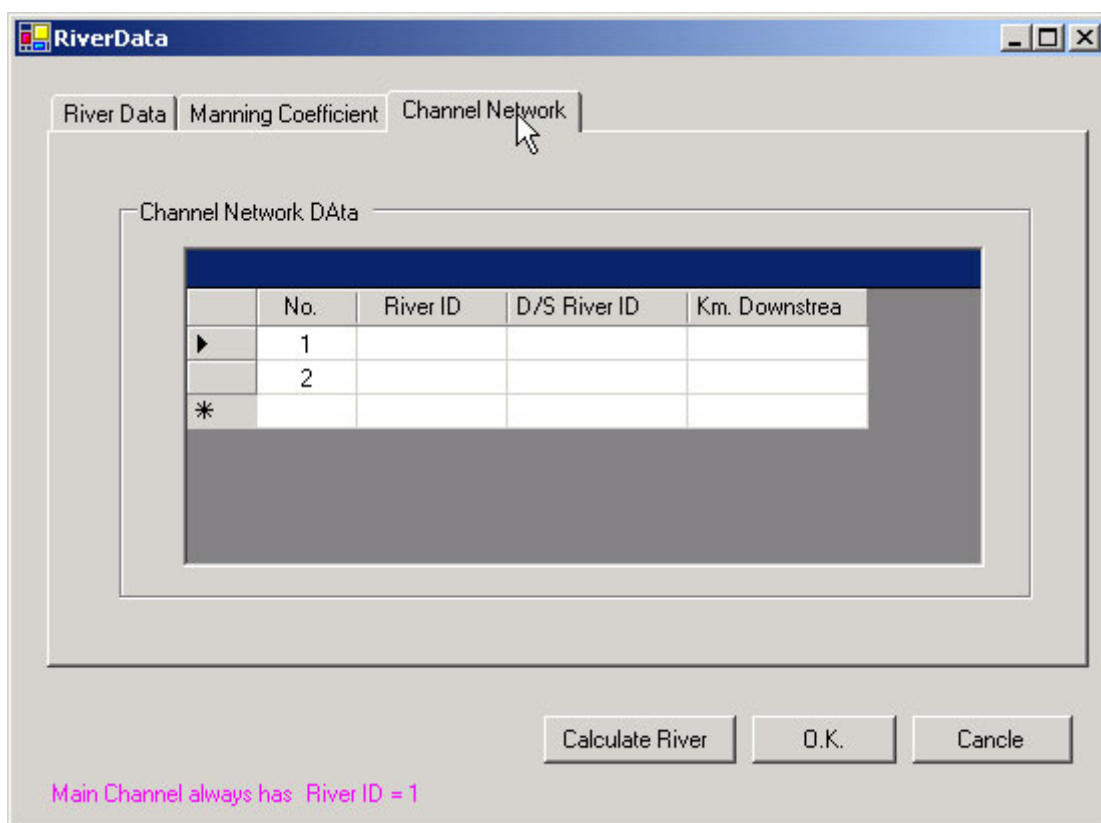
Number of Location

No.	River ID	River Chainage	Channel Coef	Flood Plain Coef
1	1	68.4	0.04	0.06
2	1	102.4	0.04	0.06
3	1	102.6	0.035	0.055

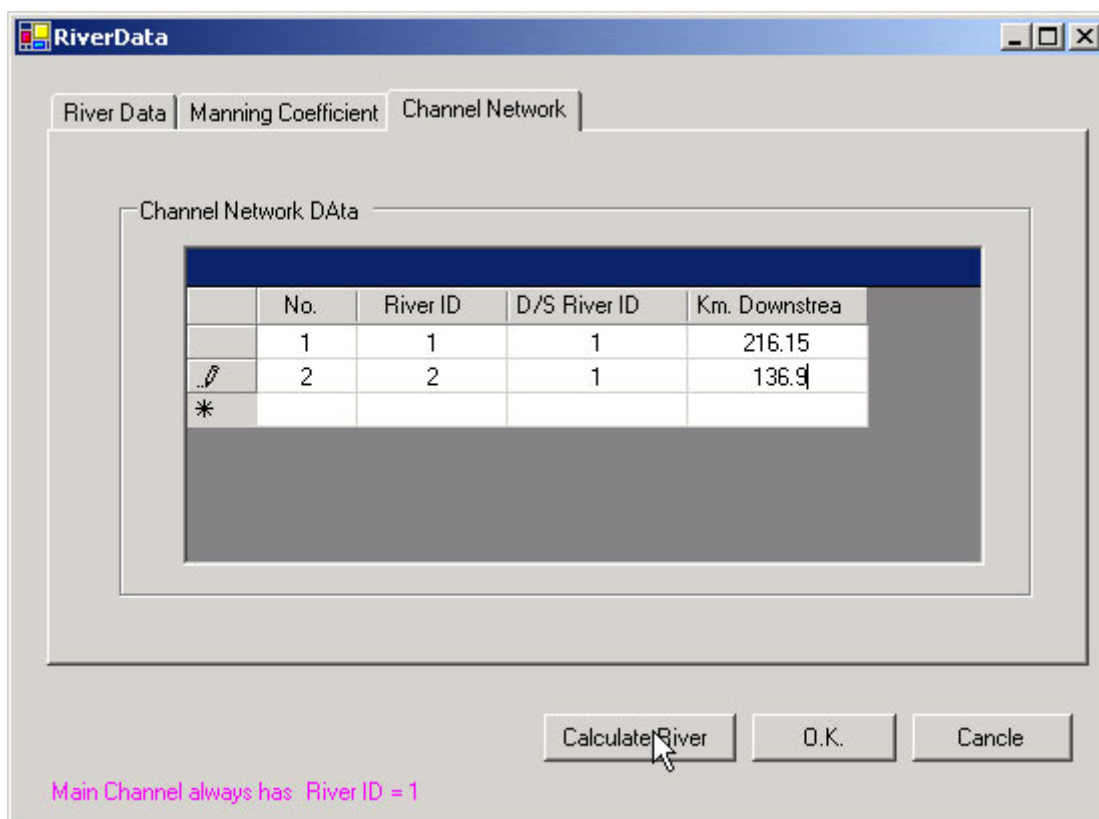
Main Channel always has River ID = 1

ภาพผนวกที่ ข11 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

3.5 ป้อนข้อมูลระบบโครงข่ายโดยกดที่ tab Channel Network ดังแสดงในภาพ
 ผนวกที่ 12 จากนั้นกรอกข้อมูลรหัสของแม่น้ำสาขาในช่อง River ID ข้อมูลรหัสของแม่น้ำสายหลัก
 ที่แม่น้ำสาขาคงกล่าวไปบรรจบด้วยในช่อง D/S River ID และกรอกข้อมูลกิโลเมตรของแม่น้ำสาย
 หลักบริเวณจุดบรรจบของแม่น้ำสาขาในช่อง Km.Downstream ดังแสดงในภาพผนวกที่ 13



ภาพผนวกที่ 12 หน้าจอของการป้อนข้อมูลระบบแม่น้ำ

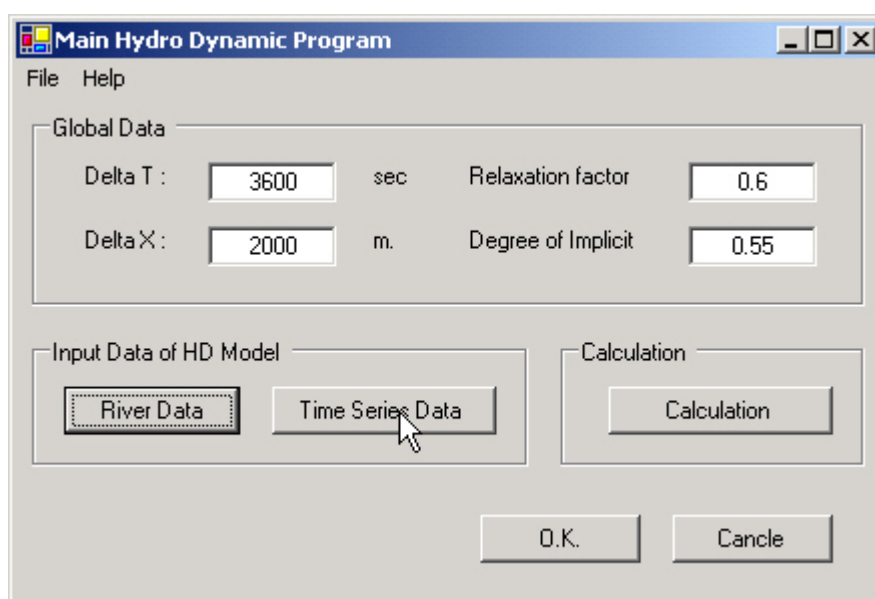


ภาพผนวกที่ ข13 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลระบบแม่น้ำ

4. นำเข้าข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตและข้อมูล time series ต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 กดที่ปุ่ม Time Series Data ดังแสดงในภาพผนวกที่ 14 เพื่อเข้าสู่หน้าจอ Boundary and Time Series Data ดังแสดงในภาพผนวกที่ 15 ซึ่งจะแสดงข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของแม่น้ำที่ได้นำเข้าไว้แล้วในขั้นต้น

4.2 นำเข้าข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต และข้อมูล Time Series จากข้อมูลด้านนอกตามรูปแบบของแบบจำลองดังแสดงตัวอย่างรูปแบบข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตด้านเข้าในตารางผนวกที่ 2 โดยการกดที่ปุ่ม Import Boundary ดังแสดงในภาพผนวกที่ 16 จากนั้นจะขึ้น dialog box ขึ้นมาให้เลือกไฟล์ของข้อมูลที่ต้องการดังแสดงในภาพผนวกที่ 17 เมื่อกดที่ปุ่ม Open ก็จะทำให้ทำการนำเข้าข้อมูลและแสดงรายละเอียดของข้อมูล ได้แก่ข้อมูลชื่อแม่น้ำ รหัสแม่น้ำ ระยะทางของแม่น้ำ ตลอดจนประเภทของข้อมูล ที่นำเข้าดังแสดงในภาพผนวกที่ 18 เมื่อกดที่ปุ่ม O.K. ก็จะออกจากหน้าต่างนี้



ภาพผนวกที่ ข14 วิธีการเข้าสู่หน้าจอเงื่อนไขขอบเขต

Boundary & Timeseries Data Base

Time Series Data Base | Initial Condition | Specify Boundary

Select River to locate Boundary Condition

River Name: River ID: Chainage: Km.

MAIN PING
MAE KUANG

Add Boundary Condition

Type of Time Series

	Index	River Name	Channel ID	Chainage	Type Time Series
*					

ภาพผนวกที่ ข15 หน้าจอเงื่อนไขขอบเขตและข้อมูล Time Series

Boundary & Timeseries Data Base

Time Series Data Base | Initial Condition | Specify Boundary

Select River to locate Boundary Condition

River Name: MAIN PING | River ID: 1 | Chainage: 0 Km.

Add Boundary Condition

Add Bondary Condition | Delete Bondary Condition | Import Boundary

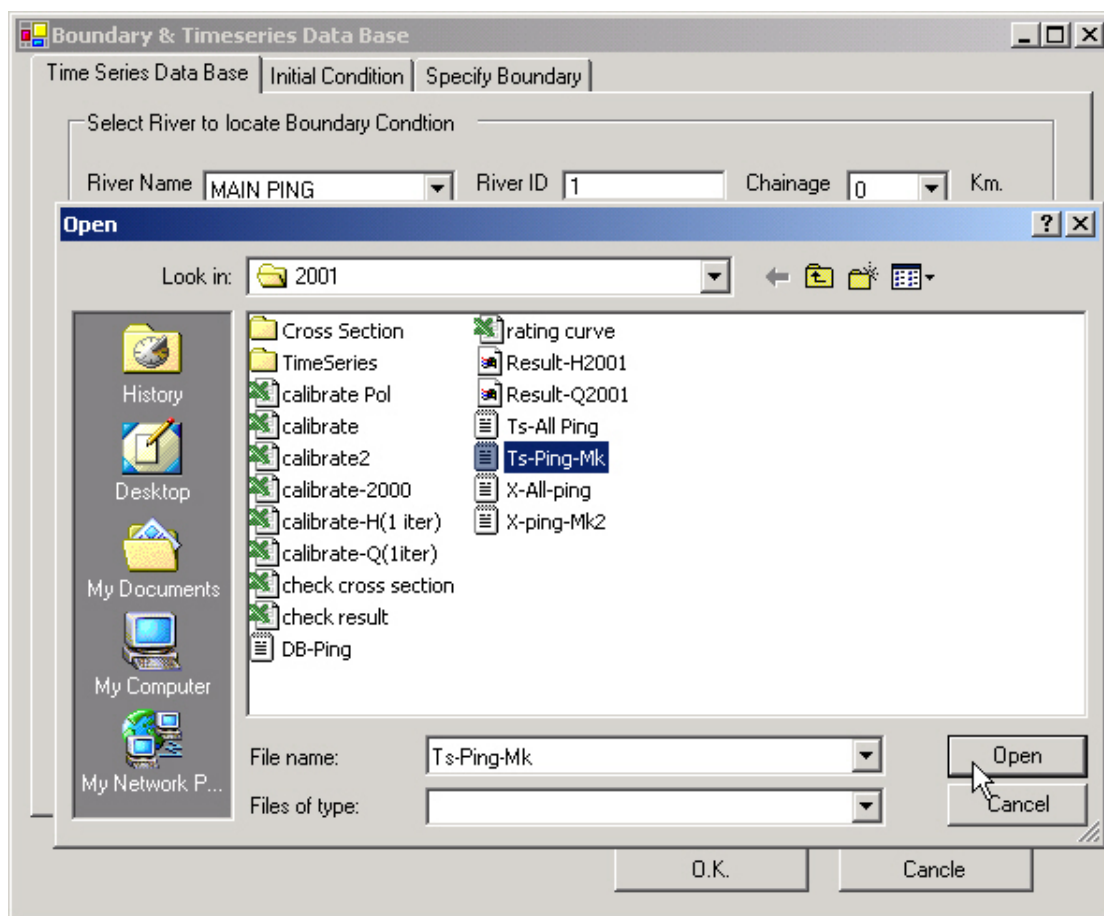
Type of Time Series

Flow Hydrograph | Stage Hydrograph | Rating Curve | Lateral Flow

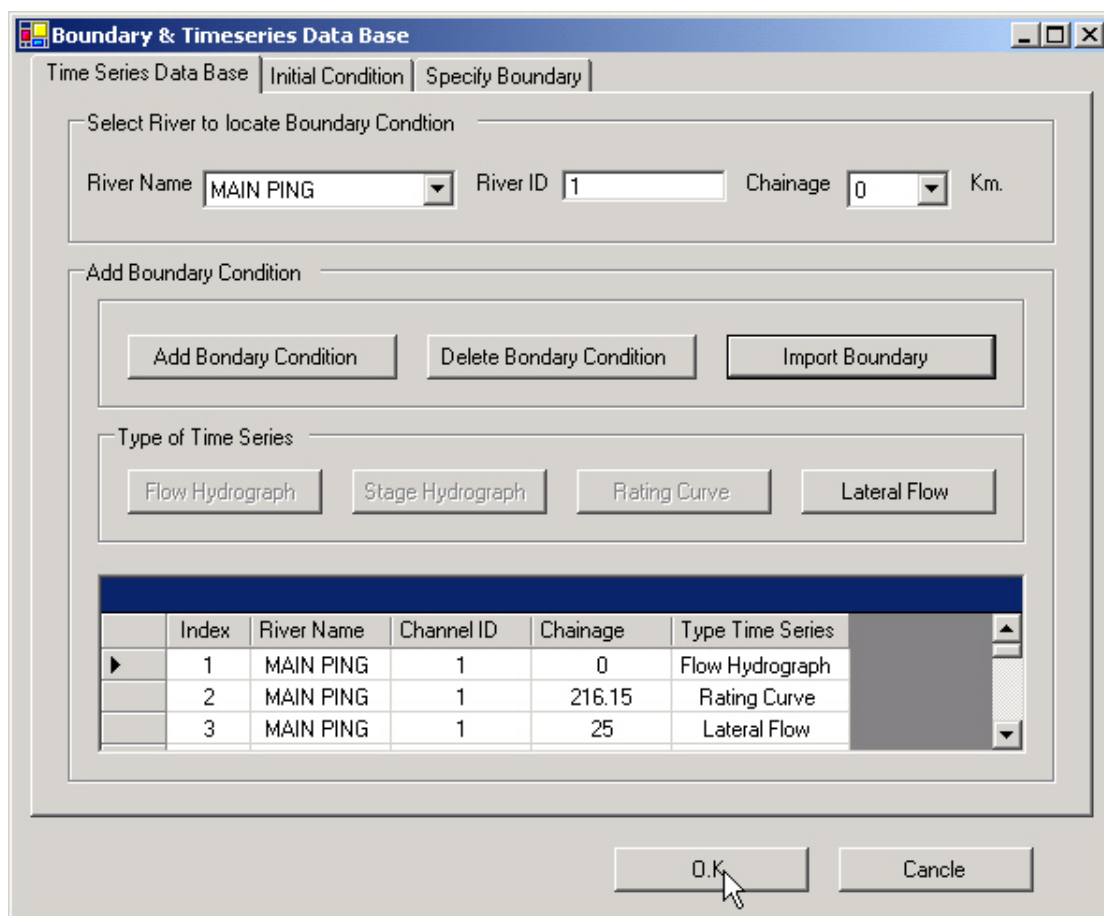
	Index	River Name	Channel ID	Chainage	Type Time Series
*					

O.K. | Cancele

ภาพผนวกที่ ข16 ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตและข้อมูล Time Series จากข้อมูลด้านนอก

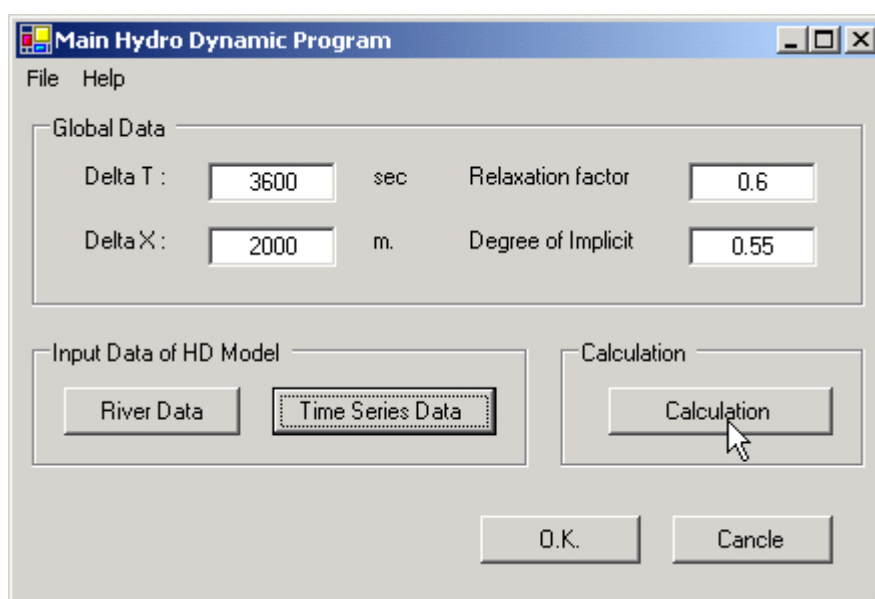


ภาพผนวกที่ ข17 dialog box ของการเลือกไฟล์ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต



ภาพผนวกที่ ข18 รายละเอียดของข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตและข้อมูล Time Series ที่ได้ทำการนำเข้ามา

5. เมื่อป้อนข้อมูลแม่น้ำและข้อมูล Time Series เสร็จเรียบร้อยแล้วก็มาถึงขั้นตอนการคำนวณซึ่งทำได้โดยการกดที่ปุ่ม Calculation ดังแสดงในภาพผนวกที่ 19 โปรแกรมก็จะทำการวิเคราะห์อัตราการไหลและระดับน้ำตามระยะทาง และเวลา ที่กำหนดไว้ และจะแสดงผลในรูปแบบของ Text File ดังตัวอย่างของข้อมูลด้านออกของระดับน้ำและอัตราการไหลแสดงในตารางผนวกที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



ภาพผนวกที่ ข19 ขั้นตอนการคำนวณระดับน้ำและอัตราการไหล

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นางสาวพรรณพิมพ์ พุทธิรักษา

เกิดวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2520

สถานที่เกิด อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี

ประวัติการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2542)

ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกรแหล่งน้ำ

สถานที่ทำงานปัจจุบัน บริษัทเซ้าท์อีสท์เอเชียเทคโนโลยี จำกัด