



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์แบบจำลอง HEC-RAS เพื่อการจัดการน้ำท่วมในลุ่มน้ำน่านส่วนบน

HEC-RAS Model Application for Flood Management in Upper Nan River Basin

นามผู้วิจัย นายบุญปลกร ชันดิธีระกวี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพุดิ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ณัฐ มาแจ้ง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นภาพร เปี่ยมสง่า, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์แบบจำลอง HEC-RAS เพื่อการจัดการน้ำท่วมในลุ่มน้ำน่านส่วนบน

HEC-RAS Model Application for Flood Management in Upper Nan River Basin

โดย

นายบุญปลกร ชันติธีระกวี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2555

บุญปลกร ชันดิธีระภวี 2555: การประยุกต์แบบจำลอง HEC-RAS เพื่อการจัดการน้ำท่วมใน
ลุ่มน้ำน่านส่วนบน ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขา
วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ, Ph.D. 147 หน้า

การศึกษานี้ได้ประยุกต์แบบจำลองชลศาสตร์ของระบบแม่น้ำ Hydrologic Engineering
Center's - River Analysis System (HEC-RAS) โดยมี HEC-GeoRas เป็นฟังก์ชันเสริมร่วมกับ
โปรแกรมสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ ArcView มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง
ปริมาณน้ำกับระดับน้ำ ทำแผนที่น้ำท่วมใน บริเวณอำเภอเมืองน่าน และวางแผนจัดการน้ำท่วม
ทั้งนี้ได้เลือกวิเคราะห์เหตุการณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำน่าน พ.ศ. 2549 เป็นกรณีศึกษา ข้อจำกัดของ
การศึกษาอยู่ที่ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลเส้นชั้นความสูง บางส่วนอยู่ใน พื้นที่ความ
มั่นคง แต่แก้ปัญหาโดยใช้ แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่มีความ
ละเอียดต่างกัน มาต่อข้อมูลภาพ (Mosaic) และสร้างเส้นชั้นความสูงใหม่ โดยตรวจสอบร่วมกับ
การสำรวจพื้นที่ และใช้แผนที่ L7018 ผลการศึกษาแสดงถึงพื้นที่และความลึกของน้ำท่วมใน
อำเภอเมืองน่าน ซึ่งพบว่าผลจาก แบบจำลองสอดคล้องกับสภาพน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในปี 2549 ที่
ได้จากการสำรวจพื้นที่ ร่วมกับข้อมูลแผนที่ภาพถ่าย ทางอากาศ ข้อมูลเส้นชั้นความสูง รวมทั้ง
ข้อมูลสภาพพื้นที่ จากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง แผนที่น้ำท่วมที่ได้จาก แบบจำลองสามารถใช้
เพื่อการวางแผน เตรียมการป้องกันและวางมาตรการบรรเทาอุทกภัยได้

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Buspakorn Khantithirakawee 2012: HEC-RAS Model Application for Flood Management in Upper Nan River Basin. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Kobkiat Pongput, Ph.D. 147 pages.

The hydraulic models of river systems from the Hydrologic Engineering Centres - River Analysis System (HEC-RAS) together with the HEC-GeoRas and ArcView GIS programs were applied to analyze the relationship between the flow and the water level for floods mapping and flood management planning in Muang Nan district. An extreme flood event in Nan River Basin which occurred in year 2006 was selected as a case study. In the study, some physical data were limited especially the aerial data and contours in the military area. However, the problem was solved by using GIS technique called mosaic and the Digital Elevation Model (DEM) to generate new contours. The generated contours were compared with field surveys and topography maps of the L7018 series. The results indicated that the area and depth of flooding from models were consistent with the evidences of flooding in year 2006 such as field survey, aerial photography data, contours in Muang Nan district, and information from related agencies. As a result of this study, the flood map derived from the model can be used for planning to provide protection and flood mitigation measures.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชัยวัฒน์ ขยันการนาวิ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ดอกเตอร์กอบเกียรติ ผ่องพุดิ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก ดอกเตอร์ณัฐ มาแจ้ง กรรมการที่ปรึกษา ดอกเตอร์อรุณนันท เล็กอุทัย ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกสถาบัน ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์กระทั่งแล้วเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นางสาวศิริลักษณ์ ดวงแก้ว ผู้ตรวจราชการกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย นายชวิษ เพชรวีระ ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จังหวัดน่าน คุณกมล พรหมสาขา ณ สกลนคร นักอศุนิยมวิทยาชำนาญการพิเศษ คุณสมควร ตันจาน นักอศุนิยมวิทยาชำนาญการ คุณวินัย วังพิมุค วิศวกรโยธาชำนาญการ กรมทรัพยากรน้ำ รองศาสตราจารย์ดอกเตอร์ชนพร สุปรียศิลป์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และคณะทำงาน โครงการพัฒนาระบบเครือข่ายจัดการภัยธรรมชาติน้ำท่วมฉับพลัน และดินถล่ม กลุ่มน้ำน่านตอนบนจังหวัดน่าน ทุกท่าน ที่มีส่วนในการสนับสนุน อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำ ให้ข้อคิด ตลอดจนข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ประกอบการศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณคำนิง เจริญบุญณะ ที่ให้ความอุปการะเรื่องที่พักอาศัย ตลอดจนญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

จากประสบการณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ทำให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้ถึงประโยชน์จากการทำงาน ที่จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่าย จึงจะประสบความสำเร็จด้วยดี ความสำเร็จและคุณค่าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา ซึ่งส่งเสริมให้การศึกษา ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ ความสามารถ และประสบผลสำเร็จในการศึกษาถึงขั้นนี้ได้

บุญปรกร ชันดิธีระกวี

เมษายน 2555

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	72
อุปกรณ์	72
วิธีการ	73
ผลและวิจารณ์	96
ผล	96
วิจารณ์	100
สรุปและข้อเสนอแนะ	103
สรุป	103
ข้อเสนอแนะ	104
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	106
ภาคผนวก	109
ภาคผนวก ก รายละเอียด โปรแกรม Sort Data	110
ภาคผนวก ข ตัวอย่าง Text File ข้อมูลนำเข้า ที่ใช้ในการจัดเรียงของหน่วยงานต่างๆ	113
ภาคผนวก ค ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและค่าระดับน้ำ สถานี N.1	131
ภาคผนวก ง ภาพสถานีวัดน้ำ สภาพแม่น้ำ และบริเวณ Flood Mark	142
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	147

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ในสมการ Continuity Equation	33
2	ค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ในสมการ Momentum Equation	34
3	ช่วงของอัตราการขยายตัว	39
4	สัมประสิทธิ์การไหลได้วิกฤตสำหรับการบีบแค้นเข้าและขยายออก	41
5	สัมประสิทธิ์แรงจูงสำหรับต่อม่อรูปร่างแบบต่างๆ	43
6	สัมประสิทธิ์ต่อม่อของ Yarnell, K, สำหรับต่อม่อรูปร่างต่างๆ	44
7	แสดงรายชื่อลุ่มน้ำย่อย	73
8	สภาพพื้นที่โดยสรุปของกลุ่มน้ำสาขาในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน	76
9	สรุปค่าเฉลี่ยรายปี ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน	78
10	ตารางแสดงค่า R^2 , RMSE และค่า EI (Calibration)	96
11	ตารางแสดงค่า R^2 , RMSE และค่า EI (Validation)	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก1 Form ในโปรแกรม SortData	111
ค1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – ปริมาณน้ำ สถานี N.1 หน้าสำนักงานป่าไม้ อ.เมือง จ.น่าน ความจุลำน้ำ 1,300 ลบ.ม./วินาที เริ่มอ่านค่าระดับน้ำที่ 70 เปอร์เซนต์ของความจุลำน้ำ	131

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา ลุ่มน้ำน่านส่วนบน	3
2	ผังไดอะแกรมแสดงตัวแปรในสมการพลังงาน	5
3	วิธีการแบ่งรูปตัดการไหลเพื่อการคำนวณค่านำพาการไหลในแบบจำลอง HEC-RAS	7
4	วิธีการทางเลือกในการแบ่งรูปตัดการไหล เพื่อการคำนวณค่านำพาการไหลในแบบจำลอง HEC-RAS	8
5	คำจำกัดความของลาดตลิ่ง(Bank Slope) สำหรับการคำนวณค่า Composite n_{ch}	9
6	ตัวอย่างการคำนวณค่าพลังงานเฉลี่ย	10
7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและระดับผิวน้ำ	16
8	การประยุกต์ใช้หลักโมเมนตัม	17
9	ปริมาตรควบคุมพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ที่มาของสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม	23
10	แสดงเทอมที่เกี่ยวข้องกับคำจำกัดความของแรงเนื่องจากความดัน	25
11	การไหลในทางน้ำและทุ่งน้ำท่วม	30
12	พารามิเตอร์ในสมการ Implicit Finite Difference Method	31
13	รูปแบบลักษณะการไหลรวมและการไหลแยกตามลำน้ำ	36
14	ตำแหน่งหน้าตัดที่สะพาน	40
15	ตำแหน่งหน้าตัดที่อยู่ใกล้และอยู่ด้านในสะพาน	41
16	ภาพของสะพานที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของบานระบายในแนวตั้งและแรงดันของการไหล	48
17	สัมประสิทธิ์การไหลสำหรับการไหลแบบ Sluice Gate	48
18	ภาพของสะพานที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของการไหลแบบจมและแรงดันของการไหล	49
19	ภาพของการไหลข้ามสะพานแบบฝายและแรงดัน	50
20	แฟกเตอร์ปรับลดการไหลแบบฝายสำหรับการไหลแบบจมน้ำ	51
21	ภาพทั่วไปของท่อลอดซึ่งสร้างลอดถนน	51
22	รูปแบบหน้าตัดที่ใช้ทั่วไปของท่อลอด	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ตำแหน่งหน้าตัดสำหรับการจำลองแบบท่อลอด	53
24	หน้าตัดที่ 2 ของท่อลอด	53
25	หน้าตัดที่ 3 ของท่อลอด	54
26	หน้าตัดของท่อลอดรูปวงกลมและท่อลอดเหลี่ยม	54
27	การไหลแบบเต็มท่อกับเส้นพลังงานและเส้นชลศาสตร์	55
28	ตัวอย่างของอาคารทางระบายน้ำล้นและฝาย	60
29	ตัวอย่างประตูระบายน้ำแบบยกบานแนวตั้งและประตูระบายน้ำแบบบานโค้ง	61
30	ตำแหน่งหน้าตัดสำหรับประตูระบายน้ำล้น และฝายสำหรับน้ำล้น	61
31	ตำแหน่งหน้าตัด 2 ของการจำลองประตูระบายน้ำล้น และฝายสำหรับน้ำล้น	62
32	ตำแหน่งหน้าตัด 3 ของการจำลองประตูระบายน้ำล้น และฝายสำหรับน้ำล้น	62
33	ตัวอย่างภาพประตูระบายน้ำบานโค้งกับฝายสันมนโอ๊ก	63
34	ตัวอย่างภาพประตูระบายน้ำแบบยกแนวตั้งกับสันฝายของทางน้ำล้น	64
35	ตัวอย่างประตูระบายน้ำบานโค้งภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบน้อยๆ	65
36	สัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝาย	66
37	ที่ตั้งและขอบเขตของกลุ่มน้ำน่าน	74
38	ที่ตั้งและขอบเขตของกลุ่มน้ำน่านส่วนบน	75
39	ผังแสดงนามสกุลข้อมูล Text File ของหน่วยงานต่างๆ	81
40	แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก	81
41	หน้าต่างหลักของโปรแกรม	82
42	แสดงการเลือกหน่วยงาน ประเภทข้อมูล และประเภทการจัดเรียง	83
43	หน้าต่างการจัดเรียงข้อมูลฝนของกรมอุตุฯ มหาวิทยาลัย	83
44	แสดงการเลือกไฟล์ข้อมูลฝนของกรมอุตุฯ มหาวิทยาลัยที่ต้องการจัดเรียง	84
45	หน้าต่างแจ้งเตือนให้เลือกสถานีที่ต้องการจัดเรียงข้อมูล	84
46	เลือกสถานีที่ต้องการจัดเรียง	85
47	แสดงภาพขณะที่โปรแกรมกำลังจัดเรียงข้อมูล	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
48	แสดงภาพเมื่อโปรแกรมจัดเรียงข้อมูลแล้วเสร็จ	86
49	แสดงภาพเมื่อโปรแกรมส่งข้อมูลที่จัดเรียงแล้วไปยังโปรแกรม Excel	86
50	แสดงภาพข้อมูลที่จัดเรียงแล้วในโปรแกรม Excel	87
51	แสดงหน้าต่างถามการทำงาน	87
52	แสดงการเลือกหน่วยงาน ประเภทข้อมูล และประเภทการจัดเรียง	88
53	หน้าต่างการจัดเรียงข้อมูลอัตราการไหลของกรมชลประทาน	88
54	แสดงการเลือกไฟล์ข้อมูลอัตราการไหลของกรมชลประทานที่ต้องการจัดเรียง	89
55	แสดงการพิมพ์จำนวนปีที่ต้องการจัดเรียงข้อมูล	89
56	แสดงภาพเมื่อโปรแกรมจัดเรียงข้อมูลแล้วเสร็จ	90
57	แสดงภาพเมื่อโปรแกรมส่งข้อมูลที่จัดเรียงแล้วไปยังโปรแกรม Excel	90
58	แนวคิดการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมด้วย HEC-RAS	91
59	ผังลำดับขั้นตอนสำหรับการใช้ HEC-GeoRas	92
60	ภาพแสดง พื้นที่บางส่วน ที่ไม่มีข้อมูล DEM บริเวณเนิน 316 และบริเวณสนามบิน	93
61	ขอบเขตการจัดทำแบบจำลอง	94
62	ภาพแสดง Calibration และ Validation ที่สถานี N.1	97
63	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำเทียบกับเวลา	98
64	แผนที่น้ำท่วมปี พ.ศ. 2549 เทียบกับบริเวณที่เกิดน้ำท่วมจริงในอดีต	99
65	แจ้งเตือนผู้ใช้งานเมื่อข้อมูลไม่สมบูรณ์หรือรูปแบบข้อมูลไม่ตรงกับความต้องการของโปรแกรม	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	Text File ข้อมูลอัตราการไหล *. <i>qdai</i>	114
ข2	Text File ข้อมูลระดับน้ำ *. <i>DAI</i>	116
ข3	Text File ข้อมูลระดับน้ำและอัตราการไหล *. <i>DAT</i>	118
ข4	Text File ข้อมูลฝน *. <i>DAI</i>	122
ข5	Text File ข้อมูลฝน *. <i>xls</i>	124
ข6	Text File อัตราการไหล *. <i>csv</i>	125
ข7	Text File ข้อมูลระดับน้ำ *. <i>csv</i>	127
ข8	Text File ข้อมูลฝน *. <i>csv</i>	129
ง1	สถานีวัดน้ำ N.64	143
ง2	แนวแม่น้ำบริเวณ N.64	143
ง3	สถานีวัดน้ำ N.1	144
ง4	แนวแม่น้ำบริเวณ N.1	144
ง5	สถานีวัดน้ำ N.13A	145
ง6	แนวแม่น้ำบริเวณ N.13A	145
ง7	เสาวัดระดับน้ำท่วมบริเวณแยกท่าลี่	146
ง8	สภาพป่าไม้ที่ถูกทำลายบริเวณต้นน้ำ	146

การประยุกต์แบบจำลอง HEC-RAS เพื่อการจัดการน้ำท่วมในลุ่มน้ำน่านส่วนบน

HEC-RAS Model Application for Flood Management in Upper Nan River Basin

คำนำ

เหตุการณ์อุทกภัย ในภาคต่างๆของประเทศไทยนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ราบติดกับภูเขาสูง ซึ่งในจังหวัดที่ประสบปัญหาดังกล่าวที่ผ่านมาคือ จังหวัดน่าน โดยเหตุการณ์ที่รุนแรงได้เกิดขึ้นในระหว่างวันที่ 20 – 25 สิงหาคม ปี พ.ศ. 2549 น้ำป่าได้ไหลหลากและไหลสั่นตลิ่ง เข้าท่วมบ้านเรือนประชาชนเกิดภาวะวิกฤตในหลายอำเภอรวมไปถึงตัวอำเภอเมืองน่าน อุทกภัยครั้งนี้ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของทางราชการ และราษฎรมากที่สุด

ปัจจุบันได้มีการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ศึกษาในการแก้ไขปัญหา น้ำท่วมอย่างแพร่หลายซึ่งช่วยให้ผู้บริหารหรือผู้เกี่ยวข้องตัดสินใจในการบริหารจัดการอุทกภัยน้ำท่วมได้อย่างสมเหตุสมผล ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (HEC-RAS) มาช่วยศึกษาวิเคราะห์และสร้างแผนที่น้ำท่วมในจังหวัดน่าน

อย่างไรก็ตามหากมีการนำแผนที่น้ำท่วมไปใช้เพื่อการจัดการ การวางแผน สำหรับบรรเทา และแก้ไขปัญหาอุทกภัย ทำให้ราษฎรมีความตื่นตัว และช่วยกันเฝ้าระวังอุทกภัย ที่จะเกิดขึ้นใน บริเวณลุ่มน้ำน่านได้

วัตถุประสงค์

การวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ เข้ามาช่วยในการบริหารจัดการน้ำท่วมหรืออุทกภัย โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยครั้งนี้ ดังนี้

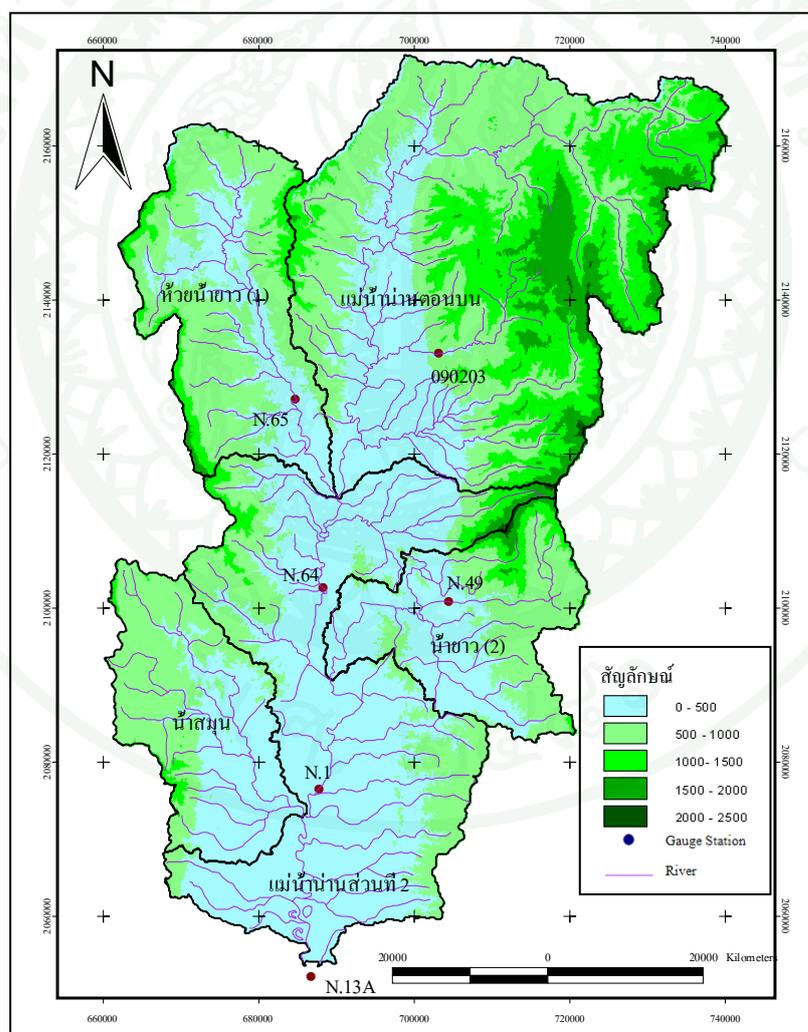
1. เพื่อวางแผนการเตือนภัย เพื่อบรรเทาอุทกภัยน้ำท่วม
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและค่าระดับน้ำ
3. เพื่อจัดทำแผนที่น้ำท่วม ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยเฉพาะอำเภอเมืองน่าน
4. พัฒนาโปรแกรมช่วยในการเตรียมข้อมูลนำเข้า

ขอบเขตงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินการตามขอบเขต ดังนี้

ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาวิจัยสำหรับพื้นที่จังหวัดน่านที่เป็นลุ่มน้ำน่านส่วนบน โดยครอบคลุมลุ่มน้ำสาขา 5 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ห้วยน้ำยาว (1) แม่น้ำน่านตอนบน น้ำยาว (2) น้ำสมุน และแม่น้ำน่าน ส่วนที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา ลุ่มน้ำน่านส่วนบน

การตรวจเอกสาร

แบบจำลอง HEC-RAS

วิษุวัตก์ (2553) แบบจำลอง HEC-RAS เป็นแบบจำลองทางด้านอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic) ประเภท public domain ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Hydrologic Engineering Center ของ US Army Corp of Engineers River Analysis System ประเทศสหรัฐอเมริกา ในโครงการ Nextgen (Next Generation) แต่เดิมใช้แบบจำลอง HEC-2 ซึ่งเขียนขึ้นด้วยภาษาฟอร์แทรน ซึ่งมีรูปแบบการรับเข้าของข้อมูล (Input Data) ที่ยุ่งยาก ต่อมาได้มีการพัฒนาเป็น HEC-RAS ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นโดยใช้งานร่วมกับโปรแกรมปฏิบัติการสำเร็จรูป Window 95/98/2000/ME/XP ได้

สำหรับการวิเคราะห์การไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (unsteady flow) ในแบบจำลอง HEC-RAS นั้นได้ทำการปรับปรุงโดยการผนวกแบบจำลองย่อย UNET (Unsteady Flow in a Full Network of Channels) ซึ่งเป็นแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบ unsteady พัฒนาขึ้นโดย Barkau (1982) โดยได้ให้นิยามของกลุ่มสมการเซนวิแนนท์ใหม่ ซึ่งทำให้ง่ายในการแก้สมการโดยรวมเทอมของ convective สำหรับทุ่งน้ำท่วม (floodplain) และทางน้ำไว้ด้วยกัน ด้วยค่าของแฟกเตอร์การกระจายความเร็ว นอกจากนี้ ยังได้แทนที่เทอมของความลาดชันของแรงเสียดทาน (bed resistance term) ด้วยเทอมของ equivalent force นอกจากนี้แบบจำลองย่อย UNET ยังสามารถประยุกต์ใช้กับเงื่อนไขขอบเขตภายนอก และภายในของแบบจำลอง ได้แก่ กราฟปริมาตรการไหลหรือระดับน้ำ ระดับการเปิดของบานประตูระบายน้ำ ทางน้ำสั้นแบบไม่มีอาคารบังค้ำน้ำ สะพาน ท่อลอด และคันกั้นน้ำ สำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบ Unsteady นั้น แบบจำลอง HEC-RAS เริ่มใช้ในฉบับ (version) 3.0 ขึ้นไป นอกจากนี้ ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา (time-series) ของค่าระดับผิวน้ำจากผลการคำนวณด้วย แบบจำลอง HEC-RAS ยังสามารถนำเข้าสู่โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ ArcView GIS โดยผ่านทางแบบจำลอง HEC-GeoRas เพื่อใช้ในการจัดทำแผนที่น้ำท่วม (flood inundation map) ได้อีกด้วย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

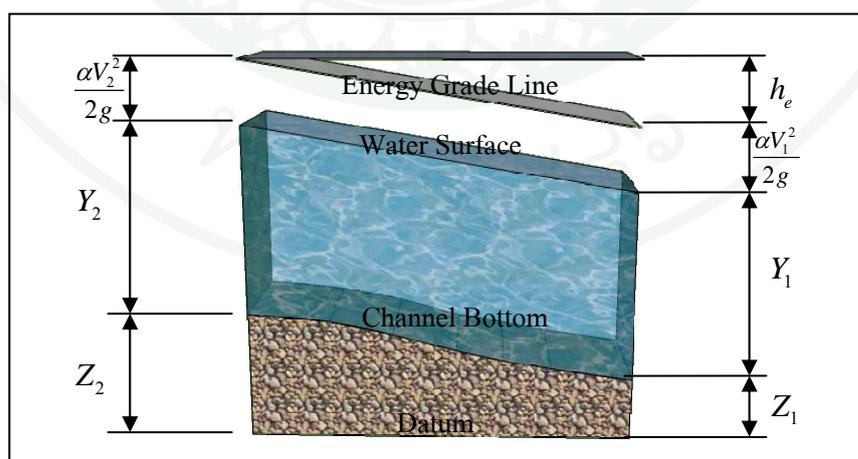
สมการสำหรับการคำนวณโปรไฟล์ผิวน้ำ

การคำนวณโปรไฟล์ของผิวน้ำในแต่ละหน้าตัดการไหล จะคำนวณจากสมการพลังงาน (Energy Equation) โดยวิธีการที่ใช้คำนวณคือ Standard Step Method รูปแบบของสมการพลังงานที่ใช้คำนวณ ได้แก่

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

โดย	Z_1, Z_2	= elevation of the main channel inverts
	Y_1, Y_2	= depth of water at cross sections
	V_1, V_2	= average velocities (total discharge/ total flow area)
	α_1, α_2	= velocity weighting coefficients
	g	= gravitational acceleration
	h_e	= energy head loss

ผังไดอะแกรมแสดงตัวแปรในสมการพลังงาน แสดงไว้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผังไดอะแกรมแสดงตัวแปรในสมการพลังงาน

การสูญเสียความสูงพลังงาน (h_e) ระหว่างรูปตัดสองรูปตัด ประกอบด้วย การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน และการสูญเสียเนื่องจากการลดลงหรือการขยายตัวของหน้าตัดการไหล สมการของการสูญเสียความสูง พลังงานระหว่างรูปตัดการไหล ได้แก่

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

โดย L = discharge weighted reach length
 \bar{S}_f = representative friction slope between two sections
 C = expansion or contraction loss coefficient

ค่า discharge weighted reach length, L , คำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (3)$$

โดย L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = cross section reach lengths specified for flow in the left overbank, main channel, and right overbank, respectively
 $\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = arithmetic average of the flows between sections for the left overbank, main channel, and right overbank, respectively

การแบ่งหน้าตัดการไหลสำหรับการคำนวณค่านำพาการไหล (Conveyance)

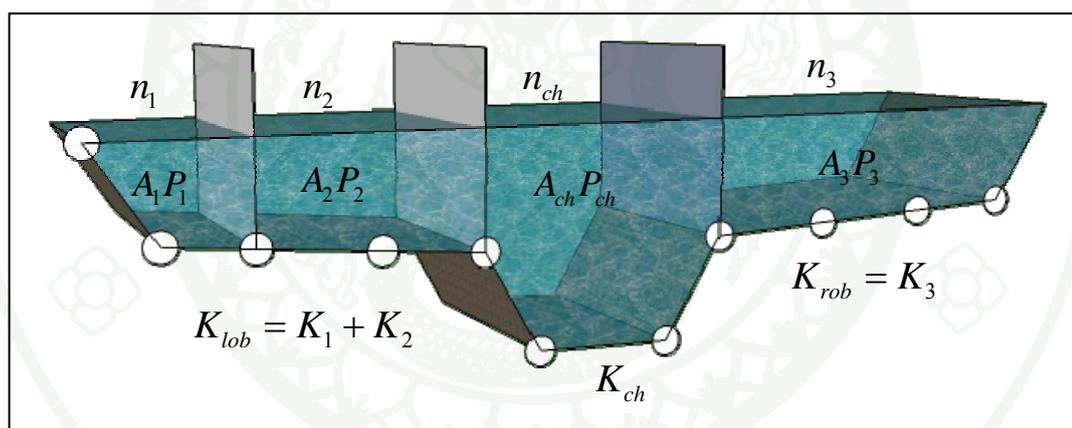
การพิจารณาค่านำพาการไหลทั้งหมดและค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วการไหลสำหรับแต่ละหน้าตัดการไหล จะดำเนินการโดยการแบ่งการไหลออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อที่จะทำให้ความเร็วการไหลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ วิธีการที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS คือการแบ่งการไหลในพื้นที่ overbank ตามการเปลี่ยนแปลงของค่า n ที่ได้ป้อนเข้าไปในแต่ละหน้าตัดการไหล (ตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า n) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3 ค่านำพาการไหล (conveyance) จะถูกคำนวณจากสมการแมนนิงส์คือ

$$Q = K S_f^{1/2} \quad (4)$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (5)$$

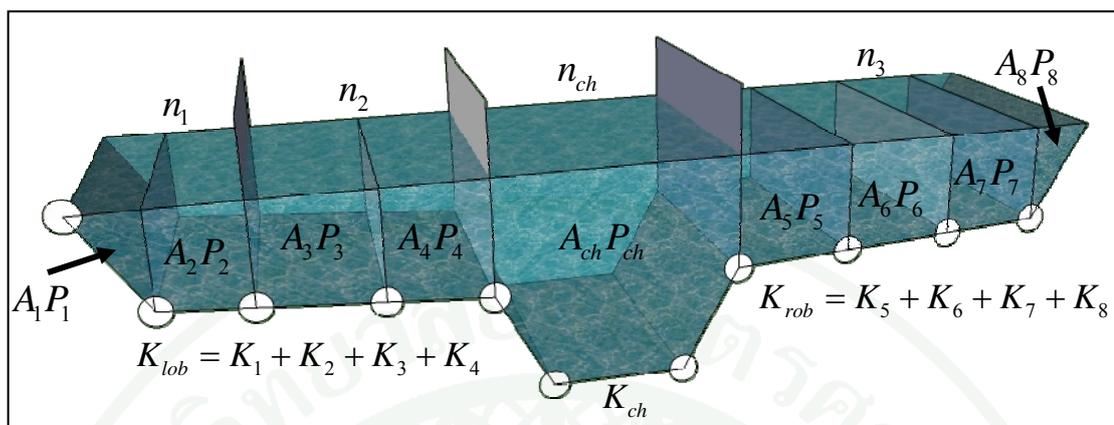
โดย K = conveyance for subdivision
 n = Manning's roughness coefficient for subdivision
 A = flow area for subdivision
 R = hydraulic radius for subdivision (area/ wetted perimeter)

โปรแกรมจะทำการคำนวณค่านำพาการไหลสำหรับ overbank ฟุ้งชายและฟุ้งขวาโดยการรวมค่านำพาการไหลย่อย ๆ ในแต่ละฟุ้งเข้าด้วยกัน สำหรับค่านำพาการไหลในลำน้ำหลักโดยปกติจะมีเพียงค่าเดียว ค่านำพาการไหลทั้งหมดของรูปตัดการไหล สามารถหาได้โดยการรวมค่านำพาการไหลทั้งหมดเข้าด้วยกัน



ภาพที่ 3 วิธีการแบ่งรูปตัดการไหลเพื่อการคำนวณค่านำพาการไหลในแบบจำลอง HEC-RAS

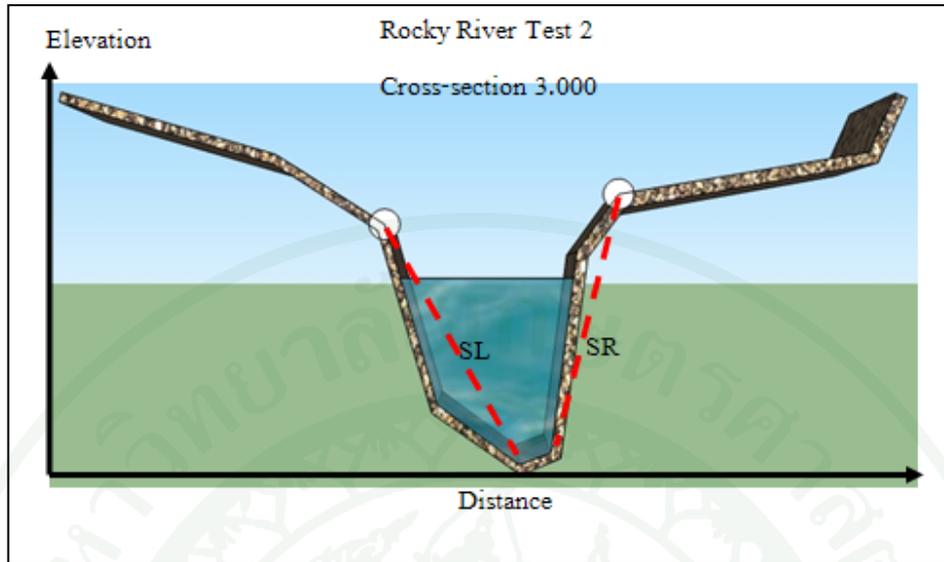
นอกจากการคำนวณค่านำพาการไหลตามวิธีดังที่กล่าวมาแล้ว ยังมีทางเลือกในการคำนวณค่าดังกล่าวในแบบจำลอง HEC-RAS ทางเลือกดังกล่าวจะทำการคำนวณค่านำพาการไหลย่อยระหว่างทุก ๆ จุดใน overbank (ภาพที่ 4) ค่านำพาการไหลย่อยเหล่านี้จะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อหาค่านำพาการไหลรวมในแต่ละ overbank วิธีการหาค่านำพาการไหลวิธีนี้ เป็นวิธีการที่ถูกใช้ในแบบจำลอง HEC-2 แต่ยังคงเก็บไว้ในแบบจำลอง HEC-RAS เพื่อให้สามารถศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทั้งสองได้ โดยทั่วไปแล้ววิธีคำนวณค่านำพาการไหลวิธีแรก จะให้ค่านำพาการไหลที่ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้จากวิธีที่สอง ที่ระดับผิวน้ำเดียวกัน



ภาพที่ 4 วิธีการทางเลือกในการแบ่งรูปตัดการไหล เพื่อการคำนวณค่านำพาการไหลในแบบจำลอง HEC-RAS

ค่า Composite Manning's n สำหรับลำน้ำหลัก

การไหลในลำน้ำหลักจะไม่ถูกแบ่งเป็นส่วนย่อย ยกเว้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์แมนนิงภายในลำน้ำหลัก แบบจำลอง HEC-RAS จะทำการตรวจสอบว่าสามารถทำการแบ่งค่าสัมประสิทธิ์แมนนิงของหน้าตัดในลำน้ำหลักได้หรือไม่ ถ้าไม่สามารถทำได้ โปรแกรมจะคำนวณค่า n สำหรับลำน้ำหลักเพียงค่าเดียว โปรแกรมจะทำการพิจารณาว่าส่วนของลำน้ำหลักสามารถที่จะแบ่งเป็นส่วนย่อยได้หรือไม่ หรือสามารถใช้ค่า Composite Manning's n ได้หรือไม่ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ว่าลำน้ำหลักมีค่า side slope ชันกว่า 5H : 1V และค่า n สำหรับลำน้ำหลักมีมากกว่าหนึ่งค่า ซึ่งถ้าเข้าเกณฑ์ดังกล่าว โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า composite roughness n_{ch} สำหรับใช้คำนวณการไหลในลำน้ำหลัก ค่า side slope ที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS หมายถึงอัตราส่วนของค่าระยะทางแนวราบระหว่างจุดที่มีค่า n แตกต่างกันในลำน้ำหลักต่อค่าต่างระดับของทั้งสองจุด (ดูค่า SL และ SR ในภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 จำจำกัดความของลาดตลิ่ง(Bank Slope) สำหรับการคำนวณค่า Composite n_c

ในการคำนวณค่า n_c ลำน้ำหลักจะถูกแบ่งออกเป็น N ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนจะทราบค่าความยาวของเส้นขอบเปียก (wetted perimeter P_i) และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n_i

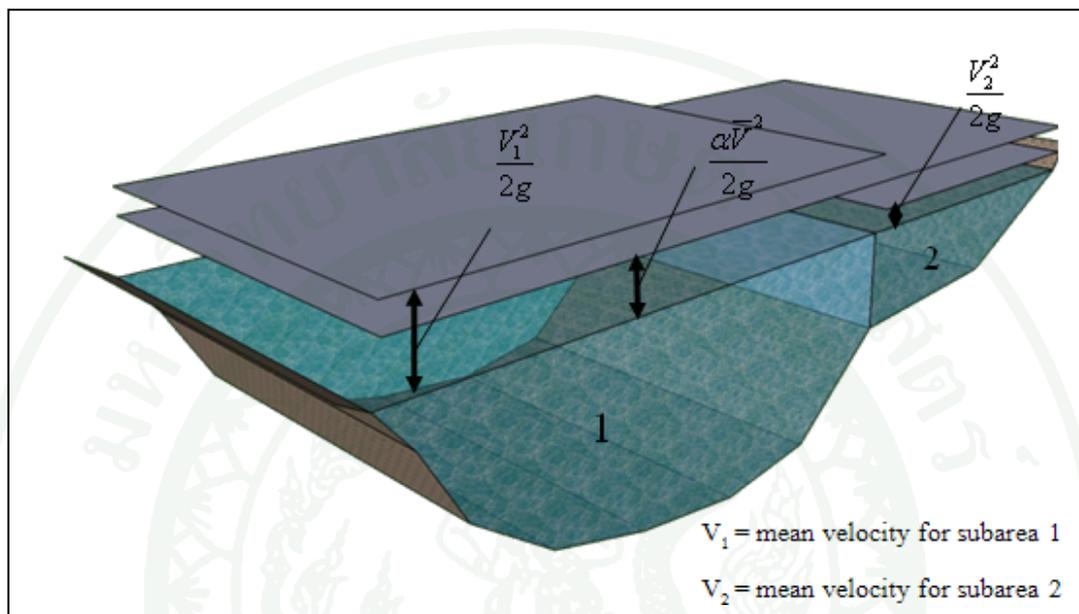
$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} \quad (6)$$

- โดย n_c = composite or equivalent coefficient of roughness
 P = wetted perimeter of entire main channel
 P_i = wetted perimeter of subdivision I
 n_i = coefficient of roughness for subdivision I

การประเมินค่าความสูงพลังงานจลน์เฉลี่ย

เนื่องจากแบบจำลอง HEC-RAS เป็นแบบจำลองการไหลแบบทิศทางเดียว (One-Dimensional Flow) ในแต่ละหน้าตัดการไหลโปรแกรมจะทำการคำนวณผิวน้ำหรือหรือพลังงานเพียงค่าเดียวเท่านั้น โดยค่าพลังงานจะได้มาจากการคำนวณพลังงานการไหลถ่วงน้ำหนัก (flow

weighted energy) จากพื้นที่ย่อยของรูปตัดการไหล (left overbank, main channel, and right overbank) ภาพที่ 6 แสดงการคำนวณพลังงานเฉลี่ยของรูปตัดการไหลที่ประกอบด้วยลำน้ำหลักและ overbank ฝั่งขวา



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณค่าพลังงานเฉลี่ย

ในการคำนวณค่าพลังงานเฉลี่ย มีความจำเป็นต้องหาค่า velocity head weighting coefficient alpha ซึ่ง ค่า Alpha คำนวณจากสมการด้านล่าง

Mean Kinetic Energy Head = Discharge – Weighted Velocity Head

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{2g \left[Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g} \right]}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2} \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2} \quad (9)$$

โดยทั่วไปแล้ว

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2} \quad (10)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วการไหล, α , จะถูกคำนวณบนพื้นฐานของค่านำพาการไหล (conveyance) ในพื้นที่ การไหลทั้งสามส่วน คือ overbank ฝั่งซ้าย, overbank ฝั่งขวา และลำน้ำหลัก ซึ่งสามารถเขียนสมการในรูป ของค่า conveyance และพื้นที่ได้ดังนี้

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3} \quad (11)$$

โดย A_t = total flow area of cross section
 A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} = wetted perimeter of entire main channel
 K_t = total conveyance of cross section
 K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} = conveyances of left overbank, main channel and right overbank, respectively

การประเมินค่าสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน

ค่าการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในแบบจำลอง HEC-RAS จะถูกประเมินในรูปของ ผลคูณระหว่าง \bar{S}_f และ L (สมการที่ 2) โดยค่า \bar{S}_f คือค่า representative friction slope ของช่วงลำน้ำและ L มีความหมายตามสมการที่ 3 ค่าความลาดของแรงเสียดทาน (slope of energy grade line) ที่แต่ละหน้าตัดการไหล คำนวณได้จากสมการแมนนิ่ง ดังนี้

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (12)$$

ค่า representative reach friction slope ในแบบจำลอง HEC-RAS ยังมีให้เลือกอีกหลายรูปแบบ ดังนี้

Average Conveyance Equation

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (13)$$

Average Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \quad (14)$$

Geometric Mean Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}} \quad (15)$$

Harmonic Mean Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}} \quad (16)$$

สมการที่ 13 เป็นสมการหลัก ซึ่งจะถูกใช้ในโปรแกรมโดยอัตโนมัติ ยกเว้นว่าผู้ใช้โปรแกรมได้เลือกสมการอื่นในขั้นตอนการ input ข้อมูล

การประเมินค่าสูญเสียเนื่องจากการลดลงและการขยายตัวของหน้าตัดการไหล

ค่า Contraction และ Expansion losses ในแบบจำลอง HEC-RAS จะประเมินได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (17)$$

โดย C = expansion or contraction loss coefficient

โปรแกรมจะถือว่ามีการลดลงของหน้าตัดการไหลเมื่อค่า velocity head ทางด้านท้ายน้ำมีค่ามากกว่าค่า velocity head ทางด้านเหนือน้ำ ในทำนองเดียวกันเมื่อค่า velocity head ทางด้านเหนือน้ำมีค่ามากกว่า velocity head ทางด้านท้ายน้ำ โปรแกรมจะถือว่ามีการขยายตัวของหน้าตัดการไหล

ขั้นตอนการคำนวณโปรไฟล์ผิวน้ำ

ระดับของผิวน้ำ ณ หน้าตัดการไหลที่ยังไม่ทราบค่าจะหาได้โดยการทำซ้ำสมการที่ 1 และสมการที่ 2 โดยมีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

1. สมมติระดับผิวน้ำที่หน้าตัดการไหลด้านเหนือน้ำ (หรือที่หน้าตัดการไหลด้านท้ายน้ำ) ในกรณีที่ต้องการคำนวณโปรไฟล์ผิวน้ำแบบ supercritical flow)
2. ทำการคำนวณค่า total conveyance and velocity head ตามค่าระดับผิวน้ำที่ได้สมมติขึ้น
3. จากค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณค่า \bar{S}_f แล้วทำการแก้สมการที่ 2 เพื่อหาค่า h_c
4. ทำการแก้สมการที่ 1 โดยใช้ค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 และ 3 เพื่อหาค่า WS2
5. เปรียบเทียบค่า WS2 ที่คำนวณได้กับค่าที่สมมติขึ้นในข้อ 1 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 จนกระทั่งค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าที่สมมุติขึ้นน้อยกว่า 0.003 เมตร หรือตามที่ถูก กำหนดโดยผู้ใช้งาน โปรแกรม

เกณฑ์ที่ใช้ในการสมมุติค่าระดับผิวน้ำในการคำนวณแต่ละรอบจะแตกต่างกันไป ในรอบการคำนวณแรก โปรแกรมจะทำการโปรเจกต์ผิวน้ำจากรูปตัดการไหลก่อนหน้ามายังรูปตัดการไหลปัจจุบัน ในรอบการ คำนวณที่สอง ระดับผิวน้ำจะถูกกำหนดให้เท่ากับระดับผิวน้ำสมมุติบวก 70% ของค่า error จากการ คำนวณในรอบแรก นั่นคือ ระดับผิวน้ำใหม่ = ระดับผิวน้ำสมมุติ + 0.7*(ระดับผิวน้ำที่คำนวณได้ - ระดับผิวน้ำสมมุติ) ในรอบการคำนวณที่ 3 และรอบการคำนวณถัดไปจะใช้วิธี Secant method ในการหา อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างระหว่างค่าระดับที่คำนวณได้กับค่าที่สมมุติในรอบการคำนวณ สองครั้งก่อนหน้า สมการสำหรับ Secant method คือ

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} * Err_Assum / Err_Diff \quad (18)$$

โดย WS_I = the new assumed water surface
 WS_{I-1} = the previous iteration's assumed water surface
 WS_{I-2} = the assumed water surface from two trials previous
 Err_{I-2} = the error from two trials previous (computed water surface minus assumed from the I-2 iteration)
 Err_Assum = the difference in assumed water surfaces from the previous two trials.

$$Err_Assum = WS_{I-2} - WS_{I-1}$$

Err_Diff = the assumed water surface minus the calculated water surface from the previous iteration ($I-1$), plus the error from two trials previous (Err_{I-2}).

$$Err_Diff = WS_{I-1} - WS_Calc_{I-1} + Err_{I-2}$$

ค่าแตกต่างจากรอบการคำนวณหนึ่งกับรอบการคำนวณถัดไปจะถูกจำกัดไว้ที่ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของค่า ความลึกที่สมมุติไว้ในรอบการคำนวณก่อนหน้า ทำให้ secant method มีโอกาสที่จะใช้ไม่ได้ถ้าค่า Err_Diff มีค่าน้อยเกินไป โดยถ้าค่า Err_Diff มีค่าน้อยกว่า 0.01 โปรแกรมก็จะงดใช้ secant method ซึ่งถ้า เหตุการณ์นี้เกิดขึ้น โปรแกรมก็จะทำการคำนวณระดับผิวน้ำใหม่ โดยการนำค่าเฉลี่ยระหว่างค่าสมมุติและค่าที่คำนวณได้ในรอบการคำนวณก่อนหน้ามาใช้ในการคำนวณในรอบปัจจุบัน

นอกจากนั้นจำนวนรอบการคำนวณสำหรับการทำให้ผิวน้ำสมดุลจะถูกกำหนดให้ไม่เกิน 20 รอบ ถ้าหาก โปรแกรมไม่สามารถทำให้ผิวน้ำสมดุลได้ภายในรอบการคำนวณที่กำหนด โปรแกรมจะทำการคำนวณความลึกวิกฤติ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับจะใช้ค่าใดเป็นคำตอบ

การกำหนดค่าความลึกวิกฤติ (Critical Depth)

ความลึกวิกฤติสำหรับหน้าตัดการไหลจะถูกกำหนดขึ้น ถ้าหากเงื่อนไขดังต่อไปนี้เกิดขึ้น

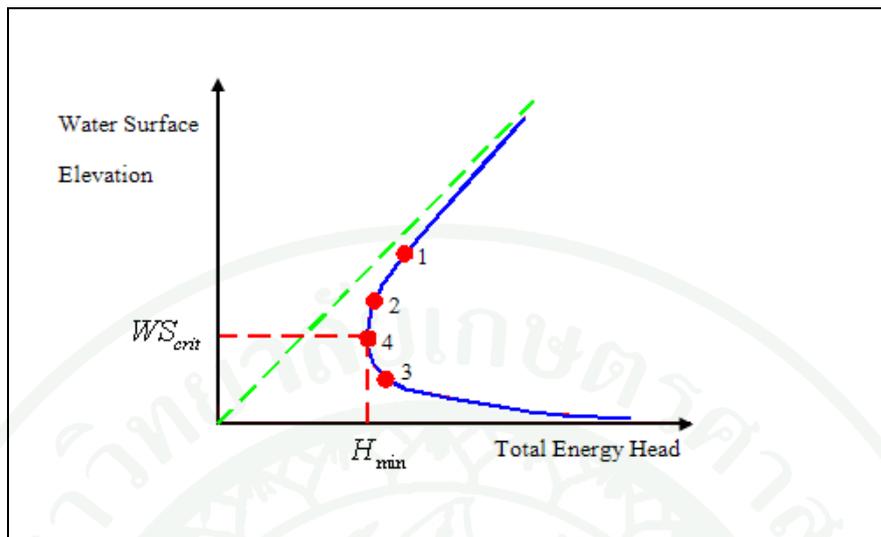
1. มีการกำหนดให้โปรแกรมคำนวณแบบ supercritical flow
2. ผู้ใช้โปรแกรมกำหนดให้คำนวณค่าความลึกวิกฤติ
3. หน้าตัดการไหลที่พิจารณาเป็นหน้าตัดการไหลภายนอกขอบเขต (external boundary condition) และจะต้องทำการหาความลึกวิกฤติเพื่อให้แน่ใจว่า boundary condition ที่ผู้ใช้ได้ ป้อนในแบบจำลองถูกต้อง
4. การตรวจสอบค่า Froude number สำหรับการไหลแบบ subcritical พบว่าจะต้องทำการคำนวณค่าความลึกวิกฤติเพื่อยืนยันกฎการไหลที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำที่สมดุล
5. โปรแกรมไม่สามารถ balance สมการพลังงานให้อยู่ภายในค่า tolerance ที่กำหนด ถึงแม้ว่าจำนวนรอบการคำนวณจะถึงค่าสูงสุดที่โปรแกรมกำหนดไว้แล้ว

ความสูงพลังงานทั้งหมดสำหรับหน้าตัดการไหล ถูกกำหนดโดยสมการ

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (19)$$

โดย H = total energy head
 WS = water surface elevation
 $\frac{\alpha V^2}{2g}$ = velocity head

ค่าระดับผิวน้ำวิกฤติเป็นค่าระดับซึ่งพลังงานการไหลรวมมีค่าต่ำสุด (พลังงานจำเพาะต่ำสุด สำหรับหน้าตัดการไหลนั้น ๆ ที่ปริมาณการไหลที่กำหนด) ค่าระดับวิกฤติจะถูกคำนวณโดยการทำซ้ำสมการที่ 19 โดย สมมุติค่า WS แล้วคำนวณค่า H จนกระทั่งได้ค่า H ต่ำสุด



ภาพที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและระดับผิวน้ำ

สมการพลังงานจะไม่สามารถใช้ได้ ในกรณีที่ผิวน้ำตัดผ่านความลึกวิกฤติ นอกจากนั้น สมการพลังงานจะสามารถใช้ได้กับการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป (gradually varied flow) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงการไหลจากสภาวะการไหลแบบ subcritical ไปเป็นการไหลแบบ supercritical หรือจากแบบ supercritical ไปเป็นแบบ subcritical เป็นการเปลี่ยนแปลงการไหลอย่างทันทีทันใด ตัวอย่างที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลแบบทันทีทันใดได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความลาด ท้องน้ำ การบีบอัดการไหลเนื่องจากสะพาน บริเวณอาคารน้ำตกและฝายทดน้ำ และบริเวณจุดบรรจบของน้ำ เป็นต้น ในบางกรณีตัวอย่างที่กล่าวถึงสามารถใช้สมการ empirical ในการคำนวณการไหลได้ เช่นในกรณีของอาคารน้ำตกและฝายทดน้ำ แต่ในบางกรณีมีความจำเป็นต้องใช้สมการโมเมนตัมในการหาคำตอบ

ภายในแบบจำลอง HEC-RAS สมการโมเมนตัมสามารถนำมาใช้ได้ ในกรณี เช่น มีการเกิด hydraulic jump, เกิดการไหลแบบ low flow hydraulics บริเวณสะพาน และบริเวณจุดบรรจบของลำน้ำ ซึ่งสมการโมเมนตัมนี้ได้มาจากกฎข้อที่สองของนิวตัน ดังนี้

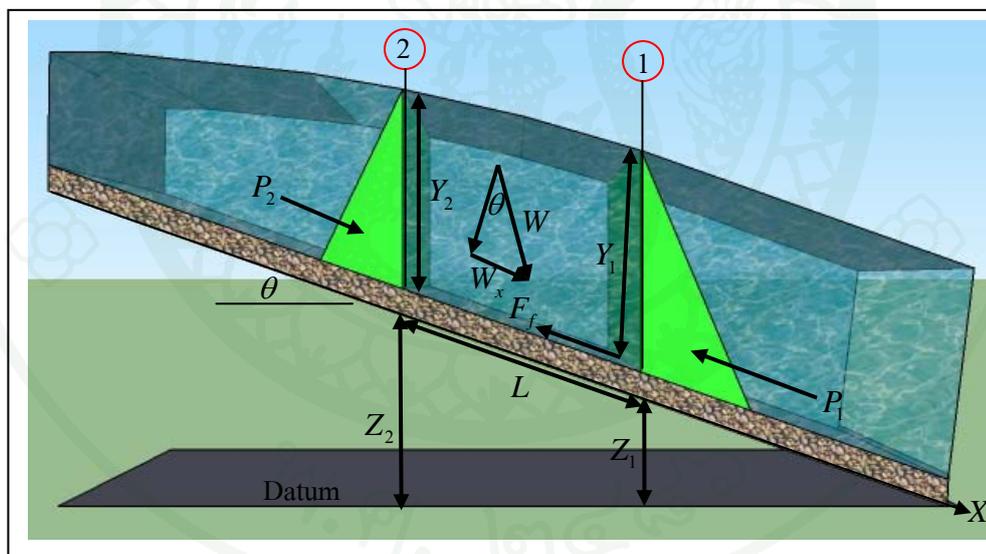
$$\text{Force} = \text{Mass} \times \text{Acceleration (change in momentum)}$$

$$\Sigma F_x = ma \quad (20)$$

เมื่อนำกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันมาใช้กับก้อนน้ำที่ถูกปิดล้อมโดยหน้าตัดสองหน้าตัดที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ตามภาพที่ 8 จะสามารถเขียนสมการสำหรับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมที่หนึ่งหน่วยเวลาได้ดังนี้

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (21)$$

- โดย P = Hydrologic pressure force at locations 1 and 2.
 W_x = Force due to the weight of water in the X direction.
 F_f = Force due to external friction losses from 2 and 1.
 Q = Discharge
 ρ = Density of water
 ΔV_x = Change in velocity from 2 to 1, in the X direction.



ภาพที่ 8 การประยุกต์ใช้หลักโมเมนตัม

แรงเนื่องจากความดันน้ำสถิต (Hydrostatic Pressure Forces)

แรงในแนวแกน X เนื่องจากความดันน้ำสถิต ได้แก่

$$P = \gamma A \bar{Y} \cos \theta \quad (22)$$

สมมติฐานของการกระจายความดันสถิตสามารถใช้ได้สำหรับความลาดเทที่น้อยกว่า 1:10 โดยค่า $\cos \theta$ ที่ความลาดเท 1:10 (ประมาณ 6 องศา) มีค่าเท่ากับ 0.995 และเนื่องจากค่าความลาดของท้องน้ำโดยปกติจะมีค่าน้อยกว่า 1:10 มาก จึงสามารถกำหนดค่า $\cos \theta$ ให้เท่ากับ 1.0 ได้ (Chow, 1959) ดังนั้นแรงดันเนื่องจากค่าความดันสถิตที่หน้าตัด 1 และ 2 คือ

$$P_1 = \gamma A_1 \bar{Y}_1 \quad (23)$$

$$P_2 = \gamma A_2 \bar{Y}_2 \quad (24)$$

โดย γ = Unit weight of water
 A = Wetted area of the cross section at locations 1 and 2
 \bar{Y} = Depth measured from water surface to the centroid of the cross sectional area at locations 1 and 2.

แรงเนื่องจากน้ำหนักของน้ำ (Weight of Water Force)

น้ำหนักของน้ำ = (น้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำ) \times (ปริมาตรของน้ำ)

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \quad (25)$$

$$W_x = W \times \sin \theta \quad (26)$$

$$\sin \theta = \frac{Z_2 - Z_1}{L} = S_0 \quad (27)$$

$$W_x = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) LS_0 \quad (28)$$

โดย L = Distance between sections 1 and 2 along the X axis
 S_0 = Slope of the channel, based on mean bed elevations
 Z_i = Mean bed elevation at locations 1 and 2

แรงเนื่องจากความเสียดทานภายนอก (Force of External Friction)

$$F_f = \tau \bar{P}L \quad (29)$$

โดย τ = Shear stress
 \bar{P} = Average wetted perimeter between sections 1 and 2

$$\tau = \bar{R} \bar{S}_f \quad (30)$$

โดย \bar{R} = Average hydraulic radius ($R = A/P$)
 \bar{S}_f = Slope of the energy grade line (friction slope)

$$F_f = \gamma \frac{\bar{A}}{P} \bar{S}_f \bar{P}L \quad (31)$$

$$F_f = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \bar{S}_f L \quad (32)$$

Mass times Acceleration

$$ma = Q \rho \Delta_x \quad (33)$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \text{ และ } \Delta V_x = (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2)$$

$$ma = \frac{Q\gamma}{g} (\beta_1 V_1 + \beta_2 V_2) \quad (34)$$

โดย β = momentum coefficient that accounts for a varying velocity distribution in irregular channels

แทนค่าตัวแปรทั้งหมดลงในสมการที่ 21 และสมมติว่า Q สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้จากหน้าตัด 2 ถึงหน้าตัด 1

$$\gamma A_2 \bar{Y}_2 - \gamma A_1 \bar{Y}_1 + \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) LS_0 - \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L\bar{S}_f = \frac{Q_1 \gamma}{g} \beta_1 V_1 - \frac{Q_2 \gamma}{g} \beta_2 V_2 \quad (35)$$

$$\frac{Q_2 \beta_2 V_2}{g} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) LS_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L\bar{S}_f = \frac{Q_1 \beta_1 V_1}{g} + A_1 \bar{Y}_1 \quad (36)$$

$$\frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) LS_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L\bar{S}_f = \frac{Q_1^2 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1 \quad (37)$$

สมการที่ 37 เป็นรูปแบบฟังก์ชันของสมการโมเมนต์ดัมที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS ซึ่ง การประยุกต์ใช้สมการโมเมนต์ดัมภายในแบบจำลอง HEC-RAS ทุกครั้ง จะ derive มาจากสมการที่ 37

การดึงของอากาศในกระแสน้ำที่มีความเร็วสูง (Air Entrainment in High Velocity Streams)

สำหรับทางน้ำที่ความเร็วการไหลมีค่าสูง ผิวน้ำอาจจะยกตัวสูงกว่าที่คาดไว้เล็กน้อย เนื่องจากการดึงของอากาศ ถึงแม้ว่าในแม่น้ำส่วนใหญ่การดึงของอากาศจะไม่มีผลสำคัญ แต่อาจมีความสำคัญสำหรับการไหลแบบ highly supercritical (ค่า Froude number มากกว่า 1.6) แบบจำลอง HECRAS ได้นำผลกระทบเนื่องจากการดึงของอากาศมาคิดไว้ในแบบจำลอง โดยใช้สมการสองสมการ ดังต่อไปนี้ (EM 1110-2-1601, plate B-50)

สำหรับการไหลที่มีค่า Froude number น้อยกว่าหรือเท่ากับ 8.2

$$D_a = 0.906D(e)^{0.061F} \quad (38)$$

สำหรับการไหลที่มีค่า Froude number มากกว่า 8.2

$$D_a = 0.620D(e)^{0.1051F} \quad (39)$$

โดย D_a = water depth with air entrainment
 D = water depth without air entrainment
 e = numerical constant, equal to 2.718282
 F = Froude number

ผิวน้ำที่รวมผลกระทบของการดึงของอากาศ จะถูกคำนวณและแสดงไว้แยกต่างหากในตาราง output ของแบบจำลอง HEC-RAS ถ้าหากผู้ใช้แบบจำลองต้องการแสดงผิวน้ำที่รวมการดึงของอากาศนี้ ผู้ใช้แบบจำลองจะต้องสร้างตารางที่มีตัวแปรคำว่า “WS Air Entr.” ไว้ในตารางโปรแกรมด้วยตนเอง ตัวแปรนี้จะไม่แสดงโดยอัตโนมัติในตารางมาตรฐานของแบบจำลอง HEC-RAS

ข้อจำกัดของโปรแกรมการไหลแบบคงที่ (Steady Flow Program Limitations)

การวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่แสดงไว้ในโปรแกรมการไหลแบบคงที่ ตั้งอยู่บนสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

1. การไหลเป็นแบบคงที่
2. การไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็น ค่อยไป (ยกเว้น ณ จุดที่มีอาคารทางชลศาสตร์ เช่น สะพาน ทางลอด และฝาย ซึ่งเป็นจุดที่การไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สมการโมเมนต์ตัมหรือสมการ empirical จะถูกนำมาใช้ ณ จุดนี้)
3. การไหลเป็นแบบหนึ่งมิติ (องค์ประกอบของความเร็วในทิศทางอื่นนอกเหนือจากทิศทางของการไหลจะไม่ถูกนำมาพิจารณา)
4. ทางน้ำหรือลำน้ำมีความลาดเทน้อยกว่า 1:10

การไหลจะถูกสมมุติให้เป็นแบบคงที่เนื่องจากเทอมที่ขึ้นกับเวลาจะไม่ถูกนำมารวมไว้ในสมการพลังงาน (สมการที่ 1) นอกจากนั้นการไหลจะถูกสมมุติให้เปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปเนื่องจากสมการที่ 1 ตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าการกระจายตัวของแรงดันสถิตมีอยู่ในทุกหน้าตัดการไหล บริเวณที่การไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด โปรแกรมจะเปลี่ยนไปใช้สมการโมเมนต์ดัมหรือ สมการ empirical อื่น ๆ ส่วนสาเหตุที่การไหลถูกสมมุติให้เป็นการไหลแบบหนึ่งมิติเนื่องจากสมการที่ 9 ตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า ความสูงพลังงานรวมมีค่าเท่ากันทุก ๆ จุดในแต่ละหน้าตัดการไหล

ข้อจำกัดของความลาดเทที่ต้องมีค่าน้อยกว่า 1:10 นั้นเนื่องมาจากการในการวิเคราะห์สมการพลังงานได้คำนวณความสูงของความดันในแนวตั้งจากสมการ

$$H_p = d \cos \theta$$

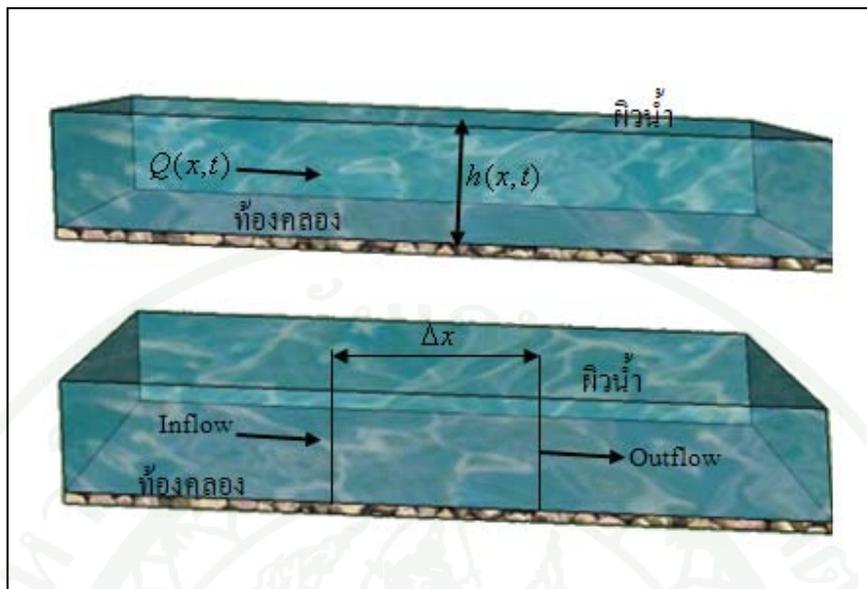
โดย H_p = vertical pressure head
 d = depth of water measured perpendicular to the channel bottom
 θ = the channel bottom slope expressed in degrees

Unsteady Flow Routing

กฎทางฟิสิกส์ที่ครอบคลุมการไหลของน้ำในลำน้ำประกอบด้วย (1) กฎทรงมวล (continuity) และ (2) กฎทรงโมเมนต์ดัม ในทางคณิตศาสตร์กฎทั้งสองจะถูกแสดงในรูปของสมการ partial differential ซึ่งต่อไปจะ เรียกว่า continuity equation และ momentum equation

Continuity Equation

พิจารณาปริมาตรควบคุมพื้นฐาน แสดงในภาพที่ 9 จากภาพ ระยะทาง x เป็นระยะทางที่วัดตามทางน้ำ การไหลและพื้นที่การไหลทั้งหมด ณ จุดกึ่งกลางของปริมาตรควบคุมแสดงด้วยเทอม $Q(x, t)$ และ AT ตามลำดับ พื้นที่การไหลทั้งหมดเกิดจากผลรวมของพื้นที่ประสิทธิผล A และพื้นที่เก็บกักนอกทางน้ำ S



ภาพที่ 9 ปริมาตรควบคุมพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ที่มาของสมการต่อเนื่องและสมการ โมเมนต์ดัม

การทรงไว้ซึ่งมวลของปริมาตรควบคุมกล่าวไว้ว่า อัตราการไหลสุทธิเข้าสู่ปริมาตรควบคุม จะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของการเก็บกักภายในปริมาตร อัตราการไหลเข้าสู่ปริมาตรเก็บกัก อาจเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (40)$$

อัตราการไหลออกเขียนได้ดังนี้

$$Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (41)$$

และอัตราการเปลี่ยนแปลงของการเก็บกักเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} \Delta x \quad (42)$$

สมมติว่า Δx มีค่าน้อยมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงมวลในปริมาตรควบคุมจะเท่ากับ

$$\rho \frac{\partial A_T}{\partial t} \Delta x = \rho \left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) + Q_l \right] \quad (43)$$

โดย Q_l คือการไหลด้านข้างเข้าสู่ปริมาตรควบคุม และ ρ คือความหนาแน่นของของเหลว ทำสมการให้อยู่ในรูปร่างง่ายและหารตลอดด้วยค่า $\rho \Delta x$ จะได้ continuity equation ดังนี้

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (44)$$

โดย q_l หมายถึงการไหลด้านข้าง (lateral flow) ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

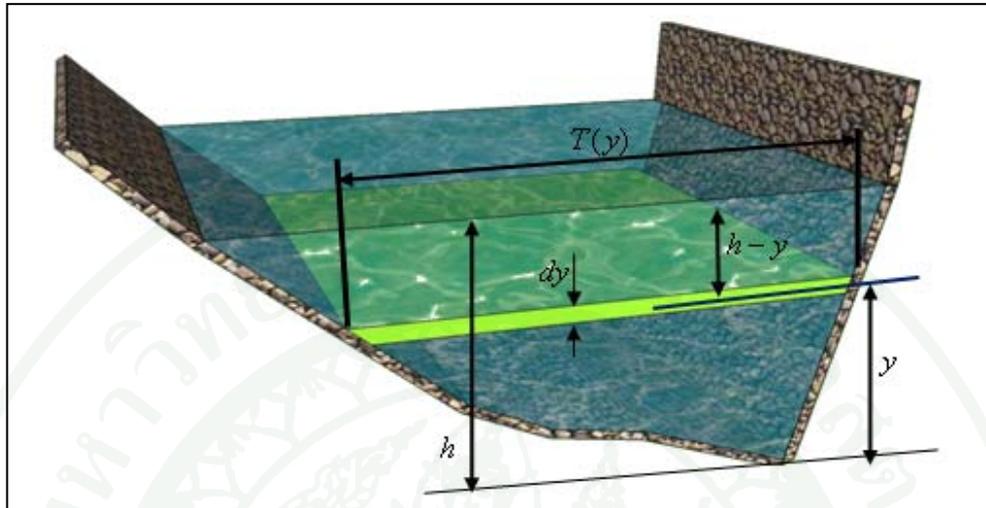
Momentum Equation

การทรงไว้ซึ่งโมเมนตัมเขียนได้โดยใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน ดังนี้

$$\sum F_x = \frac{d\bar{M}}{dt} \quad (45)$$

การทรงไว้ซึ่งโมเมนตัมสำหรับปริมาตรควบคุมกล่าวไว้ว่าอัตราของโมเมนตัมสุทธิที่เข้าสู่ปริมาตร (momentum flux) บวกกับผลรวมของแรงภายนอกทั้งหมดที่กระทำกับปริมาตรจะเท่ากับอัตราการสะสมของโมเมนตัม ความสัมพันธ์นี้เป็นสมการเวกเตอร์ที่กระทำในทิศทางแกน x และค่า momentum flux คือ มวลของของเหลวคูณด้วยเวกเตอร์ความเร็วในทิศทางของการไหล ในที่นี้แรงที่จะถูกพิจารณาประกอบไปด้วยแรงที่เกิดจาก (1) ความดัน (2) ความโน้มถ่วงของโลก และ (3) แรงจุดที่ผิวหรือแรงเสียดทาน

แรงเนื่องจากความดัน (Pressure forces)



ภาพที่ 10 แสดงเทอมที่ เกี่ยวข้องกับค่าจำกัดความของแรงเนื่องจากความดัน

ภาพที่ 10 อธิบายกรณีทั่วไปของหน้าตัดการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ การกระจายตัวของความดันถูกสมมติให้เป็น hydrostatic (ความดันเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงตามความลึก) และ ความดันรวมทั้งหมดได้จากการอินทิเกรตผลคูณของความดัน - พื้นที่ตลอดหน้าตัดภายหลังจาก Shames (1962) แรงเนื่องจากความดัน ณ จุดใด ๆ อาจเขียนได้ดังนี้

$$F_p = \int_0^h \rho g (h-y) T(y) dy \quad (46)$$

โดย h = depth

y = distance above the channel invert

$T(y)$ = width function which relates the cross section width to the distance above the channel invert

ถ้า F_p คือแรงเนื่องจากความดันในทิศทางแกน x ณ จุดกึ่งกลางของปริมาตรควบคุม แรงทางด้านเหนือน้ำของปริมาตรควบคุมสามารถเขียนได้ดังนี้

$$F_p - \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (47)$$

และแรงทางด้านท้ายน้ำเขียนได้เป็น

$$F_P + \frac{\partial F_P}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (48)$$

ผลรวมของแรงเนื่องจากความดันสำหรับปริมาตรควบคุมจึงอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_{P_n} = \left| F_P - \frac{\partial F_P}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right| - \left| F_P + \frac{\partial F_P}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right| + F_B \quad (49)$$

โดย F_{P_n} คือค่าแรงสุทธิเนื่องจากความดันสำหรับปริมาตรควบคุม และ F_B คือแรงเนื่องจากตลิ่งทางน้ำในทิศทางแกน x ที่กระทำต่อของเหลว ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการอย่างง่ายได้ดังนี้

$$F_{P_n} = -\frac{\partial F_P}{\partial x} \Delta x + F_B \quad (50)$$

ดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ 46 โดยใช้กฎของ Leibnitz และแทนค่าลงในสมการที่ 50 จะได้

$$F_{P_n} = -\rho g \Delta x \left[\frac{\partial h}{\partial x} \int_0^h T(y) dy + \int_0^h (h-y) \frac{\partial T(y)}{\partial x} dy \right] + F_B \quad (51)$$

ค่าแรกของการอินทิเกรตในสมการที่ 51 คือค่าพื้นที่หน้าตัด A ค่าที่สอง (คูณด้วย $-\rho g \Delta x$) คือค่าของแรงดันเนื่องจากของเหลวที่กระทำต่อตลิ่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ F_B แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้น ค่าแรงดันสุทธิอาจเขียนได้เป็น

$$F_{P_n} = -\rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x \quad (52)$$

แรงเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก (Gravitational force)

แรงเนื่องจากความโน้มถ่วงที่กระทำบนของเหลวในปริมาตรควบคุมในทิศทางแกน x คือ

$$F_g = \rho g A \sin \theta \Delta x \quad (53)$$

โดย θ คือมุมที่ท้องทางน้ำทำกับแนวราบ สำหรับลำน้ำธรรมชาติ θ มีค่าน้อยและค่า $\sin \theta \approx \tan \theta = -\partial Z_0 / \partial X$ โดยที่ Z_0 คือระดับของท้องทางน้ำ ดังนั้นแรงเนื่องจากความโน้มถ่วง อาจเขียนได้เป็น

$$F_g = -\rho g A \frac{\partial Z_0}{\partial x} \Delta x \quad (54)$$

แรงนี้จะมีค่าเป็นบวกสำหรับความลาดเทท้องน้ำที่เป็นลบ

แรงลุดที่ผิวหรือแรงเสียดทาน (Boundary drag or friction force)

แรงเสียดทานระหว่างทางน้ำและของเหลวอาจเขียนได้ดังนี้

$$F_f = -\tau_0 P \Delta x \quad (55)$$

โดย τ_0 คือค่าแรงเฉือนที่ผิวเฉลี่ย (แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่) ซึ่งกระทำบนผิวของเหลว และ P คือความยาวของเส้นขอบเปียก เครื่องหมายลบแสดงว่า สำหรับการไหลในทิศทางแกน x ที่เป็นบวก แรงจะกระทำใน ทิศทางแกน x ที่เป็นลบ จากการวิเคราะห์หิมิต ค่า τ_0 อาจจะแสดงในเทอมของสัมประสิทธิ์ของแรงลุด (drag coefficient) C_D ดังนี้

$$\tau_0 = \rho C_D V^2 \quad (56)$$

drag coefficient สามารถเขียนให้สัมพันธ์กับ Chezy coefficient, C , ได้ดังนี้

$$C_D = \frac{g}{C^2} \quad (57)$$

นอกจากนั้น อาจเขียนสมการ Chezy ได้ดังนี้

$$V = C \sqrt{RS_f} \quad (58)$$

แทนค่าสมการ 56, 57, และ 58 ในสมการที่ 55 จะได้สมการสำหรับแรงจุดที่ผิวดังนี้

$$F_f = -\rho g A S_f \Delta x \quad (59)$$

โดย S_f คือค่าความลาดของแรงเสียดทาน (friction slope) ซึ่งจะเป็นบวกสำหรับการไหลในทิศทางแกน x ที่เป็นบวก ค่า friction slope จะต้องสัมพันธ์กับค่าการไหลและค่าระดับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ friction equation ของ Manning และ Chezy แต่ใน HEC-RAS จะใช้ค่า Manning ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{2.208R^{4/3}A^2} \quad (60)$$

โดย R คือรัศมีชลศาสตร์ และ n คือค่า Manning friction coefficient

Momentum flux

เมื่อได้ให้ค่าจำกัดความของแรงทั้งสามแล้ว เทอมที่ยังเหลืออยู่คือ ค่า momentum flux ซึ่ง flux ที่ผ่านเข้าไปยังปริมาตรควบคุมเขียนได้ดังนี้

$$\rho \left[QV - \frac{\partial QV}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right] \quad (61)$$

และ flux ที่ออกจากปริมาตรควบคุมเขียนได้เป็น

$$\rho \left[QV + \frac{\partial QV}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right] \quad (62)$$

ดังนั้นอัตราสุทธิของโมเมนตัม (momentum flux) ที่ผ่านเข้าไปในปริมาตรควบคุมคือ

$$-\rho \frac{\partial QV}{\partial x} \Delta x \quad (63)$$

เนื่องจากโมเมนต์ดัมของของเหลวในปริมาตรควบคุมคือ $\rho Q \Delta x$ จึงสามารถเขียนอัตราการสะสมของโมเมนต์ดัมได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Q \Delta x) = \rho \Delta x \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (64)$$

ให้ความหมายของหลักการทรงโมเมนต์ดัมใหม่ได้ว่า

อัตราสุทธิของโมเมนต์ดัม (momentum flux) ที่ผ่านเข้าไปในปริมาตร (63) บวกกับผลรวมของแรงภายนอก ทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตร [(52)+(54)-(59)] เท่ากับอัตราการสะสมของโมเมนต์ดัม ดังนั้น

$$\rho \Delta x \frac{\partial Q}{\partial t} = -\rho \frac{\partial Q}{\partial x} V \Delta x - \rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x - \rho g A \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x - \rho g A S_f \Delta x \quad (65)$$

ระดับของผิวน้ำ, Z มีค่าเท่ากับ $Z_0 + h$ ดังนั้น

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \quad (66)$$

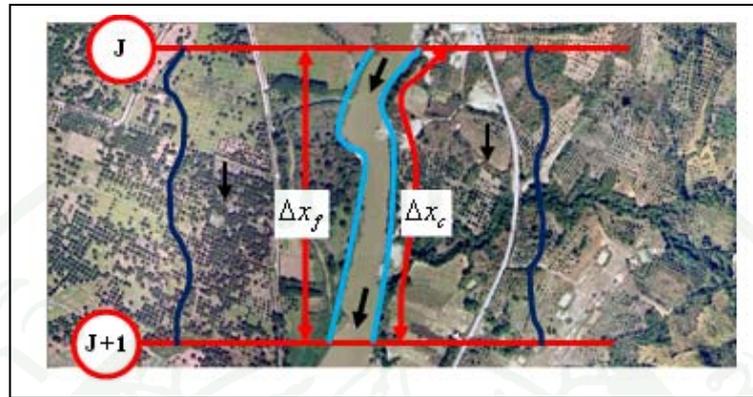
โดยที่ $\partial Q / \partial x$ คือค่าความลาดของผิวน้ำ แทนค่าสมการที่ 66 ลงในสมการที่ 65 และหารตลอดด้วย และย้ายเทอมทั้งหมดไปทางด้านซ้ายของสมการ จะได้รูปแบบของสมการโมเมนต์ดัมคือ

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} V + g A \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (67)$$

การประยุกต์ใช้สมการการไหลแบบไม่คงที่ ในแบบจำลอง HEC-RAS

ภาพที่ 11 อธิบายถึงลักษณะของปฏิสัมพันธ์ในสองมิติระหว่างการไหลในลำน้ำหลักและ flood plain เมื่อน้ำในลำน้ำมีระดับสูงขึ้น น้ำก็จะไหลออกจากลำน้ำไปทางด้านข้าง เข้าท่วมพื้นที่ flood plain และไหลเข้าไปเติมพื้นที่แก้มลิง (storage area) ขณะที่ความลึกของน้ำเพิ่มขึ้น flood plain ก็จะเริ่มนำพาน้ำให้ไหลไปยังด้านท้ายน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระยะเวลาการไหลใน flood plain จะ

สั้นกว่าระยะการไหลในลำน้ำหลัก เมื่อระดับน้ำในลำน้ำลดลง น้ำจากพื้นที่นอกตลิ่งลำน้ำก็จะไหลกลับเข้าไปยังลำน้ำ ทำให้การไหลในลำน้ำหลักเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 11 การไหลในทางน้ำและทุ่งน้ำท่วม

มีความพยายามในการแก้ปัญหาการไหลในลำน้ำและ flood plain ในหลาย ๆ วิธี วิธีการหนึ่งที่รู้จักกันดีคือ การละทางน้ำในพื้นที่นอกตลิ่งลำน้ำทั้งหมด แล้วสมมติให้ใช้พื้นที่นอกตลิ่งลำน้ำเป็นแก้มลิงเท่านั้น สมมุติฐานนี้อาจจะเหมาะสมสำหรับลำน้ำที่มีขนาดใหญ่ดังเช่น แม่น้ำมิสซิสซิปปีซึ่งลำน้ำได้ถูกกั้นไว้ด้วยพนังกั้นน้ำ และ flood plain ที่เหลืออยู่ก็ถูกปกคลุมด้วยพืชหรือเป็นพื้นที่แกมลิงนอกลำน้ำ Fread (1976) และ Smith (1978) ได้พยายามแก้ปัญหานี้โดยการแบ่งระบบออกเป็นลำน้ำย่อยสองส่วน แล้วเขียนสมการ continuity และสมการ momentum สำหรับแต่ละลำน้ำแยกจากกัน เพื่อให้ปัญหาง่ายขึ้นพวกเขาได้ ให้ตัวนำ ϕ แต่ละหน้าตัดซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหลอยู่ในแนวราบ นั้นหมายถึงว่าได้ละการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างลำน้ำและ flood plain และให้ discharge มีการกระจายตัวตามช่องทางลำน้ำ นั่นคือ

$$Q_c = \phi Q \quad (68)$$

โดย Q_c = flow in channel
 Q = total flow
 $\phi = K_c / (K_c + K_f)$
 K_c = conveyance in the channel
 K_f = conveyance in the floodplain

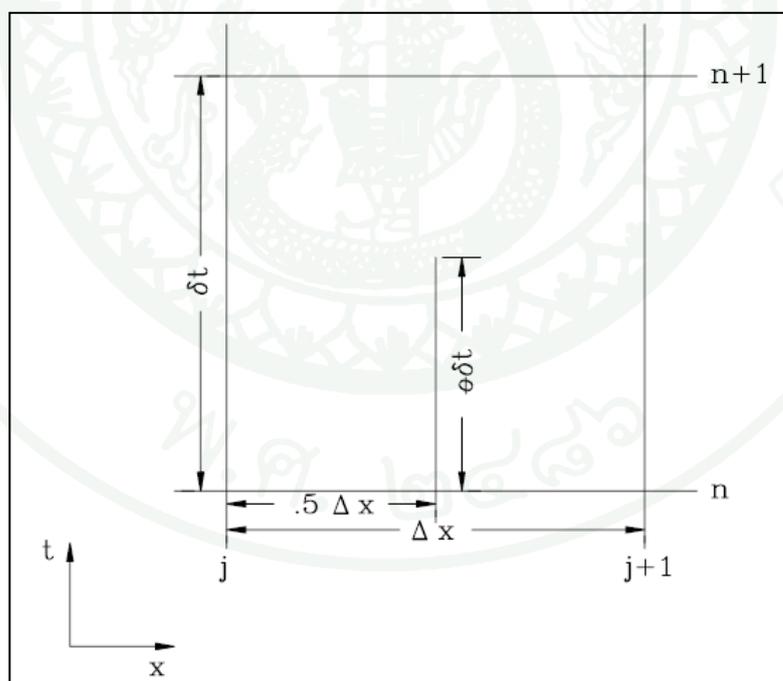
ด้วยสมมุติฐานนี้ สามารถรวมสมการการเคลื่อนที่หนึ่งมิติเป็นสมการเดียวคือ

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\Phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad (69)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial((1-\Phi)^2 Q^2 / A_f)}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial Z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_f \left[\frac{\partial Z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (70)$$

สัญลักษณ์ c และ f ในที่นี้หมายถึงลำน้ำหลักและ flood plain ตามลำดับ สมการเหล่านี้ได้ถูกประมาณค่า โดยใช้ implicit finite differences และแก้หาค่าโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขที่ชื่อว่า Newton-Raphson iteration technique

วิธีการแก้สมการโดยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Implicit Finite Difference Scheme)



ภาพที่ 12 พารามิเตอร์ในสมการ Implicit Finite Difference Method

ที่มา: Gary (2002)

เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหามสมการการไหลในลักษณะ 1 มิติ แบบไม่คงที่ กับ เวลา (One-dimensional Unsteady flow) โดยใช้สมการ Four - Point Implicit Scheme จากภาพที่ 12 จะสามารถแก้สมการได้ Time derivative, Space Derivative, Function value โดยได้ค่าจากจุด $(n + \theta)\Delta t$ ดังนี้ค่าที่จุด $(n + \theta)\Delta t$ จึงใช้แทนลงในสมการในการแก้สมการโดยวิธีเชิงตัวเลขโดยวิธี Numerical Schemes ของ Newton-Raphson

เมื่อเป็น Unconditionally Stable ค่าที่ได้ $0.5 < \theta \leq 1.0$

Conditionally Stable ค่าที่ได้ $\theta = 0.5$

Unstable ค่าที่ได้ $\theta < 0.5$

กำหนดให้

$$f_j = f_j^n \quad (71)$$

และ

$$\Delta f_j = f_j^{n+1} - f_j^n \quad (72)$$

ดังนั้น

$$f_j^{n+1} = f_j + \Delta f_j \quad (73)$$

ดังนั้นสมการทั่วไปของ Implicit Finite Difference ในการแก้ไขปัญหาคือ

$$\text{Time Derivative: } \frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{0.5(\Delta f_{j-1} + \Delta f_j)}{\Delta t} \quad (74)$$

$$\text{Space Derivative: } \frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{\Delta f}{\Delta x} = \frac{(f_{j-1} - f_j) + \theta(\Delta f_{j-1} - \Delta f_j)}{\Delta x} \quad (75)$$

$$\text{Function value: } f \approx \bar{f} = 0.5(f_j + f_{j-1}) + 0.5\theta(\Delta f_j + \Delta f_{j-1}) \quad (76)$$

$$\text{Continuity Equation: } \Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} \Delta X_c + \frac{\Delta A_f}{\Delta t} \Delta X_f + \frac{\Delta S}{\Delta t} \Delta X_f - \bar{Q}_1 = 0 \quad (77)$$

และค่าโดยประมาณในการแก้ไขสมการผลต่างสี่เหลี่ยมในเทอมของ Continuity Equation ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ในสมการ Continuity Equation

Term	Finite Difference Approximation
ΔQ	$(Q_{j+1} - Q_j) + \theta(\Delta Q_{j+1} - \Delta Q_j)$
$\frac{\partial A_c}{\partial t} \Delta x_c$	$0.5\Delta x_{cj} \frac{\left(\frac{dA_c}{dz}\right)_j \Delta z_j + \left(\frac{dA_c}{dz}\right)_{j+1} \Delta z_{j+1}}{\Delta t}$
$\frac{\partial A_f}{\partial t} \Delta x_f$	$0.5\Delta x_{fj} \frac{\left(\frac{dA_f}{dz}\right)_j \Delta z_j + \left(\frac{dA_f}{dz}\right)_{j+1} \Delta z_{j+1}}{\Delta t}$
$\frac{\partial S}{\partial t} \Delta x_f$	$0.5\Delta x_{fj} \frac{\left(\frac{dS}{dz}\right)_j \Delta z_j + \left(\frac{dS}{dz}\right)_{j+1} \Delta z_{j+1}}{\Delta t}$

ที่มา: Gary (2002)

Momentum Equation

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta X_c + Q_f \Delta X_f)}{\Delta t \Delta X_c} + \frac{\Delta(\beta V Q)}{\Delta X_c} + g \bar{A} \left(\frac{\Delta z}{\Delta X_c} + S_f \right) = 0 \quad (78)$$

และค่าโดยประมาณในการแก้ไขสมการผลต่างสี่เหลี่ยมในเทอมของ Momentum Equation ดังแสดงในตารางที่ 2

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions)

สำหรับระยะทางของแม่น้ำที่มีจุดการคำนวณ N node โดยมีขอบเขตเท่ากับ N-1 ของแต่ละเซลล์ของรูปแบบการแก้ปัญหาแบบผลต่างสี่เหลี่ยม จากเซลล์ 2N-2 ของสมการผลต่างสี่เหลี่ยม สามารถหาได้จากตัวไม่ทราบค่าเท่ากับ 2N (ΔQ และ Δz สำหรับแต่ละ Node) ที่สมการต้องการ ดังนั้นสมการดังกล่าวจึงเป็นสมการสำหรับเงื่อนไขขอบเขตสำหรับแต่ละระยะทาง สำหรับการไหลต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical flow) สมการต้องการขอบเขตเงื่อนไขทั้งทางด้านท้ายน้ำและเหนือน้ำ สำหรับการไหลเหนือวิกฤต (Supercritical flow)

ตารางที่ 2 ค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ในสมการ Momentum Equation

Term	Finite Difference Approximation
$\frac{\partial(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\partial t \Delta x_e}$	$\frac{0.5}{\Delta x_e \partial t} (\partial Q_{cj} \Delta x_{cj} + \partial Q_{fj} \Delta x_{fj} + \partial Q_{cj+1} \Delta x_{cj} + \partial Q_{fj+1} \Delta x_{fj})$
$\frac{\Delta \beta V Q}{\Delta x_{ej}}$	$\frac{1}{\Delta x_{ej}} [(\beta V Q)_{j+1} - (\beta V Q)_j] + \frac{\theta}{\Delta x_{ej}} [(\beta V Q)_{j+1} - (\beta V Q)_j]$
$g \bar{A} \frac{\Delta z}{\Delta x_e}$	$g \bar{A} \left[\frac{Z_{j+1} - Z_j}{\Delta x_{ej}} + \frac{\theta}{\Delta x_{ej}} (\Delta z_{j+1} - \Delta z_j) \right] + \theta g \Delta \bar{A} \frac{Z_{j+1} - Z_j}{\Delta x_{ej}}$
$g \bar{A} (\bar{S}_f + \bar{S}_h)$	$g \bar{A} (\bar{S}_f + \bar{S}_h) + 0.5 g \bar{A} [(\Delta S_{fj+1} + \Delta S_{fj}) + (\Delta S_{hj+1} + \Delta S_{hj})] + 0.5 g (\bar{S}_f + \bar{S}_h) (\Delta A_j + \Delta A_{j+1})$
\bar{A}	$0.5 (A_{j+1} + A_j)$
\bar{S}_f	$0.5 (S_{fj+1} + S_{fj})$
∂A_j	$\left(\frac{dA}{dz} \right)_j \Delta z_j$
∂S_{fj}	$\left(\frac{-2S_f}{K} \frac{dK}{dz} \right)_j \Delta z_j + \left(\frac{2S_f}{Q} \right)_j \Delta Q_j$
$\partial \bar{A}$	$0.5 (\Delta A_j + \Delta A_{j+1})$

ที่มา: Gary (2002)

เงื่อนไขขอบเขตภายใน (Interior Boundary Condition)

สำหรับโครงข่ายการเชื่อมต่อลำน้ำในแต่ละเส้น สมการขอบเขตภายในที่ระบุการเชื่อมต่อระหว่างเส้นลำน้ำขึ้นอยู่กับรูปแบบของการเชื่อมต่อลำน้ำ โดยสามารถใช้สมการกล่าวคือ ความต่อเนื่องของอัตราการไหล (Continuity of Flow)

$$\sum_{i=1}^l S_{gi} Q_i = 0 \quad (79)$$

เมื่อ l = จำนวนของทางน้ำที่เชื่อมต่อ ณ จุดเชื่อมต่อ
 S_{gi} = -1 ของ i ที่เชื่อมต่อทางด้านเหนือน้ำ, +1 ถ้าเป็นการเชื่อมต่อด้านท้ายน้ำ
 Q_i = อัตราการไหลของทางน้ำ i

สมการผลต่างสืบเนื่องจากสมการที่ (79) คือ

$$\sum_{i=1}^{l-1} MU_{mi} \Delta Q_i + MU_{Q_m} \Delta Q_k = MUB_m \quad (80)$$

เมื่อ $MU_{mi} = \theta S_{gi}$
 $MU_{Q_m} = \theta S_{gk}$
 $MUB_m = -\sum_{i=1}^l S_{gi} Q_i$

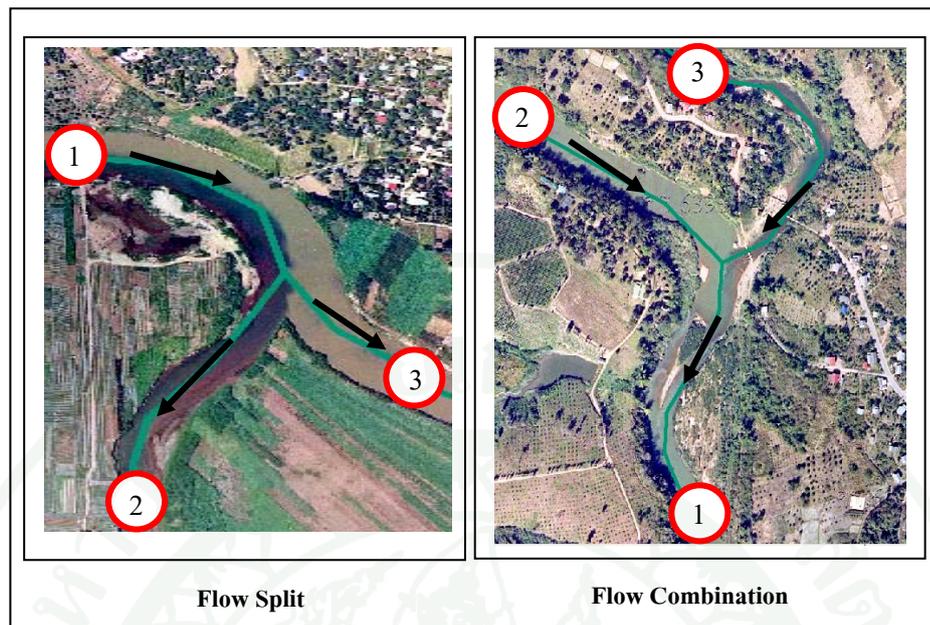
ความต่อเนื่องของระดับน้ำ (Continuity of stage)

$$Z_k = Z_c \quad (81)$$

เมื่อ Z_k คือระดับน้ำในขอบเขตของลำน้ำ k ซึ่งถูกกำหนดให้เท่ากับ Z_c ดังนั้นระดับน้ำทุกๆ ระดับน้ำในขอบเขตเงื่อนไขของจุดเชื่อมต่อที่สนใจ จะพิจารณาได้จากสมการที่ (81) ในรูปสมการผลต่างสืบเนื่องกล่าวคือ

$$MU_{Z_m} \Delta Z_k - MU_m \Delta Z_c = MUB_m \quad (82)$$

เมื่อ $MU_{Z_m} = 0$
 $MU_m = 0$
 $MUB_m = z_c - z_k$



ภาพที่ 13 รูปแบบลักษณะการไหลรวมและการไหลแยกตามลำน้ำ

จากภาพที่ 13 ใช้รูปแบบดังแสดงประยุกต์ในการกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อลำน้ำแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบกล่าวคือ

การประยุกต์การไหลต่อเนื่องในลำน้ำจากการแยกอัตราการไหลด้านเหนือน้ำ และจากด้านท้ายน้ำที่มีการไหลรวมดังแสดงในภาพที่ 13 ทั้งสองรูปแบบทั้งสองดังกล่าวจากสมการขอบเขตเงื่อนไขจะกำหนดใช้เพียงจุดเชื่อมต่อเพียง 1 จุดเท่านั้น

การประยุกต์กับความต่อเนื่องของค่าระดับน้ำสำหรับทุกลำน้ำ (ลำน้ำที่ 2 และ 3 ดังภาพที่ 13) z_c จะถูกคำนวณให้สอดคล้องกับอัตราการไหลในลำน้ำเส้นที่ 1 ดังนั้นระดับน้ำในลำน้ำเส้นที่ 2 และ 3 ก็จะถูกกำหนดให้เท่ากับ z_c

เงื่อนไขขอบเขตทางด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary Condition)

เงื่อนไขขอบเขตทางด้านเหนือน้ำถูกกำหนดที่จุดสิ้นสุดทางด้านเหนือน้ำของแต่ละลำน้ำ แต่ไม่รวมถึงจุดเชื่อมต่อกับพื้นที่กักเก็บน้ำอื่น ๆ ขอบเขตเงื่อนไขทางด้านเหนือน้ำถูกกำหนดให้ใช้

ข้อมูลของ Flow Hydrograph ในการกำหนดเป็นเงื่อนไขขอบเขตทางด้านเหนือน้ำที่มีความสัมพันธ์กับเวลา สมการของ Flow Hydrograph ของลำน้ำสามารถเขียนได้โดย

$$\Delta Q_k^{n+1} = Q_k^n - Q_k \quad (83)$$

เมื่อ k คือ ตำแหน่งด้านเหนือน้ำของลำน้ำ ดังนั้นสมการผลต่างสืบเนื่องจากสมการที่ (83) จะได้เป็น

$$MUQ_m \Delta dQ_k = MUB_m \quad (84)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad MUQ_m &= 1 \\ MUB_m &= Q_1^{n+1} - Q_1^n \end{aligned}$$

เงื่อนไขขอบเขตทางด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary Condition)

เงื่อนไขขอบเขตทางด้านท้ายน้ำถูกกำหนดที่จุดสิ้นสุดทางด้านท้ายน้ำของแต่ละลำน้ำ แต่ไม่รวมถึงจุดเชื่อมต่อกับพื้นที่กักเก็บน้ำอื่น ๆ รูปแบบของเงื่อนไขขอบเขตทางด้านท้ายน้ำสามารถกำหนดได้เป็น 4 รูปแบบ คือ

1. Stage Hydrograph คือ กราฟระดับน้ำกล่าวได้คือค่าระดับน้ำตามระยะเวลาต่าง ๆ สามารถใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขตทางด้านท้ายน้ำได้ โดยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การไหลลงสู่่อวขนาดเล็ก ทะเลสาบหรือการไหลที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเลที่มีมากแวงตัวขึ้นลงซึ่งทำให้ทราบถึงค่าระดับน้ำ ณ Time step $(n+1) \Delta t$, เงื่อนไขขอบเขตจาก Stage Hydrograph สามารถกำหนดได้โดย

$$\Delta Z_N = Z_N^{n+1} - Z_N^n \quad (85)$$

ผลต่างสืบเนื่องจากสมการที่ (85) คือ

$$CDZ_m \Delta Z_N = CDB_m \quad (86)$$

$$\text{เมื่อ} \quad CDZ_m = 1$$

$$CDB_m = Z_N^{n+1} - Z_N^n$$

2. Flow Hydrograph สำหรับ Flow Hydrograph สามารถใช้เป็นขอบเขตทางด้านท้ายน้ำได้ ถ้าได้มีการจัดบันทึกข้อมูล และจากการคำนวณเพื่อสอบเทียบแบบจำลอง ฯ จากเหตุการณ์น้ำท่วม ณ Time step (n+1) Δt เงื่อนไขขอบเขตจาก Flow Hydrograph สามารถกำหนดได้โดย

$$CDQ_m \Delta Q_N = CDB_m \quad (87)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } CDQ_m &= 1 \\ CDB_m &= Q_N^{n+1} - Q_N^n \end{aligned}$$

3. Single Valued Rating Curve คือฟังก์ชันของค่าระดับน้ำกับอัตราการไหล ใช้อธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวกับบริเวณการไหลเช่น การไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ ทางน้ำล้น ท่อบนหรือเขื่อนที่มีการควบคุม เมื่อเรานำรูปแบบความสัมพันธ์นี้มาใช้ในการไหลในธรรมชาติ ควรนำรูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้อย่างระมัดระวัง เนื่องจากอาจมีความคลาดเคลื่อนในการแก้ไขปัญหาการไหล และ Time step (n+1) Δt เงื่อนไขขอบเขตถูกกำหนดโดย

$$Q_N + \theta \Delta Q_N = D_{k-1} + \frac{D_k - D_{k-1}}{S_k - S_{k-1}} (Z_N + \Delta Z_N - S_{k-1}) \quad (88)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } D_k &= K^{\text{th}} \text{ discharge ordinate} \\ S_k &= K^{\text{th}} \text{ stage ordinate} \end{aligned}$$

หลังจากการรวบรวมเทอมที่ไม่ทราบค่าทางด้านซ้ายของสมการ ผลต่างสี่เหลี่ยมของสมการที่ (88) คือ

$$CDQ_m \Delta Q_N + CDZ_m \Delta Z_N = CDB_m \quad (89)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } CDQ_m &= \theta \\ CDZ_m &= \frac{D_k - D_{k-1}}{S_k - S_{k-1}} \\ CDB_m &= Q_N + D_{k-1} + \frac{D_k - D_{k-1}}{S_k - S_{k-1}} (Z_N - S_{k-1}) \end{aligned}$$

4. Normal Depth ใช้สมการของ Manning's ที่อยู่ในรูป

$$Q = K(S_f)^{0.5} \quad (90)$$

เมื่อ K คือหน้าตัดค่าเฉลี่ย และ S_f คือ Friction Slope

การจำลองสะพาน (Modeling Bridges)

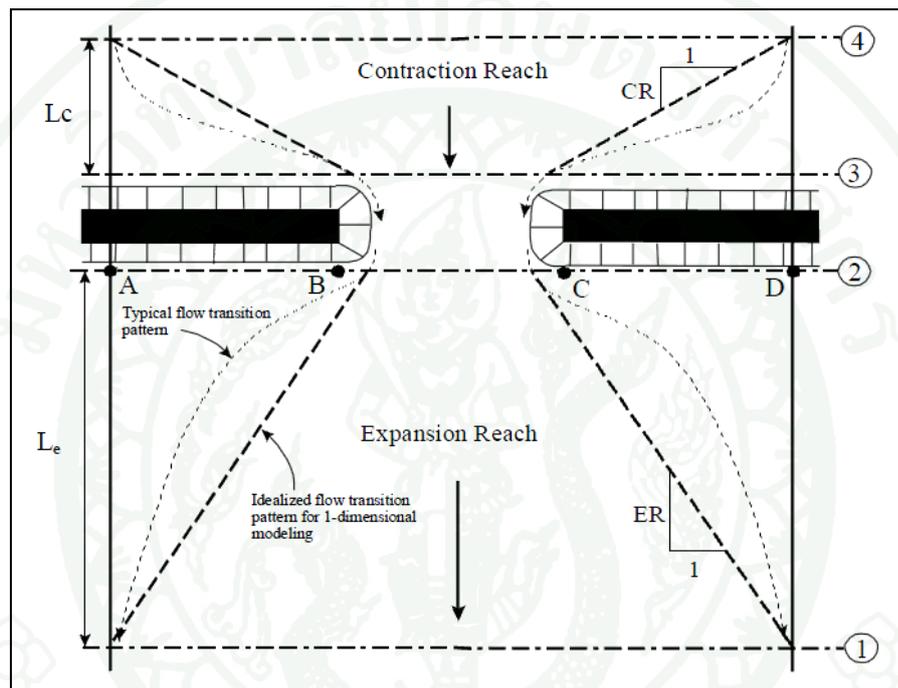
ตำแหน่งของหน้าตัดดังแสดงในภาพที่ 14 หน้าตัดที่ 1 เป็น ตำแหน่งท้ายน้ำที่ไม่มีผลกระทบของการไหลเนื่องจากโครงสร้างซึ่งการไหลมีการขยายตัวเต็มที่ ตารางที่ 3 เสนอช่วงของอัตราส่วนการขยายตัว ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับ constriction slope และอัตราส่วนระหว่างความเสียดทานของตลิ่งกับ ความเสียดทานของทางน้ำหลักต่างๆ ในตารางที่ 3 b/B คืออัตราส่วนของช่องเปิดสะพานกับความกว้างทั้งหมดของทางน้ำ (flood plain) n_{ob} คือค่า manning n สำหรับตลิ่ง n_c คือค่า n สำหรับทางน้ำสายหลัก และ s คือความลาดชันของทางน้ำ

ตารางที่ 3 ช่วงของอัตราการขยายตัว

	$n_{ob} / n_c = 1$	$n_{ob} / n_c = 2$	$n_{ob} / n_c = 4$
$b/B = 0.10$ $S = 1$ ft/mile	1.4 - 3.6	1.3 - 3.0	1.2 - 2.1
5 ft/mile	1.0 - 2.5	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
10 ft/mile	1.0 - 2.2	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
$b/B = 0.25$ $S = 1$ ft/mile	1.6 - 3.0	1.4 - 2.5	1.2 - 2.0
5 ft/mile	1.5 - 2.5	1.3 - 2.0	1.3 - 2.0
10 ft/mile	1.5 - 2.0	1.3 - 2.0	1.3 - 2.0
$b/B = 0.50$ $S = 1$ ft/mile	1.4 - 2.6	1.3 - 1.9	1.2 - 1.4
5 ft/mile	1.3 - 2.1	1.2 - 1.6	1.0 - 1.4
10 ft/mile	1.3 - 2.0	1.2 - 1.5	1.0 - 1.4

ที่มา: Gary (2002)

หน้าตัดที่ 2 เป็นตำแหน่งทางด้านท้ายน้ำห่างจากสะพานและห่างจากหน้าตัดที่ 1 เป็นระยะทาง L_e หน้าตัดที่ 3 เป็นตำแหน่งทางด้านเหนือน้ำห่างจากตัวสะพานน้อย และหน้าตัดที่ 4 เป็นตำแหน่งทางด้านเหนือน้ำซึ่งห่างจากหน้าตัดที่ 3 เป็นระยะทาง L_c โดยทั่วไประยะทางของการไหลที่มีการบีบแคบเข้า L_c จะมีระยะทางที่สั้นกว่าระยะทางของการไหลที่ขยายตัว L_e หรือ $L_e > L_c$ หน้าตัดที่ 1 ถึงหน้าตัดที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ตำแหน่งหน้าตัดที่สะพาน

ที่มา: Gary (2002)

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการบีบแคบเข้าและการขยายออก (Contraction and Expansion Losses)

สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการบีบแคบเข้าและขยายออกภายใต้สภาพการไหลแบบได้วิกฤต แสดงดังตารางที่ 4 และโดยทั่วไป สัมประสิทธิ์การบีบแคบเข้าและการขยายออกสำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤตควรจะต่ำกว่าการไหลแบบได้วิกฤต

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การไหลได้วิกฤตสำหรับการบีบแคบเข้าและขยายออก

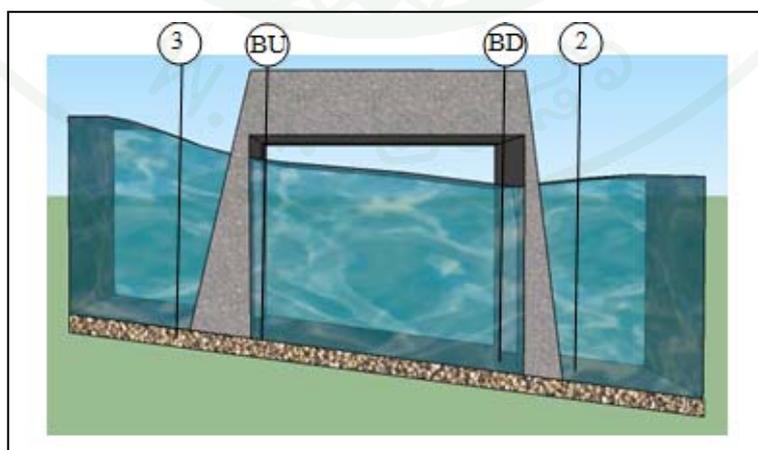
	Contraction	Expansion
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Typical Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

ที่มา: Gary (2002)

การคำนวณชลศาสตร์ผ่านสะพาน (Hydraulic Computations Through the Bridge)

สำหรับการคำนวณอัตราการไหลที่น้อย (Low Flow) มี 4 วิธีที่สามารถคำนวณการสูญเสียพลังงานผ่านสะพานจากหน้าตัดที่ 2 ถึงหน้าตัดที่ 3 ได้แก่

1. สมการพลังงาน (วิธี Standard Step)
2. สมดุลโมเมนตัม (Momentum Balance)
3. สมการ Yarnell
4. วิธี FHWA WSPRO



ภาพที่ 15 ตำแหน่งหน้าตัดที่อยู่ใกล้และอยู่ด้านในสะพาน

วิธีสมการพลังงาน (Standard Step)

ลำดับของการคำนวณจะเริ่มจากด้านท้ายน้ำของสะพาน หน้าตัดที่ 2 ถึงหน้าตัดที่ BD และโปรแกรมจะคำนวณแบบ Standard Step จากหน้าตัด BD ถึงหน้าตัด BU และลำดับสุดท้ายของการคำนวณ โปรแกรมจะคำนวณจากหน้าตัด BU ถึงหน้าตัดที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 15

วิธีสมมูลโมเมนต์ดัม (Momentum Balance)

หลักการของวิธีนี้คือการสมมูลโมเมนต์ดัมจากหน้าตัดที่ 2 ถึง หน้าตัดที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 15 การสมมูลโมเมนต์ดัมมีขั้นตอนอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1. สมมูลโมเมนต์ดัมจากหน้าตัด 2 ถึงหน้าตัด BD

$$A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_2 \bar{Y}_2 + \frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} - A_{P_{BD}} \bar{Y}_{P_{BD}} + F_f - W_x \quad (91)$$

เมื่อ	A_2, A_{BD}	= Active flow area at section 2 and BD, respectively
	$A_{P_{BD}}$	= Obstructed area of the pier on downstream side
	\bar{Y}_2, \bar{Y}_{BD}	= Vertical distance from water surface to center of gravity of flow area A_2 and A_{BD} , respectively
	$\bar{Y}_{P_{BD}}$	= Vertical distance from water surface to center of gravity of wetted pier area on downstream side
	$\beta_{BD} Q_{BD}$	= Velocity weighting coefficients for momentum equation
	$\beta_2 Q_2$	= Discharge
	g	= Gravitational acceleration
	F_f	= External force due to friction, per unit weight of Water
	W_x	= Force due to weight of water in the direction of flow, per unit weight of water

2. สมดุลโมเมนต์ตั้งฉากหน้าตัด BD ถึงหน้าตัด BU

$$A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{gA_{BU}} = A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{gA_{BD}} + F_f - W_x \quad (92)$$

3. สมดุลโมเมนต์ตั้งฉากหน้าตัด BU ถึงหน้าตัดที่ 3

$$A_3 \bar{Y}_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{gA_3} = A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{gA_{BU}} + A_{P_{BU}} \bar{Y}_{P_{BU}} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{P_{BU}} Q_3^2}{gA_3} + F_f - W_x \quad (93)$$

เมื่อ C_D = Drag coefficient for flow going around the piers.

การสมดุลโมเมนต์ตั้งฉากต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ สำหรับประมาณค่าแรงเสียดทาน และสัมประสิทธิ์แรงกด สำหรับแรงกดของตอม่อ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์แรงกดสำหรับตอม่อรูปร่างแบบต่างๆ

Pier Shape	Drag Coefficient CD
Circular pier	1.20
Elongated piers with semi-circular ends	1.33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.60
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.32
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.29
Square nose piers	2.00
Triangular nose with 30 degree angle	1.00
Triangular nose with 60 degree angle	1.39
Triangular nose with 90 degree angle	1.60
Triangular nose with 120 degree angle	1.72

ที่มา: Gary (2002)

สมการ Yarnell

สมการ Yarnell เป็นสมการแบบ empirical ซึ่งใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของพิกัดน้ำจากหน้าตัดที่ 2 ถึงหน้าตัดที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 15

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6)(\alpha + 15\alpha^4) \frac{V^2}{2g} \quad (94)$$

เมื่อ	H_{3-2}	= Drop in water surface elevation from section 3 to 2
	K	= Yarnell's pier shape coefficient
	ω	= Ratio of velocity head to depth at section 2
	α	= Obstructed area of the piers divided by the total unobstructed area at section 2
	V	= Velocity downstream at section 2

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์ต่อม่อของ Yarnell, K, สำหรับตอม่อรูปร่างต่างๆ

Pier Shape	Yarnell K Coefficient
Semi-circular nose and tail	0.9
Twin-cylinder piers with connecting diaphragm	0.95
Twin-cylinder piers without diaphragm	1.05
90 degree triangular nose and tail	1.05
Square nose and tail	1.25
Ten pile trestle bent	2.5

ที่มา: Gary (2002)

สมการ FHWA WSPRO

วิธี WSPRO คำนวณพิกัดน้ำผ่านสะพานโดย สมการพลังงาน ซึ่งการสมดุลพลังงานสามารถเขียนได้ดังแสดงในสมการ 95

$$h_4 + \frac{\alpha_4 V_4^2}{2g} = h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_{L_{4-1}} \quad (95)$$

เมื่อ	h_1	= Water surface elevation at section 1
	V_1	= Velocity at section 1
	h_4	= Water surface elevation at section 4
	V_4	= Velocity at section 4
	h_L	= Energy losses from section 4 to 1

การสูญเสียพลังงานจากหน้าตัดที่ 4 ถึงหน้าตัดที่ 1 คำนวณได้ดังนี้
หน้าตัดที่ 1 ถึงหน้าตัดที่ 2

$$h_{f_{1-2}} = \frac{BQ^2}{K_2 K_1} \quad (96)$$

เมื่อ	B	= flow weighted distance between sections 1 and 2
	K_1, K_2	= total conveyance at sections 1 and 2 respectively

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการขยายตัวจากหน้าตัดที่ 2 ถึงหน้าตัดที่ 1 คำนวณได้จากสมการที่ 97

$$h_e = \frac{Q^2}{2gA_1^2} \left[2\beta_1 - \alpha_1 - 2\beta_2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right) + \alpha_2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right] \quad (97)$$

เมื่อ	α	= energy correction factors for non-uniform flow
	β	= momentum correction factors for non-uniform flow

α_1 และ β_1 คำนวณได้จากสมการที่ 98 และ 99 ตามลำดับ

$$\alpha_1 = \frac{\sum(K_i^3 / A_i^2)}{K_T^3 / A_T^2} \quad (98)$$

$$\beta_1 = \frac{\sum(K_i^2 / A_i)}{K_T^2 / A_T} \quad (99)$$

α_1 และ β_1 เกี่ยวโยงกับรูปร่างของสะพานและเป็นไปตามสมการที่ 100 และ 101

$$\alpha_1 = \frac{1}{C^2} \quad (100)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{C} \quad (101)$$

เมื่อ C = empirical discharge coefficient for the bridge

หน้าตัดที่ 2 ถึงหน้าตัดที่ 3

$$h_{f(BU-BD)} = \frac{L_B Q^2}{K_{BU} K_{BD}} \quad (102)$$

เมื่อ K_{BU} และ K_{BD} = total conveyance at sections BU and BD respectively

L_B = length through the bridge

หน้าตัดที่ 3 ถึงหน้าตัดที่ 4

$$h_{f(3-4)} = \frac{L_{av} Q^2}{K_3 K_4} \quad (103)$$

เมื่อ L_{av} = effective flow length in the approach reach

K_3 และ K_4 = total conveyances at sections 3 and 4

สำหรับการคำนวณการไหลแบบมาก ๆ (High Flow) HEC-RAS สามารถคำนวณการไหลแบบมาก ๆ โดยใช้สมการพลังงาน (Standard Step Methods) หรือโดยการแยกสมการชลศาสตร์ สำหรับแรงดันและ/หรือ การไหลผ่านฝาย

สมการพลังงาน (Standard Step Methods)

การประยุกต์ใช้วิธีสมการพลังงาน (Standard Step Methods) สำหรับการไหลมาก ๆ นี้มีวิธีการเหมือนกับการประยุกต์ใช้กับการไหลแบบน้อย ๆ (Low Flow)

วิธีแรงดันและการไหลผ่านฝาย (Pressure and Weir Flow Methods)

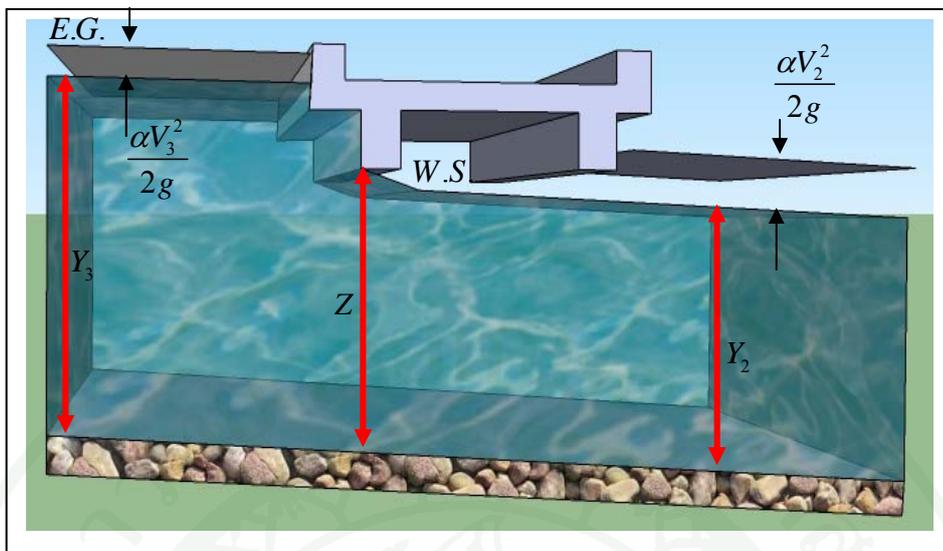
การคำนวณแรงดันของการไหล HEC-RAS จะเลือกสมการที่เหมาะสมอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสภาพการไหล

กรณีแรกดูภาพที่ 16 สมการที่ใช้คือ

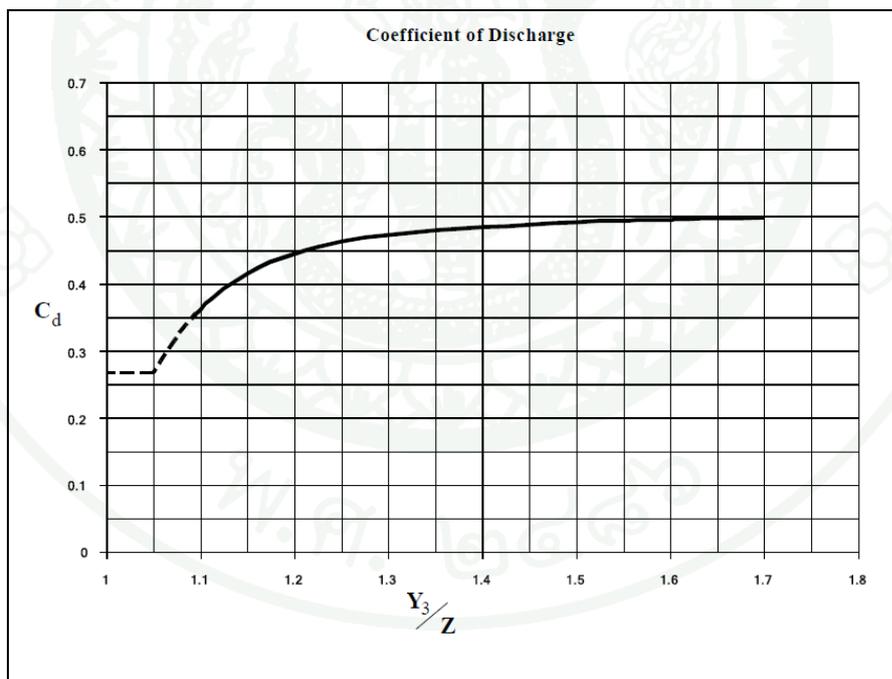
$$Q = C_d A_{BU} \sqrt{2g} \left[Y_3 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} \right]^{1/2} \quad (104)$$

เมื่อ	Q	= Total discharge through the bridge opening
	C_d	= Coefficient of discharge for pressure flow
	A_{BU}	= Net area of the bridge opening at section BU
	Y_3	= Hydraulic depth at section 3
	Z	= Vertical distance from maximum bridge low chord to the mean river bed elevation at section BU

สัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d อยู่ในช่วง 0.27 ถึง 0.5 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ Y_3 / Z ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 16 ภาพของสะพานที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของบานระบายในแนวตั้งและแรงดันของการไหล



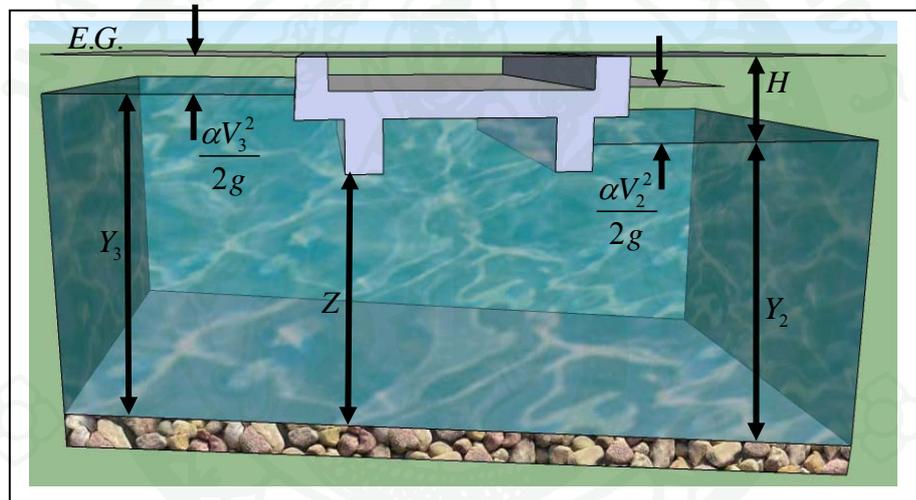
ภาพที่ 17 สัมประสิทธิ์การไหลสำหรับการไหลแบบ Sluice Gate

ที่มา: Gary (2002)

กรณีที่ 2 ภาพที่ 18 สมการที่ใช้คือ

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (105)$$

- เมื่อ C = Coefficient of discharge for fully submerged pressure flow.
Typical value of C is 0.8.
- H = The difference between the energy gradient elevation upstream and the water surface elevation downstream.
- A = Net area of the bridge opening.



ภาพที่ 18 ภาพของสะพานที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของการไหลแบบจมและแรงดันของการไหล

สัมประสิทธิ์อัตราการไหล C มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานทั้งหมด ซึ่งมาจากรูปแบบของสมการอริฟิซที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ HEC-2

$$Q = A\sqrt{\frac{2gH}{K}} \quad (106)$$

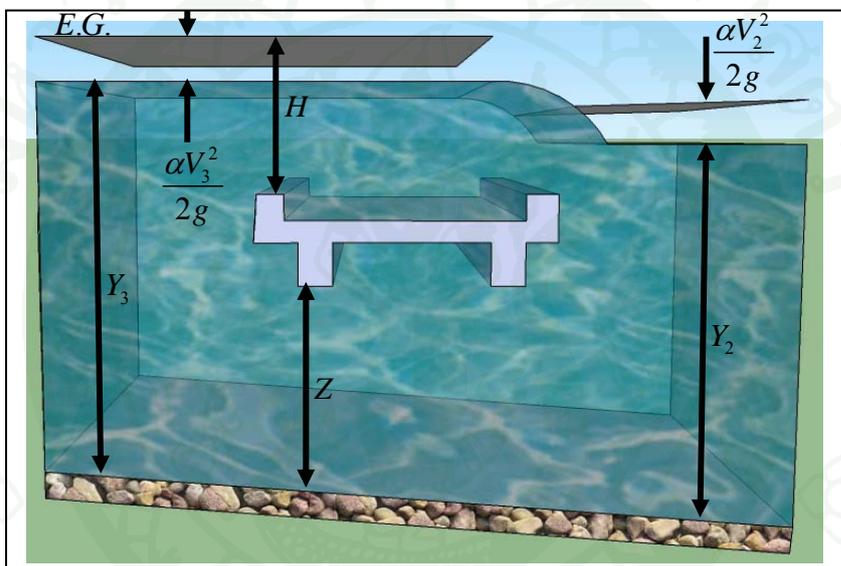
- เมื่อ K = Total loss coefficient

ซึ่งแปลงค่าจาก K เป็น C ได้ดังสมการที่ 107

$$C = \sqrt{\frac{1}{K}} \quad (107)$$

การคำนวณการไหลผ่านฝาย (Weir Flow Computation)

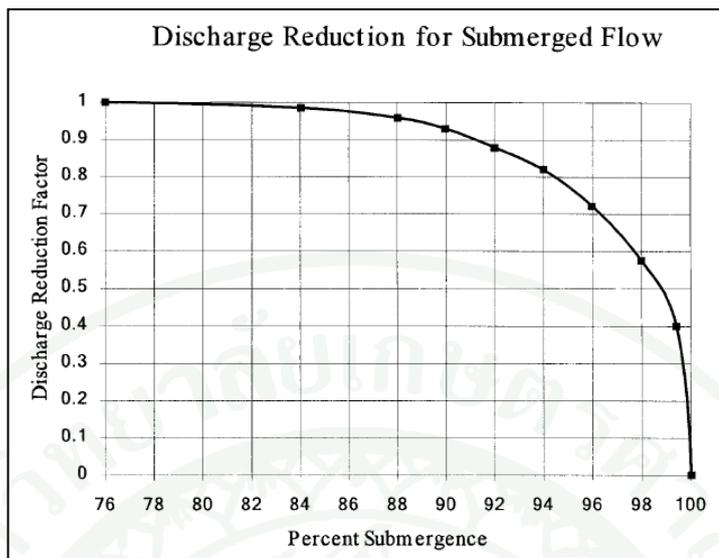
การไหลข้ามสะพานดังแสดงในภาพที่ 19 คำนวณได้โดยใช้สมการของฝายดังสมการที่ 108



ภาพที่ 19 ภาพของการไหลข้ามสะพานแบบฝายและแรงดัน

$$Q = CLH^{3/2} \quad (108)$$

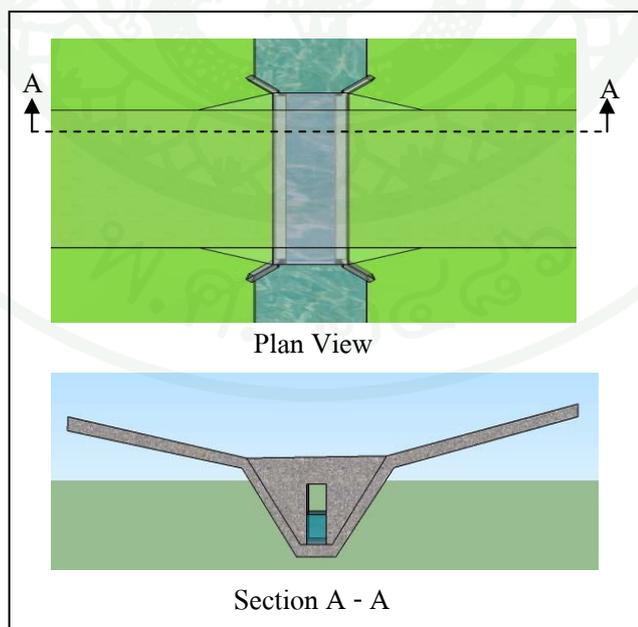
เมื่อ	Q	= Total flow over the weir
	C	= Coefficient of discharge for weir flow
	L	= Effective length of the weir
	H	= Difference between energy upstream and road crest



ภาพที่ 20 แฟคเตอร์ปรับลดการไหลแบบฝายสำหรับการไหลแบบจมน้ำ

ที่มา: Gary (2002)

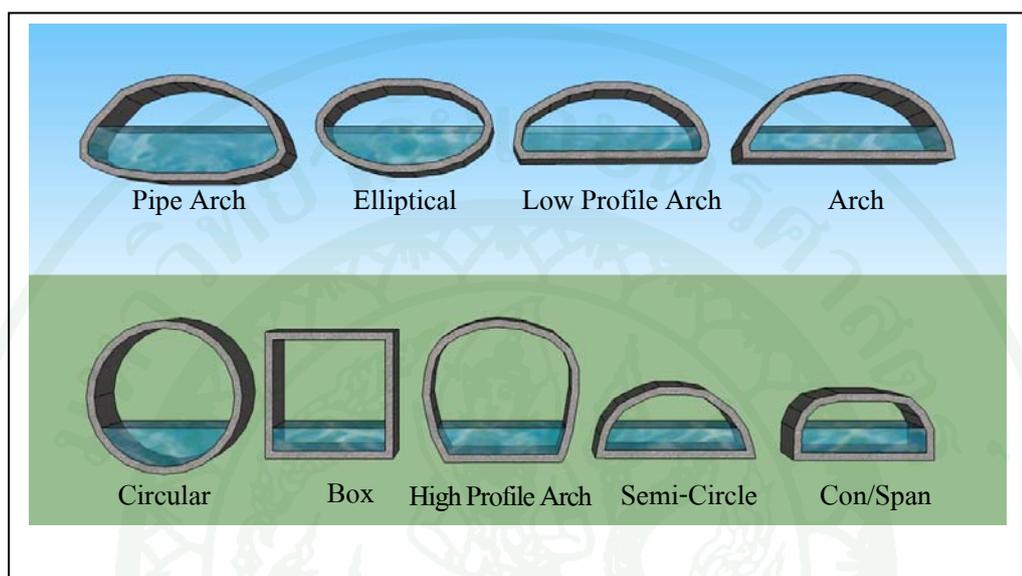
การจำลองท่อลอด (Modeling Culverts)



ภาพที่ 21 ภาพทั่วไปของท่อลอดซึ่งสร้างลอดถนน

ชนิดของท่อลอด (Type of Culverts)

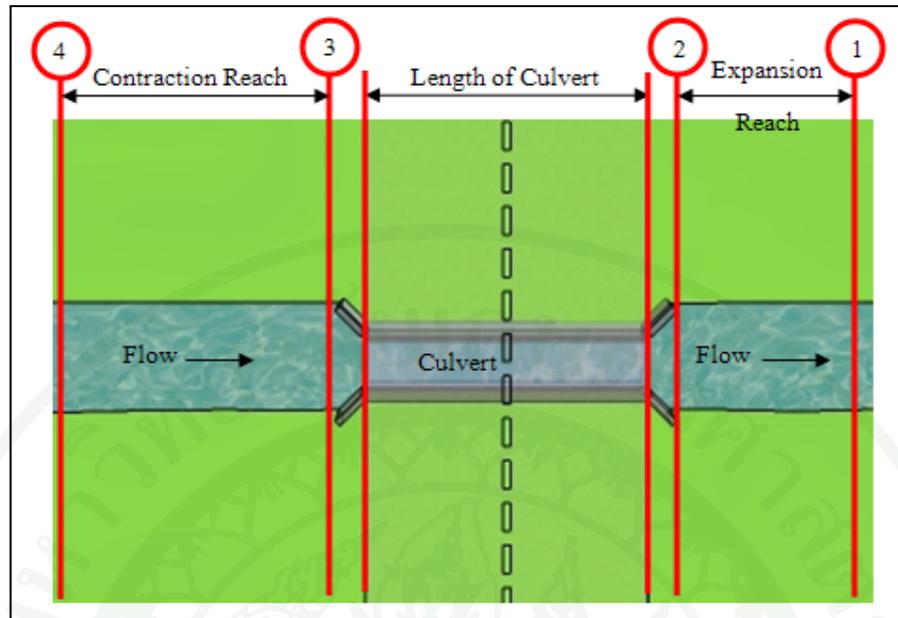
HEC-RAS สามารถจำลองหน้าตัดของท่อลอดได้ 9 รูปแบบดังแสดงในภาพที่ 22



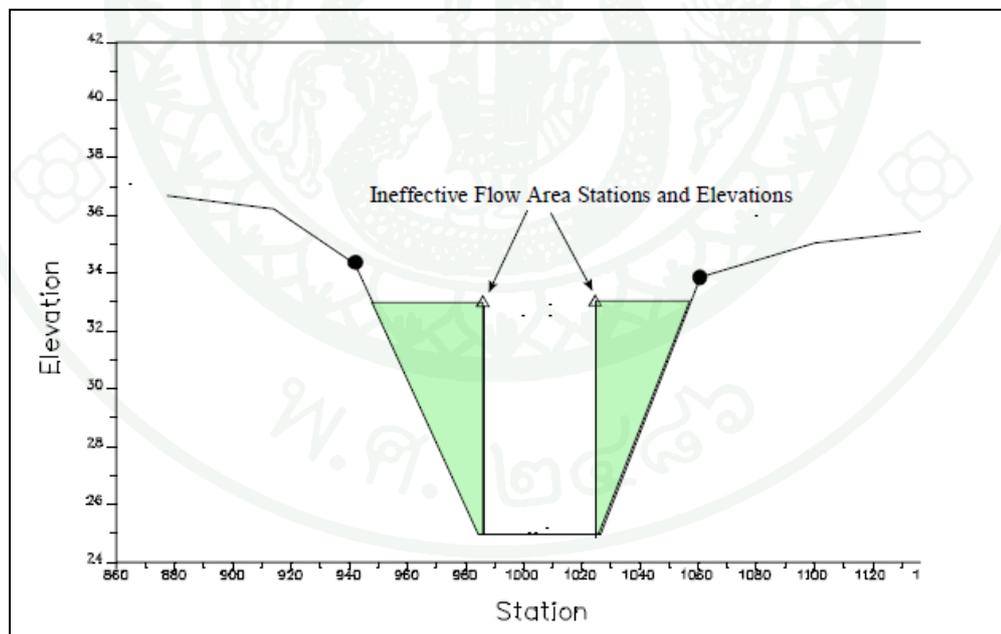
ภาพที่ 22 รูปแบบหน้าตัดที่ใช้ทั่วไปของท่อลอด

ตำแหน่งหน้าตัด (Cross Section Location)

ภาพที่ 23 แสดงถึงตำแหน่งหน้าตัดที่ต้องการสำหรับการจำลองท่อลอด หน้าตัดที่ 1 อยู่ในตำแหน่งที่การขยายตัวเต็มที่เกิดจากการบีบแคบเข้าของท่อลอด ซึ่งระยะห่างของหน้าตัดสามารถใช้ข้อกำหนดของการจำลองสะพานได้ หน้าตัดที่ 2 เป็นตำแหน่งที่ใกล้กับปากทางออกของท่อลอด ด้านท้ายน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 23 และภาพที่ 24 หน้าตัดที่ 3 เป็นตำแหน่งที่ใกล้กับปากทางออกของท่อลอดด้านเหนือน้ำ หน้าตัดที่ 4 เป็นตำแหน่งที่ยังไม่เริ่มมีการบีบแคบเข้าของการไหลเนื่องจากการไหลเข้าท่อลอด

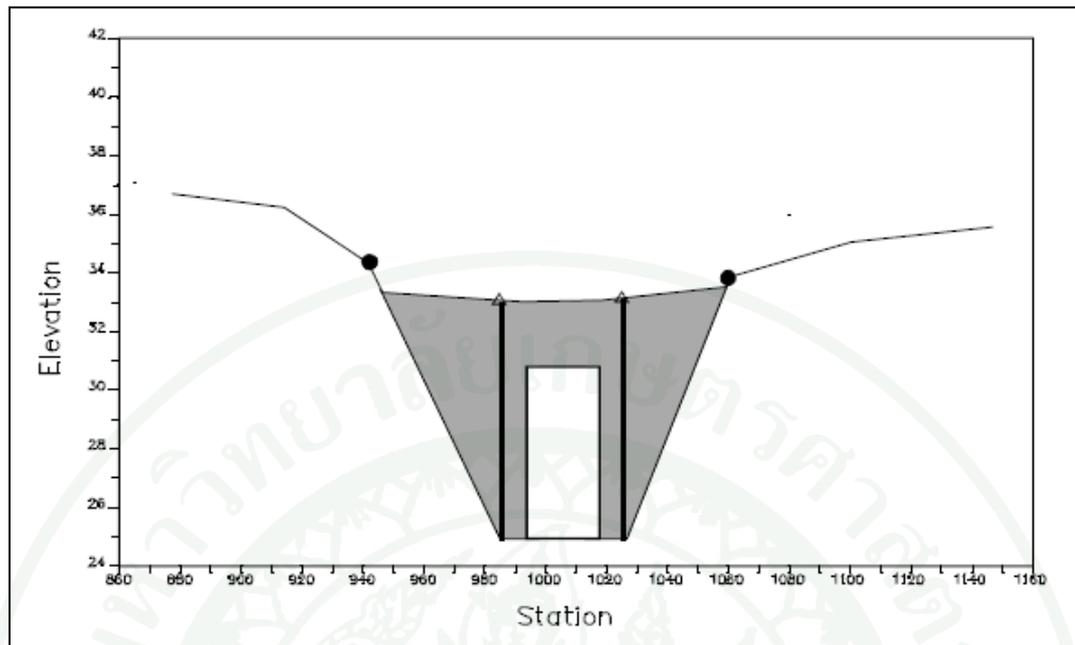


ภาพที่ 23 ตำแหน่งหน้าตัดสำหรับการจำลองแบบท่อลอด



ภาพที่ 24 หน้าตัดที่ 2 ของท่อลอด

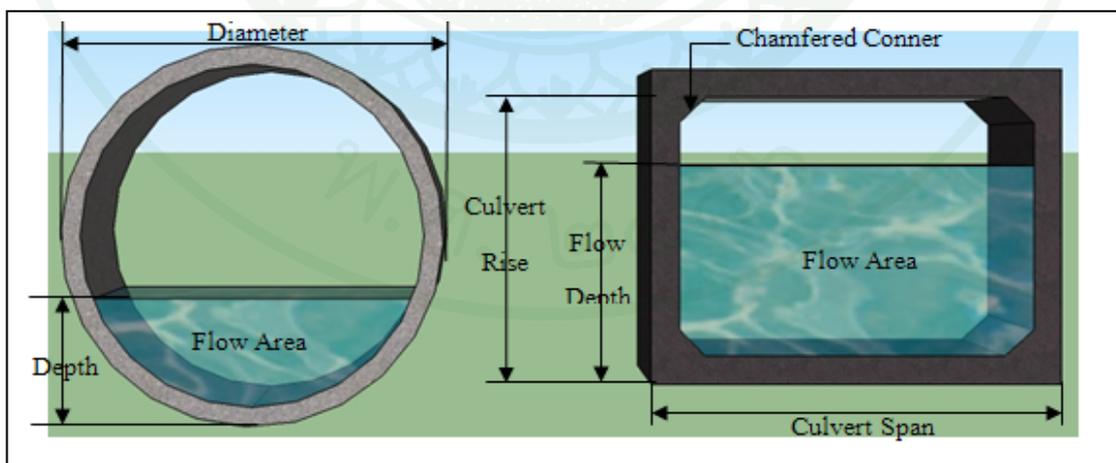
ที่มา: Gary (2002)



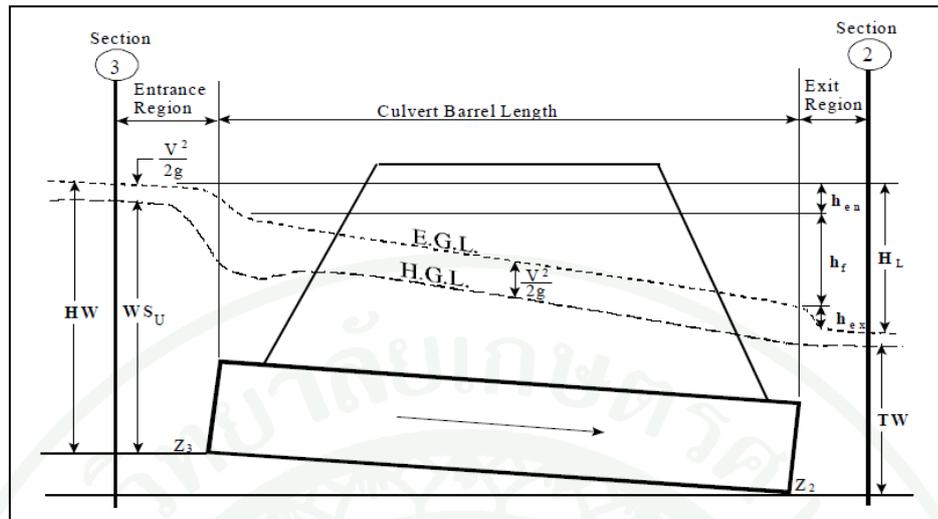
ภาพที่ 25 หน้าตัดที่ 3 ของท่อลอด

ที่มา: Gary (2002)

ชลศาสตร์ของท่อลอด (Culvert Hydraulics)



ภาพที่ 26 หน้าตัดของท่อลอดรูปวงกลมและท่อลอดเหลี่ยมตามลำดับ



ภาพที่ 27 การไหลแบบเต็มท่อที่สัมพันธ์กับเส้นพลังงานและเส้นชลศาสตร์

ที่มา: Gary (2002)

ท้ายน้ำ (Tailwater) ที่ที่ตลอดคือความลึกของน้ำที่ทางออกหรือด้านท้ายน้ำของท่อตลอด แสดงเป็นสัญลักษณ์ TW

ต้นน้ำ (Headwater) หรือ HW คือความลึกจากปากทางเข้าถึงเส้นพลังงาน

ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ (Upstream Water Surface) หรือ WSu คือความลึกของน้ำบริเวณทางเข้าหรือด้านเหนือน้ำของท่อตลอด

พลังงานรวม (Total Energy) ที่ตำแหน่งใดๆ เท่ากับความลึกของน้ำบวกกับเขตความเร็ว

การคำนวณ Headwater ที่ช่องทางรับน้ำ (Computing Inlet Control Headwater)

ทางน้ำเข้าแบบไม่จมน้ำ

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S \quad (108)$$

$$\frac{HW_i}{D} = K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M \quad (109)$$

ทางน้ำเข้าแบบจมน้ำ

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S \quad (110)$$

เมื่อ	HW_i	= Headwater energy depth above the invert of the culvert inlet
	D	= Interior height of the culvert barrel
	H_c	= Specific head at critical depth ($d_c + V_c^2 / 2g$)
	Q	= Discharge through the culvert
	A	= Full cross sectional area of the culvert barrel
	S	= Culvert barrel slope
	K, M, c, Y	= Equation constants, which vary depending on culvert shape and entrance conditions

การคำนวณ Headwater ที่ช่องทางน้ำออก (Computing Outlet Control Headwater)

$$Z_3 + Y_3 + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_L \quad (111)$$

เมื่อ	Z_3	= Upstream invert elevation of the culvert
	Y_3	= The depth of water above the upstream culvert inlet
	V_3	= The average velocity upstream of the culvert
	α_3	= The velocity weighting coefficient upstream of the culvert
	g	= The acceleration of gravity
	Z_2	= Downstream invert elevation of the culvert
	Y_2	= The depth of water above the downstream culvert inlet
	V_2	= The average velocity downstream of the culvert
	α_2	= The velocity weighting coefficient downstream of the culvert
	H_L	= Total energy loss through the culvert (from section 2 to 3)

สมการ FHWA Full Flow

$$H_L = h_{en} + h_f + h_{ex} \quad (112)$$

เมื่อ	h_{en}	= entrance loss
	h_f	= friction loss
	h_{ex}	= exit loss

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อลอดคำนวณโดยใช้สูตรของ Manning's ซึ่งแสดงในสมการที่ 113

$$h_f = L \left(\frac{Qn}{1.486AR^{2/3}} \right)^2 \quad (113)$$

เมื่อ	h_f	= friction loss
	L	= culvert length
	Q	= flow rate in the culvert
	n	= Manning's roughness coefficient
	A	= area of flow
	R	= hydraulic radius

การคำนวณรูปตัดตามยาวผิวน้ำด้วยวิธี Direct Step (Direct Step Water Surface Profile)

สำหรับการไหลแบบไม่เต็มท่อ รูปตัดตามยาวผิวน้ำในท่อลอดคำนวณโดยใช้วิธี Direct Step วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากเนื่องจากไม่ต้องวนซ้ำ คือต้องการหาความลึกการไหลของแต่ละ Step รูปตัดตามยาวผิวน้ำจะถูกคำนวณด้วยความลึกที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (โดยปกติจะอยู่ระหว่าง 0.01 และ 0.05 ฟุต) ถ้าความลึกการไหลเท่ากับความสูงของท่อลอดก่อนถึงปลายสุดของท่อลอดด้านเหนือน้ำ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานในส่วนที่เหลืออยู่ในท่อลอดนั้นจะถูกคำนวณโดยสมมุติการไหลเป็นการไหลแบบเต็มท่อ สมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงในสมการที่ 114

$$Z_C + Y_C + \frac{\alpha_L V_C^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_{ex} \quad (114)$$

เมื่อ	Z_C	= Elevation of the culvert invert at the downstream end
	Y_C	= Depth of flow inside culvert at downstream end
	V_C	= Velocity inside culvert at downstream end
	Z_2	= Invert elevation of the cross section downstream of culvert (Cross Section 2 from Figure 26)
	Y_2	= Depth of water at Cross Section 2
	V_2	= Average velocity of flow at Section 2

ความลึกการไหลปกติในท่อลอด (Normal Depth of Flow in Culvert)

ความลึกการไหลปกติคำนวณได้จากสมการของ Manning ดังนี้

$$Q = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} \quad (115)$$

เมื่อ	Q	= flow rate in the channel
	n	= Manning's roughness coefficient
	A	= area of flow
	R	= hydraulic radius
	S_f	= slope of energy grade line

ถ้าความลึกการไหลปกติมีค่ามากกว่าขนาดท่อ โปรแกรมจะกำหนดให้ค่าความลึกการไหลเท่ากับขนาดท่อ

ความลึกการไหลวิกฤตในท่อลอด (Critical Depth of Flow in Culvert)

ความลึกวิกฤต เกิดขึ้นเมื่อการไหลในคลองมีค่าพลังงานจำเพาะน้อย พลังงานจำเพาะเป็นผลรวมของความลึกการไหลและเสถศความเร็ว ความลึกวิกฤตขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลองและอัตราการไหล

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \quad (116)$$

เมื่อ	Q	= flow rate in the channel
	g	= acceleration due to gravity
	A	= cross-sectional area of flow
	T	= top width of flow

ความลึกวิกฤตของท่อลอดเหลี่ยมสามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากสมการ

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (117)$$

เมื่อ	y_c	= critical depth
	q	= unit discharge per linear foot of width
	g	= acceleration due to gravity

สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า (Entrance Loss Coefficient)

$$h_{en} = k_{en} \frac{V_{en}^2}{2g} \quad (118)$$

เมื่อ	h_{en}	= Energy loss due to the entrance
	k_{en}	= Entrance loss coefficient
	V_{en}	= Flow velocity inside the culvert at the entrance

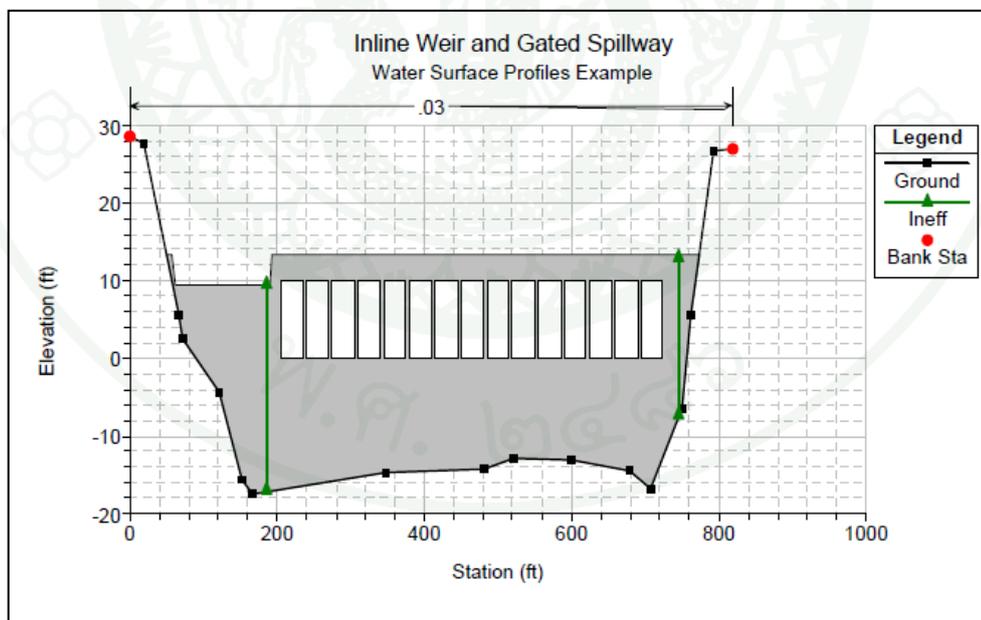
g = Acceleration due to gravity

สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานที่ทางออก (Exit Loss Coefficient)

$$h_{ex} = k_{ex} \left(\frac{\alpha_{ex} V_{ex}^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right) \quad (119)$$

เมื่อ h_{ex} = Energy loss due to the exit
 k_{ex} = Exit loss coefficient
 V_{ex} = Flow velocity inside the culvert at the exit
 V_2 = Velocity outside of culvert at downstream cross section

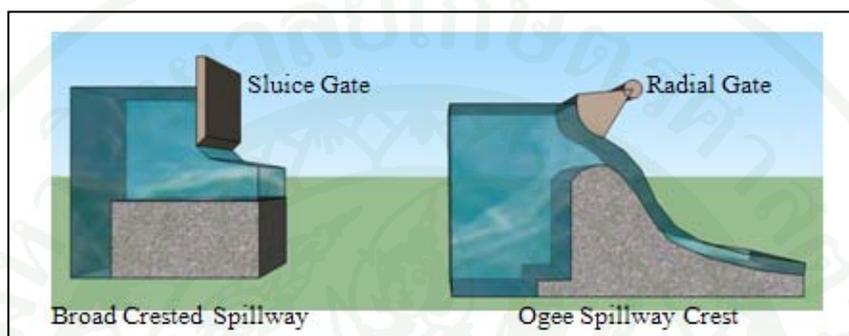
การจำลองอาคารทางระบายน้ำสันแบบมีบาน ฝาย และ อาคารลดระดับน้ำ (Modeling Gated Spillways, Weirs and Drop Structures)



ภาพที่ 28 ตัวอย่างของอาคารทางระบายน้ำสันและฝาย

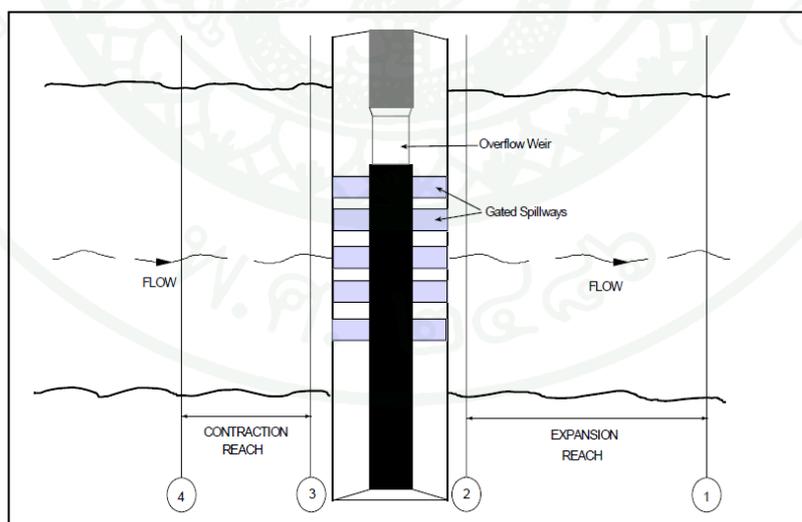
ที่มา: Gary (2002)

อาคารทางระบายน้ำล้น แบบมีบานและฝาย เป็นทางเลือกใน HEC-RAS สามารถใช้จำลอง โครงสร้างขวางทางน้ำสายหลัก หรือการไหลเข้าด้านข้าง ตัวอย่างของเขื่อนซึ่งมีบานระบายน้ำล้น และฝายน้ำล้นดังแสดงในภาพที่ 28 ซึ่งในภาพมีบานเปิด 15 บานและด้านบนของคันมีฝายน้ำล้น ประตูละบายน้ำล้นใน HEC-RAS สามารถจำลองเป็นแบบบานโค้ง (Radial Gate) หรือประตูละบายน้ำแบบยกบานแนวตั้ง (Vertical Lift Gate หรือ Sluice Gate) ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ตัวอย่างประตูละบายน้ำแบบยกบานแนวตั้งและประตูละบายน้ำแบบบานโค้ง

ตำแหน่งของหน้าตัด (Cross Section Location)



ภาพที่ 30 ตำแหน่งหน้าตัดสำหรับประตูละบายน้ำล้น และฝายสำหรับน้ำล้น

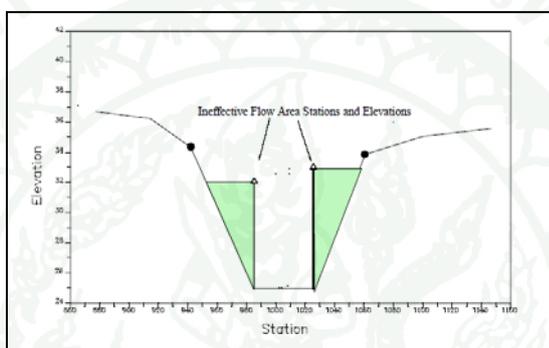
ที่มา: Gary (2002)

หน้าตัดที่ 1 สำหรับฝาย และ/หรือ ประตูระบายน้ำล้นควรจะอยู่ในตำแหน่งที่การไหลมีการขยายตัวอย่างเต็มที่ดังแสดงในภาพที่ 30

หน้าตัดที่ 2 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับโครงสร้างทางด้านท้ายน้ำดังแสดงในภาพที่ 30 และภาพที่ 31

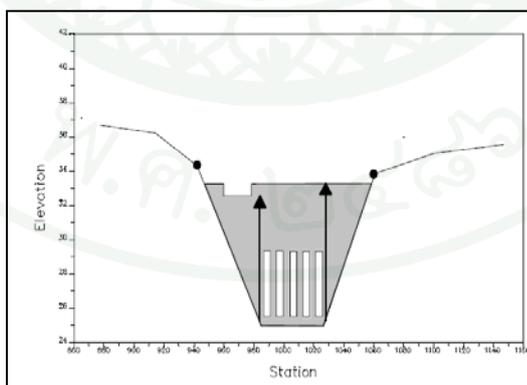
หน้าตัดที่ 3 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับโครงสร้างด้านเหนือน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 30 และภาพที่ 32

หน้าตัดที่ 4 เป็นตำแหน่งที่ยังไม่เริ่มมีการบีบแคบเข้าของการไหลดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 31 ตำแหน่งหน้าตัด 2 ของการจำลองประตูระบายน้ำล้น และฝายสำหรับน้ำล้น

ที่มา: Gary (2002)

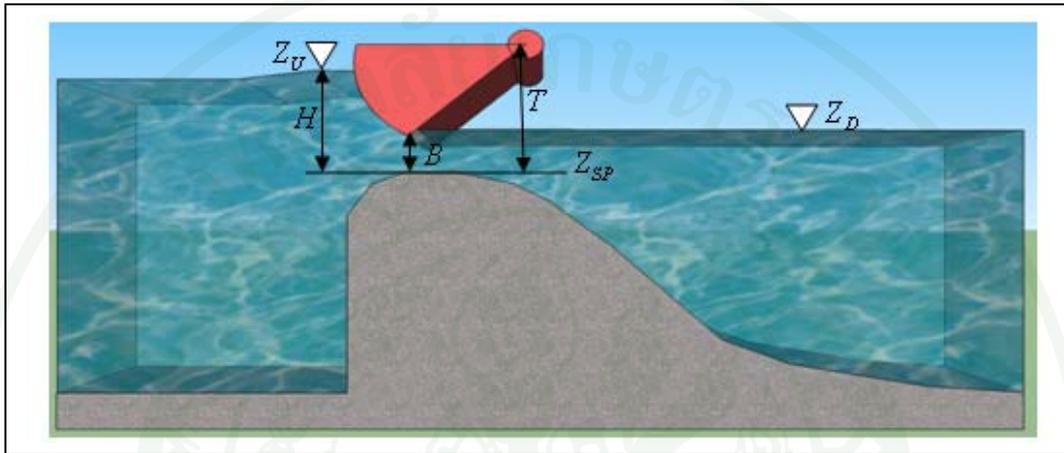


ภาพที่ 32 ตำแหน่งหน้าตัด 3 ของการจำลองประตูระบายน้ำล้น และฝายสำหรับน้ำล้น

ที่มา: Gary (2002)

การคำนวณชลศาสตร์ที่ไหลผ่านประตูระบายน้ำล้น (Hydraulic Computations through Gated Spillways)

ประตูระบายน้ำบานโค้ง (Radial Gates)



ภาพที่ 33 ตัวอย่างภาพประตูระบายน้ำบานโค้งกับฝายสันมนโอ๊ก

กรณีการไหลแบบอิสระ (Free Flow)

$$Q = C \sqrt{2g} W T^{TE} B^{BE} H^{HE} \quad (120)$$

เมื่อ	Q	= Flow rate
	C	= Discharge coefficient (typically ranges from 0.6 - 0.8)
	W	= Width of the gated spillway
	T	= Trunnion height (from spillway crest to trunnion pivot point)
	TE	= Trunnion height exponent, typically about 0.16 (default 0.0)
	B	= Height of gate opening
	BE	= Gate opening exponent, typically about 0.72 (default 1.0)
	H	= Upstream Energy Head above the spillway crest $Z_U - Z_{SP}$
	HE	= Head exponent, typically about 0.62 (default 0.5)

- Z_U = Elevation of the upstream energy grade line
 Z_D = Elevation of the downstream water surface
 Z_{SP} = Elevation of the spillway crest through the gate

เมื่อระดับน้ำท้ายน้ำเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ประตูไม่มีการไหลได้อย่างอิสระ โปรแกรมจะสลับไปใช้สมการที่ 121

$$Q = C\sqrt{2g}WT^{TE}B^{BE}(3H)^{HE} \quad (121)$$

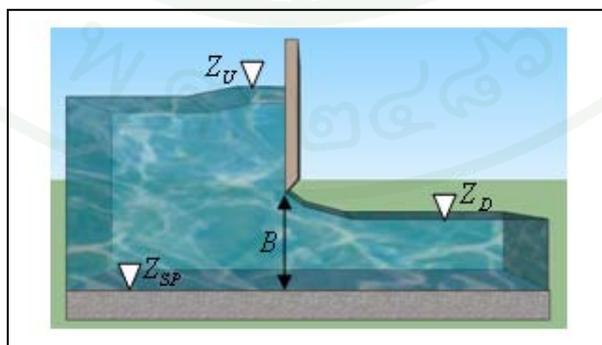
เมื่อ $H = Z_U - Z_D$

กรณีการไหลแบบจมน้ำ (Submerge Flow)

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (122)$$

- เมื่อ A = Area of the gate opening.
 $H = Z_U - Z_D$
 C = Discharge coefficient (typically 0.8)

ประตูระบายน้ำแบบบานยกแนวตั้ง (Sluice Gates)



ภาพที่ 34 ตัวอย่างภาพประตูระบายน้ำแบบยกแนวตั้งกับสันฝายของทางน้ำล้น

กรณีการไหลแบบอิสระ (Free Flow)

$$Q = CWB\sqrt{2gH} \quad (123)$$

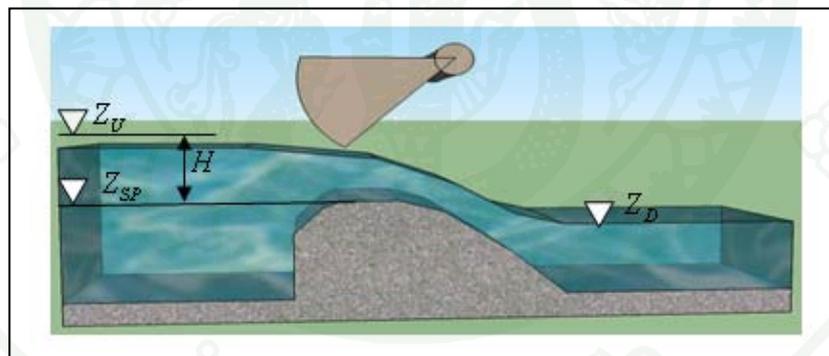
เมื่อ H = Upstream energy head above the spillway crest ($Z_U - Z_{SP}$)
 C = Coefficient of discharge, typically 0.5 to 0.7

กรณีการไหลแบบจมน้ำ (Submerge Flow)

$$Q = CWB\sqrt{2g3H} \quad (124)$$

เมื่อ $H = Z_U - Z_D$

อัตราการไหลน้อยๆ ผ่านบานระบาย (Low Flow Through The Gates)

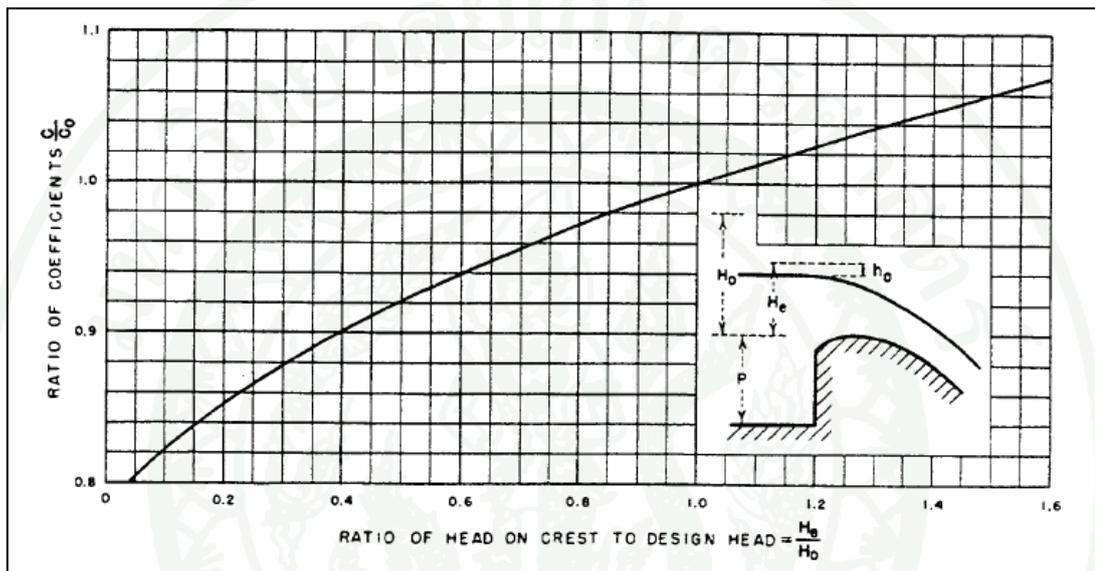


ภาพที่ 35 ตัวอย่างประตูระบายน้ำบานโค้งภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบน้อยๆ

สมการที่ใช้คือ

$$Q = CLH^{3/2} \quad (125)$$

- เมื่อ C = Weir flow coefficient, typical values will range from 2.6 to 4.0 depending upon the shape of the spillway crest (i.e., broad crested or ogee shaped).
- L = Length of the spillway crest.
- H = Upstream energy head above the spillway crest.



ภาพที่ 36 สัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝาย

ที่มา: Gary (2002)

การศึกษาแบบจำลองที่ผ่านมา

วินัย (2554) การประเมินความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วมโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ทางด้านอุทกวิทยา และ Hydrodynamics ซึ่งการประเมินลักษณะการไหลบ่าและน้ำท่วมได้ใช้แบบจำลอง SWAT และใช้แบบจำลอง ISIS สำหรับการศึกษาทางอุทกวิทยา พื้นที่ที่ประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วมคือ กลุ่มน้ำเลย จังหวัดเลย และได้เลือกเหตุการณ์น้ำท่วมที่เกิดขึ้นในปี 2545 ซึ่งเป็นเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่เป็นกรณีศึกษา ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของกลุ่มน้ำเลยคือ 1,685 ล้านลูกบาศก์เมตร และในปี 2545 มีพื้นที่น้ำท่วม 101 ตารางกิโลเมตร ทางเลือกสำหรับการป้องกันและบรรเทาอุทกภัยได้ศึกษา 3 ทางเลือก คือ หนึ่งการปรับปรุงคลอง แม่น้ำ หรือทางน้ำ สองการผันน้ำ และสามการสร้างอ่างเก็บน้ำ ผลจากการสร้างอ่างเก็บน้ำ สามารถลดอัตราการไหลลงได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนกันยายน และพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมลดลง 105.62 – 80.13 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ และระยะเวลาของน้ำท่วมในพื้นที่ลดลงเช่นกัน

นิรัช และคณะ (2552) คณะกรรมการแม่น้ำโขง ได้พัฒนาเครื่องมือใช้สำหรับการตัดสินใจในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ The Decision Support Framework (DSF) ในชุดเครื่องมือ DSF ประกอบด้วย 1) ฐานข้อมูล (Knowledge base) ด้านทรัพยากรน้ำ ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ-สังคมและสิ่งแวดล้อมในกลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง 2) แบบจำลองคณิตศาสตร์ประกอบด้วย 2.1) แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT 2.2) แบบจำลองรวมด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำ IQQM และ 2.3) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ISIS 3) ชุดเครื่องมือการวิเคราะห์ผลกระทบ (Impact Analysis Tools) สำหรับการศึกษาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในแม่น้ำโขง โดยการเชื่อมโยงผลจากแบบจำลองคณิตศาสตร์และฐานข้อมูลสำหรับวิเคราะห์และตัดสินใจในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ของประเทศสมาชิก คณะกรรมการแม่น้ำโขง กรมทรัพยากรน้ำ ได้มีการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (ISIS) เพื่อศึกษาวิเคราะห์สภาพการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาห้วยโงงในกลุ่มน้ำโขง ผลการศึกษาโดยการสอบเทียบ (ปี 2538 ถึง 2545) พบว่าการคำนวณค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง ISIS สอดคล้องกับค่าที่ได้จากตรวจวัดเป็นอย่างดี โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.87 ถึง 0.92 ค่าความน่าเชื่อถือคือ Coefficient of Efficiency (COE) อยู่ระหว่าง 0.78 ถึง 0.91 และการตรวจพิสูจน์แบบจำลองกับเหตุการณ์น้ำท่วม (ปี 2546 และ 2547) ให้ค่า R^2 ระหว่าง 0.78 ถึง 0.87 ค่า และ COE ระหว่าง 0.66 ถึง 0.84 นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์เครื่องมือย่อยสำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Delta Mapper คำนวณหาพื้นที่น้ำท่วมเพื่อจัดทำเป็นแผนที่น้ำท่วมอีกด้วย

วิระพงษ์ (2548) การศึกษาการจัดการและควบคุมน้ำท่วม โดยการใช้โปรแกรม HEC-ResSim ในลุ่มน้ำน่านตอนล่าง วัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนะแนวทางในการจัดการบรรเทาปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนล่าง เพื่อเปรียบเทียบหาการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่จะสามารถบรรเทาปัญหาน้ำท่วม โดยพิจารณาการควบคุมการปล่อยน้ำที่เขื่อนสิริกิติ์ และพิจารณาการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันของเขื่อนสิริกิติ์และเขื่อนแควน้อยเมื่อก่อสร้างเสร็จ ข้อมูลที่ใช้คืออัตราการไหลของสถานีวัดน้ำ 9 สถานีในลุ่มน้ำน่าน และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ได้จากการประเมินโดยแบบจำลอง HEC-HMS เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง HEC-ResSim ใช้ข้อมูลอัตราการไหลของลุ่มน้ำน่าน ปี พ.ศ.2538 ในการสอบเทียบแบบจำลองและตรวจสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลอัตราการไหลของลุ่มน้ำน่าน ปี พ.ศ.2539 จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาพบว่า การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันของเขื่อนสิริกิติ์กับเขื่อนแควน้อยสามารถควบคุมและบรรเทาน้ำท่วมได้เป็นอย่างดี

เกษม (2548) ศึกษาสภาพอุทกวิทยาของลุ่มน้ำน่าน โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันที่มีความต่อเนื่องทั้งลุ่มน้ำพร้อมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในลุ่มน้ำน่าน ใช้ข้อมูลน้ำฝนรายวัน ข้อมูลปริมาณการระเหยรายเดือน และค่าเงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลอง ผลที่ได้จากแบบจำลอง ประกอบด้วย กราฟน้ำท่ารายวัน ปริมาณการไหลพื้นฐาน ปริมาณฝนส่วนเกิน การปรับเทียบและตรวจสอบแบบจำลองโดยใช้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบประเมินกับน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ผลการจำลองกราฟน้ำท่าพบว่าปริมาณน้ำท่าที่ไหลรวมทั้งปีและอัตราการไหลสูงสุดรายวัน เปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองมีความแตกต่างกันเฉลี่ย 23.62% และ 11.79% ตามลำดับ ผลการศึกษาสามารถนำมาใช้ในการจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำน่านได้

กฤษณ์ (2545) การปรับปรุงแบบจำลอง HEC-5 ไปเป็น MHEC5HD Version 1.0 เพื่อคำนวณการไหลแบบไม่คงตัวและกำหนดพื้นที่เป้าหมายเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม โดยแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการอนุรักษ์ ซึ่งกำหนดให้แบบจำลองสามารถผันแปรพื้นที่เป้าหมายเพาะปลูกพืชฤดูแล้งให้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำโดยใช้กราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง และส่วนการเพิ่มขีดความสามารถให้แบบจำลอง สามารถจำลองลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ หลังจากการพัฒนาผู้วิจัยได้เลือกอ่างเก็บน้ำลำคันทอง จังหวัดชัยภูมิ และลุ่มน้ำป่าสักตั้งแต่ท้ายเขื่อนป่าสักจนถึงประตูระบายน้ำพระรามที่ 6 โดยเปรียบเทียบกับผลการศึกษาระบบอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง WUSMO Version 5.0 ผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก

ในส่วนผลการศึกษาระดับน้ำท่วมด้วยแบบจำลอง MHEC5HD Version 1.0 เปรียบเทียบกับแบบจำลอง MIKE 11 ที่คาบการเกิดซ้ำ 100 ปี มีความแตกต่างกันประมาณ 2%

สุภารัตน์ (ม.ป.ป.) ศึกษาการจำลองสภาพพื้นที่แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ร่วมกับแบบจำลองทางชลศาสตร์ HEC-RAS เพื่อแสดงพื้นที่น้ำท่วมระดับน้ำท่วม เพื่อเตรียมการแก้ไขสถานการณ์น้ำท่วม ข้อมูลที่นำเข้าอยู่ในรูป *.shp ซึ่งได้มาจากการสร้างฐานข้อมูลใน ArcGIS 9.2 ผลการศึกษาพบว่าการใช้แบบจำลอง HEC-RAS กับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เมื่อนำมาใช้ร่วมกันจะทำให้แบบจำลองและการนำเสนอพื้นที่เป็นไปได้อย่างสมบูรณ์และสามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ เช่น น้ำท่วมได้

ประดิษฐ์ (2551) ผลกระทบของสะพานและฝายต่อระดับน้ำท่วมในลำน้ำปิง ผ่านเมืองเชียงใหม่ เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในช่วงน้ำหลาก เป็นผลมาจากสะพานและฝายในแม่น้ำปิง และ ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหา หรือบรรเทาความเสียหายที่เกิดจากน้ำล้นตลิ่งในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้โปรแกรม HEC-RAS ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ทำให้ระดับน้ำสูงประกอบด้วย การรูก่ลำนน้ำ จำนวนตอม่อสะพาน ระดับท้องสะพาน และค่าระดับสันฝาย ทั้งสามแห่ง ซึ่งสะพานที่ส่งผลกระทบต่อระดับน้ำสูงคือ สะพานรัตนโกสินทร์ สะพานเมงราย และสะพานป่าแดด แนวทางการแก้ปัญหาหรือบรรเทาความเสียหายที่เกิดจากน้ำล้นตลิ่งในเมืองเชียงใหม่ คือ การขยายความกว้างของลำน้ำปิง การรื้อหรือการปรับปรุงสะพานรัตนโกสินทร์ สะพานเมงราย และสะพานป่าแดด การรื้อหรือปรับปรุงฝายทั้งสามแห่งโดยการสร้างประตูน้ำหรือสร้างฝายยาง และแนวทางการลดปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าตัวเมืองเชียงใหม่โดยการสร้างโครงการชลประทานขนาดใหญ่ บริเวณลุ่มน้ำแม่แตง

อุดร (2543) การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์กับสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับงานน้ำท่วมในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่มีผลกระทบต่อการเกิดน้ำท่วมในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างที่คาบการเกิดซ้ำที่ 2 ปี ถึง 200 ปี โดยใช้โปรแกรม Mapinfo for windows ในการจัดการข้อมูลในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ผลที่ได้จากแบบจำลอง HEC-RAS สามารถนำไปเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อแสดงพื้นที่น้ำท่วมและระดับน้ำท่วมซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้น ณ คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ในระดับจังหวัดและอำเภอ

ชัชวาลย์ และ ประดิษฐ์ (ม.ป.ป.) ผลกระทบของสะพานและฝายในลำน้ำปิง ในเมืองเชียงใหม่ ช่วงเทศบาลนครเชียงใหม่ สะพานป่าตัน ถึงฝายท่าวังตาล ต่อสภาพน้ำท่วมเพื่อศึกษาการ

เพิ่มขึ้นของระดับน้ำในช่วงน้ำหลาก การเสียพลังงานการไหลผ่านสิ่งกีดขวางลำน้ำ แนวทางแก้ปัญหา หรือลดความเสียหายที่เกิดจากน้ำล้นตลิ่งในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้โปรแกรม HEC-RAS คำนวณหาค่าระดับที่ไหลผ่านสะพานป่าแดด บริเวณสำนักงานตำรวจภูธรภาค 5 ด้วยอัตราการไหลสูงสุดในปี พ.ศ. 2548 คือ 747 m³/s ทำให้เห็นถึงผลต่างของระดับน้ำก่อนและหลังผ่านตอม่อสะพานซึ่งผลต่างคือ 0.12 m. ด้วยผลต่างนี้ เมื่อนำไปหาค่าพลังงานจำเพาะ จะเห็นว่ามีผลต่างของพลังงานเกิดขึ้น ซึ่งผลต่างของพลังงานนี้เกิดจากการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการไหลผ่านตอม่อสะพาน ซึ่งหากสามารถรักษาพลังงานส่วนนี้ไว้จะช่วยให้การไหลของน้ำในทางน้ำไหลได้อย่างรวดเร็วขึ้น

มาโนช (2547) การจัดการน้ำในพื้นที่น้ำท่วมขังของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช ข้อมูลที่ใช้ในการประมวล การใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการน้ำในปีน้ำปกติ ความเสียหายในกรณีที่ดินที่ถูกใช้เป็นแก้มลิงเพื่อบรรเทาอุทกภัย ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ 1:4,000 ปี 2538 และสภาพภูมิประเทศ ประมวลผลโดยโปรแกรม Mapinfo Version 7.0, Vertical Mapper วิเคราะห์โดยใช้ GIS แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับการเก็บกักแต่ละหน่วยระบายน้ำ การสัมภาษณ์เกษตรกรภายในพื้นที่ศึกษา ผลจากการวิเคราะห์พบว่าสามารถแบ่งเป็นหน่วยระบายน้ำหลัก 5 หน่วยระบายน้ำ การจัดการน้ำในหน่วยระบายน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ คือ ระยะเริ่มดำเนินการเพาะปลูก ระยะเก็บสะสมน้ำ ระยะควบคุมน้ำ และระยะระบายน้ำเพื่อการเก็บเกี่ยว จากการประมาณความจุที่ระดับเก็บกักควบคุมปกติ 5 หน่วยระบายน้ำ พบว่ามีความจุประมาณ 370 ล้าน ลบ.ม.กรณีการใช้ประโยชน์จากหน่วยระบายน้ำเป็นแก้มลิง โดยการรับน้ำเกินพิภคอีก 50 ซม. และที่ระดับเก็บกักสูงสุดพบว่า ความจุเพิ่มจากระดับเก็บกักควบคุมปกติ 250 ล้านลบ.ม. และ 495 ล้านลบ.ม. ตามลำดับการประเมินราคาค่าชดเชยคิดเป็นส่วนของมูลค่ากรณีที่เกิดผลกระทบต่อข้าวอย่างเดียวนั้นมีค่าสูงสุดประมาณอยู่ที่ 388 ล้านบาท ได้เสนอการประยุกต์ใช้ GIS เพื่อเป็นเครื่องมือเฝ้าติดตามการจัดการน้ำรายวันและติดตามน้ำท่วมซึ่งสะดวกแก่การมองเห็นสภาพน้ำในหน่วยระบายน้ำเชิงพื้นที่ และช่วยให้ง่ายต่อการตัดสินใจ

วริยา (2543) การพยากรณ์สภาพการเกิดน้ำท่วมของแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ RUBICON ซึ่งเป็นแบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์ที่สามารถจำลองการไหลได้ตรงกับสภาพจริงคือการไหลไม่คงที่กับเวลาและสถานที่ โดยได้กำหนดจุดควบคุมด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำบนแม่น้ำปราจีนบุรีที่สถานี KGT.3 และบนแม่น้ำนครนายกที่ประตูระบายน้ำบางเฒ่า และ

เนื่องจากไม่มีสถานีวัดน้ำทำเพื่อวัดปริมาณการไหลด้านข้างระหว่างจุดควบคุมเหนือน้ำและท้ายน้ำ ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้แบบจำลอง SCS และกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำในการหาค่า สปส.ความขรุขระของ manning's n ทั้งในแม่น้ำและทุ่งน้ำท่วมของในแต่ละรูปตัดขวางสำหรับในส่วนของ การวิเคราะห์ความถี่ปริมาณน้ำหลากสำหรับจุดควบคุมด้านเหนือน้ำและการไหลเข้าด้านข้างใช้การแจกแจงความถี่ด้วยวิธี กัมเบล จากการศึกษาพบว่าระดับน้ำสูงสุดหลังจากก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกง สูงกว่าก่อนมีการก่อสร้างไม่มากและพบว่าระดับน้ำท่วมสูงสุดเกิดที่บริเวณอำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี เท่ากับ 4.81 เมตร (รทก.) ซึ่งส่งผลให้น้ำล้นคันกันน้ำด้านขวาสูง 1.78 เมตร (รทก.)

ณัฐพล (2551) ศึกษาสภาพน้ำท่วมขังในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน โดยการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ร่วมกับการใช้แบบจำลองลุ่มน้ำ โดยการจำแนกขอบเขตและระดับความรุนแรงของน้ำท่วมขังใช้ข้อมูล MODIS ของดาวเทียม Terra/Aqua การประเมินปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่พื้นที่น้ำท่วมขังได้ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า GR (Genie Rural Model) สำหรับประเมินปริมาณน้ำหลากจากพื้นที่ธรรมชาตินอกเขตชลประทาน ส่วนปริมาณน้ำส่วนเกินจากพื้นที่ชลประทานประเมินโดยใช้แบบจำลอง WEAP ผลจากการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีสภาพน้ำท่วมขังในระดับรุนแรงอยู่บริเวณตอนกลางของที่ราบลุ่มน้ำท่าจีน โดยมีน้ำท่วมขังครอบคลุมพื้นที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่โครงการและยาวนานกว่า 3 เดือน น้ำที่ท่วมขังเป็นน้ำส่วนเกินที่ระบายจากพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน และต้องรับน้ำที่ระบายจากพื้นที่รอบข้าง การแก้ปัญหา น้ำท่วมขังอย่างเด็ดขาดจึงทำได้ยาก ดังนั้นการประเมินความสามารถในการรับปริมาณน้ำของพื้นที่ เพื่อใช้เป็นแนวทางการจัดการสำหรับลดระดับความรุนแรงของน้ำท่วมขัง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-RAS version 4.1
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook
3. เครื่องพิมพ์
4. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร
5. แผนที่ผังเมืองรวมจังหวัดน่าน
6. เครื่องเขียนและอุปกรณ์สำนักงาน

วิธีการ

ศึกษาสภาพทั่วไปของพื้นที่

1.ที่ตั้งและลักษณะทั่วไป

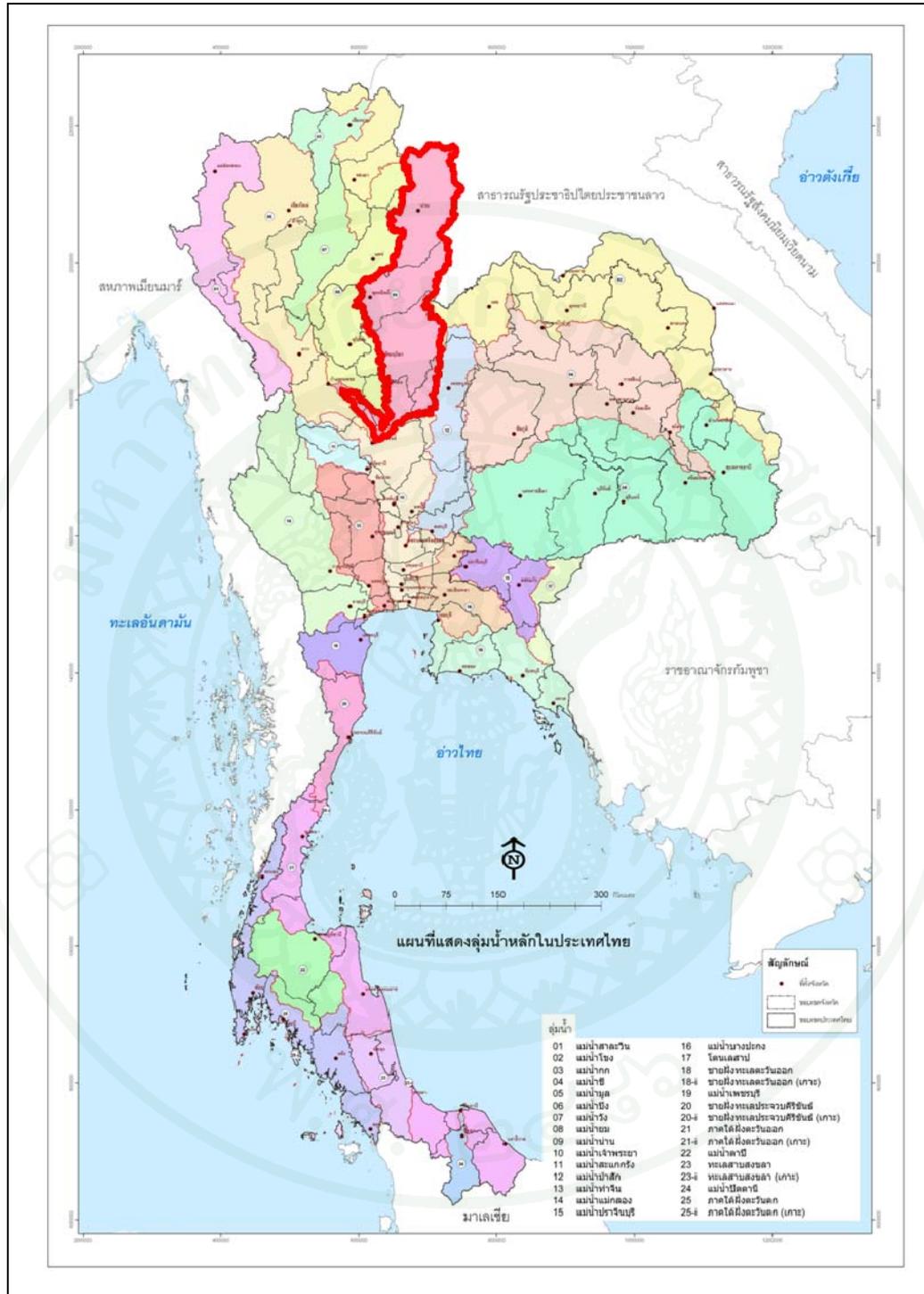
ลุ่มน้ำน่าน เป็นลุ่มน้ำหลักในภาคเหนือของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝน 34,139.68 ตารางกิโลเมตร มีต้นกำเนิดบริเวณอำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน ที่บริเวณเส้นละติจูด $15^{\circ} 42' 12''$ ถึง $19^{\circ} 37' 48''$ เหนือ และเส้นลองจิจูด $99^{\circ} 51' 30''$ ถึง $101^{\circ} 21' 48''$ ตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของ 6 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดน่าน อุตรดิตถ์ พิษณุโลก พิจิตร เพชรบูรณ์ และ นครสวรรค์ แสดงดังภาพที่ 37

ลักษณะของลุ่มน้ำจะวางตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้ โดยมีทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำโขง ทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำโขงและลุ่มน้ำป่าสัก ทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำยม แบ่งออกเป็น 16 ลุ่มน้ำย่อย โดยการศึกษาวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาวิจัยลุ่มน้ำน่านส่วนบน โดยครอบคลุมลุ่มน้ำสาขา 5 ลุ่มน้ำ แสดงดังภาพที่ 38 และตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงรายชื่อลุ่มน้ำย่อย

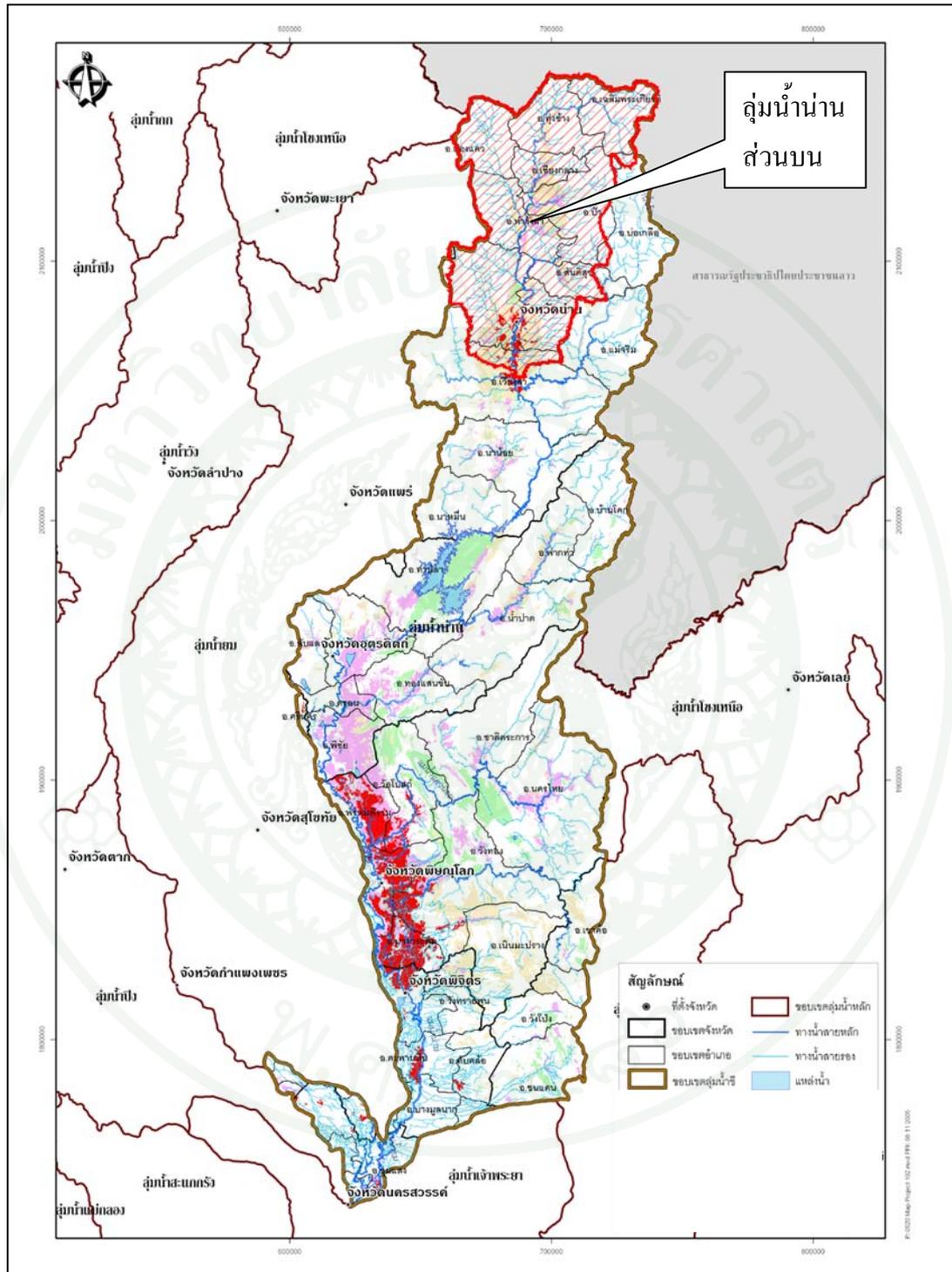
รหัส	ชื่อลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำย่อย ตร.กม.
0902	แม่น้ำน่านตอนบน	2,224.77
0903	ห้วยน้ำยาว(1)	863.54
0904	แม่น้ำน่านส่วนที่ 2	1,449.68
0905	ห้วยน้ำยาว(2)	596.78
0906	น้ำสมุน	583.55

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2547)



ภาพที่ 37 ที่ตั้งและขอบเขตของกลุ่มน้ำน่าน

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)



ภาพที่ 38 ที่ตั้งและขอบเขตของลุ่มน้ำน่านส่วนบน

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

2.สภาพภูมิประเทศ

แม่น้ำน่าน มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาหลวงพระบาง ซึ่งเป็นเส้นแบ่งเขตแดนไทย - ลาว ไหลผ่านที่ราบระหว่างหุบเขาในเขตอำเภอเมือง และอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน แล้วไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำสิริกิติ์ พื้นที่ตอนล่างของกลุ่มน้ำน่านเป็นที่ราบสองฝั่งแม่น้ำ จากจังหวัดพิษณุโลก แม่น้ำน่านจะไหลคู่กับแม่น้ำยมลงมาบรรจบกันที่อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ และไหลผ่านบึงบอระเพ็ดทางฝั่งซ้าย ก่อนจะไหลลงแม่น้ำปิงที่อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของแม่น้ำเจ้าพระยา

ลักษณะลุ่มน้ำสาขา

ลุ่มน้ำน่านส่วนบน แบ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาตามลักษณะทางอุทกวิทยา และภูมิประเทศ ได้เป็น 5 ลุ่มน้ำสาขา (คณะกรรมการอุทกวิทยาแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2536) โดยแสดงข้อมูลลักษณะลุ่มน้ำสาขาได้ในตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 สภาพพื้นที่โดยสรุปของลุ่มน้ำสาขาในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านส่วนบน

ลุ่มน้ำสาขา	พื้นที่ลุ่มน้ำสาขา สาขา (ตร.กม.)	พื้นที่ลุ่มน้ำสาขา	สภาพภูมิประเทศ
แม่น้ำน่านตอนบน	2,224.77	- อำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอทุ่งช้าง อำเภอเชียง กลาง และ อำเภอ ปัว จังหวัดน่าน	ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง ประมาณ 1,400-1,900 เมตรก.เป็นต้นกำเนิด แม่น้ำน่านและมีลำน้ำสายสำคัญ คือแม่น้ำน่าน ห้วยน้ำป้อน้ำก่อน และน้ำปัว พื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน และตอนกลางจะเป็นภูเขาสูงที่ลาด ชันและลดหลั่นเป็นเนินสูง ส่วน ตอนล่างจะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ห้วยน้ำขาว(1)	863.54	- อำเภอสองแคว และอำเภอ ท่าวังผา จังหวัดน่าน	ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง ประมาณ 1,000 ม.รทก. เป็นต้นกำเนิดแม่น้ำ ขาว มีลำน้ำสายสำคัญ คือ น้ำขาว น้ำยอด และน้ำริม พื้นที่ลุ่มน้ำ ตอนบนและตอนกลางจะเป็นภูเขา สูงที่ลาดชันและลดหลั่นเป็นเนิน สูง ส่วนตอนล่างจะเป็นพื้นที่ เกษตรกรรม
แม่น้ำน่านส่วนที่ 2	1,449.68	- อำเภอ ท่าวังผา อำเภอ ปัว อำเภอเมืองน่าน อำเภอเวียงสา กิ่งอำเภอภู เพียง จังหวัดน่าน	เป็นภูเขาสูงช่วงตอนบนพื้นที่ลุ่ม น้ำ ส่วนตอนกลางและตอนล่าง จะเป็นพื้นที่ราบตามแนวแม่น้ำ น่าน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ เกษตรกรรม
น้ำขาว (2)	596.78	- อำเภอ สันติสุข และ อำเภอปัว จังหวัดน่าน	ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง ประมาณ 1,100-1,200 ม.รทก. ประกอบด้วย ลำน้ำสายสำคัญ คือ น้ำขาว และ ห้วยข้าวหลาม สภาพพื้นที่จะเป็น ภูเขาสูงช่วงตอนบนพื้นที่ลุ่มน้ำ และจะเป็นพื้นที่ราบตามแนวห้วย น้ำขาว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ เกษตรกรรม
น้ำสมุน	583.55	- อำเภอเมืองน่าน จังหวัด น่าน	ส่วนใหญ่จะเป็นภูเขาสูง และมี พื้นที่การเกษตรกรรมผืนเล็กๆ ตามแนวน้ำสมุน

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2547)

3. สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

ข้อมูลของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาในกลุ่มน้ำน่านทั้ง 5 สถานี คือ สถานีอำเภอเมือง จังหวัดน่าน อุตรดิตถ์ พิษณุโลก นครสวรรค์ และเพชรบูรณ์ ในลักษณะของค่าเฉลี่ยรายเดือนและค่าเฉลี่ยรายปีในคาบ 30 ปี คือในระหว่างปี พ.ศ. 2514 ถึง พ.ศ.2543 แสดงได้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปค่าเฉลี่ยรายปี ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญในพื้นที่กลุ่มน้ำน่าน

สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ	ตัวแปรภูมิอากาศ	ค่าเฉลี่ยรายปี	ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน
อำเภอเมือง จังหวัดน่าน	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	1,009.43	1,004.95 (มิ.ย.) – 1,015.86 (ธ.ค.)
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25.57	20.4 (ธ.ค.) - 28.7 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	78	66 (มี.ค.) - 85 (ส.ค., ก.ย.)
	จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	20.8	15.8 (ม.ค.) - 24.1 (ส.ค.)
	ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (ม.ม.)	1,244.5	79.1 (ธ.ค.) - 142.2 (เม.ย.)
	ความครึ้มของเมฆ (0 - 8)	5.2	2.3 (ก.พ.) - 8.4 (ส.ค.)
	ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชั่วโมง)	-	ไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูล
	ความเร็วลม (นอต)	-	0.4 (ก.ย.) - 0.9 (มิ.ย.)
อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	1,008.97	1,005.22 (มิ.ย.) – 1,014.37 (ธ.ค.)
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.3	23.4 (ธ.ค.) - 30.7 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	73	62 (มี.ค.) - 83 (ส.ค., ก.ย.)
	จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	21.6	16.8 (ม.ค.) - 24.5 (ส.ค., ก.ย.)
	ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (ม.ม.)	1,607	111.7 (ม.ค.) - 182.2 (เม.ย.)
	ความครึ้มของเมฆ (0 - 8)	5.1	2.4 (ก.พ.) - 8.5 (ส.ค.)
	ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชั่วโมง)	-	ไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูล
	ความเร็วลม (นอต)	-	0.7 (ม.ค., ก.พ., ก.ย.) - 1.0 (เม.ย.)

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สถานีตรวจวัด สภาพภูมิอากาศ	ตัวแปรภูมิอากาศ	ค่าเฉลี่ย รายปี	ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยราย เดือน
		1,009.2	1,005.61 (มิ.ย.)– 1,014.4 (ธ.ค.)
		27.7	24.1 (ธ.ค.) - 30.7 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	71	61 (มี.ค.) - 80 (ส.ค., ก.ย.)
	จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	21.4	16.9 (ม.ค., ธ.ค.) - 24.2 (ก.ย.)
	ปริมาณการระเหยจากถาดวัด (ม.ม.)	1,647.6	109.8 (ม.ค.) - 186.8 (เม.ย.)
	ความครึ้มของเมฆ (0 - 8)	5.6	3 (ม.ค.) - 8.5 (ส.ค.)
	ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชั่วโมง)	2,670.7	154.8 (ส.ค.) - 265.8 (เม.ย.)
	ความเร็วลม (นอต)	-	0.9 (ม.ค.) - 2.1 (เม.ย.)
	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	1,008.37	1,004.74 (มิ.ย.)– 1,013.57 (ธ.ค.)
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.9	23.2 (ธ.ค.) - 29.8 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	73	61 (มี.ค.) - 84 (ส.ค., ก.ย.)
	จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	21	15.8 (ธ.ค.) - 24 (มิ.ย.)
	ปริมาณการระเหยจากถาดวัด (ม.ม.)	1,596.3	105.2 (ก.ย.) - 184.3 (เม.ย.)
	ความครึ้มของเมฆ (0 - 8)	5.4	2.7 (ธ.ค.) - 8.6 (ส.ค.)
	ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชั่วโมง)	2,307.6	106.8 (ส.ค.) - 240.4 (ธ.ค.)
	ความเร็วลม (นอต)	-	1.4 (ม.ค.) - 2.5 (เม.ย.)
อำเภอเมือง	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	1,008.99	1,005.5 (มิ.ย.)– 1,014.01 (ธ.ค.)
จังหวัดนครสวรรค์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.2	24.6 (ธ.ค.) - 31.5 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	70	60 (ก.พ., มี.ค.) - 82 (ก.ย.)
	จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	21.7	17.1 (ม.ค.) - 24.4 (ก.ย.)
	ปริมาณการระเหยจากถาดวัด (ม.ม.)	2,018	126.5 (พ.ย.) - 243.5 (เม.ย.)
	ความครึ้มของเมฆ (0 - 8)	5.6	2.9 (ม.ค.) - 8.6 (ส.ค.)
	ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชั่วโมง)	2,657.7	158.8 (ส.ค.) - 262 (ม.ค.)
	ความเร็วลม (นอต)	-	1.5 (ต.ค.) - 5.4 (มี.ค.)

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2543)

การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ต้องจัดเตรียมสำหรับแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ แยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาและข้อมูลอนุกรมเวลาที่ตำแหน่งเงื่อนไขขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลลักษณะทางกายภาพได้แก่ การเชื่อมโยงของโครงข่ายแม่น้ำโดยมีแม่น้ำน่านเป็นแม่น้ำสายหลักซึ่งมี แม่น้ำยาว แม่น้ำสมุน แม่น้ำสา และแม่น้ำว้า เป็นแม่น้ำสาขาที่ไหลลงสู่แม่น้ำน่าน รูปตัดแม่น้ำ ข้อมูลอนุกรมเวลา ได้แก่ อัตราการไหลและระดับน้ำท่าที่ได้จากกรมชลประทาน

การพัฒนาโปรแกรมช่วยในการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้า

1. รายละเอียดทั่วไป

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมานี้มีชื่อว่า Sort Data เป็นโปรแกรมสำหรับใช้ในการจัดเรียงข้อมูลข้อมูลอนุกรมเวลา ได้แก่ อัตราการไหลและระดับน้ำ โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในการเขียนและพัฒนา ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม

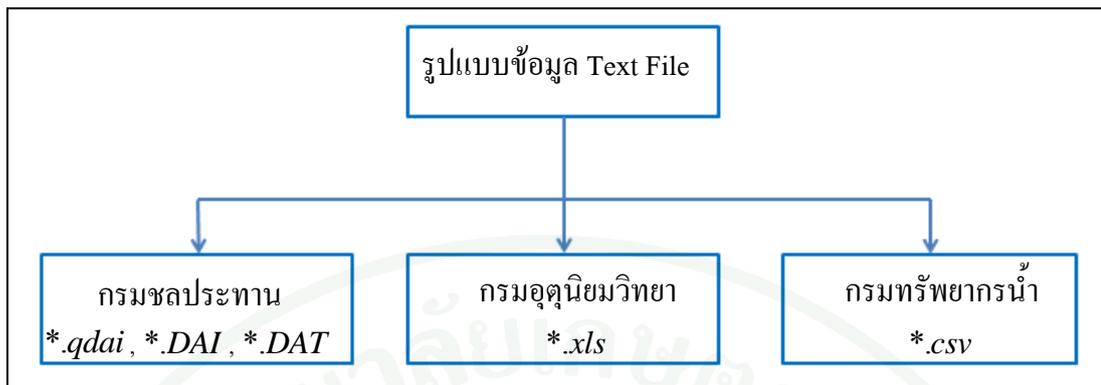
2. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Sort Data แบ่งออกเป็นข้อหลักๆ ได้ดังนี้

2.1 ขั้นตอนในการเตรียมไฟล์ข้อมูล เป็นไฟล์ข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปแบบของ Text File ของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ ดังแสดงในภาคผนวก ก และผังแสดงนามสกุลข้อมูล Text File ของหน่วยงานต่างๆ ดังภาพที่ 39

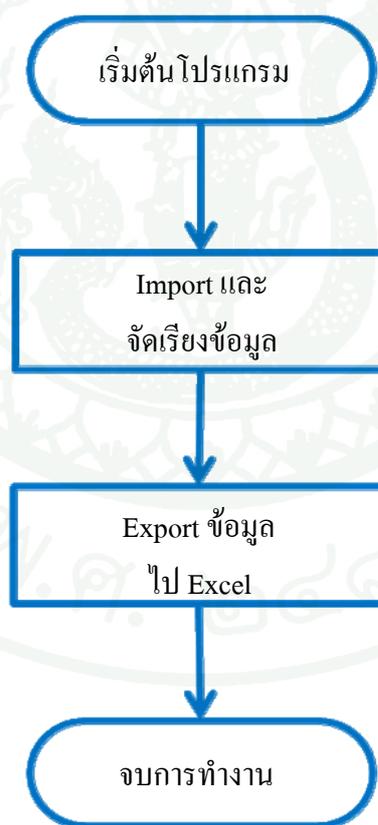
2.2 ขั้นตอนการ Import และจัดเรียงข้อมูล

2.3 ขั้นตอนการ Export ข้อมูลออกไปโปรแกรม Excel



ภาพที่ 39 แสดงนามสกุลข้อมูล Text File ของหน่วยงานต่างๆ

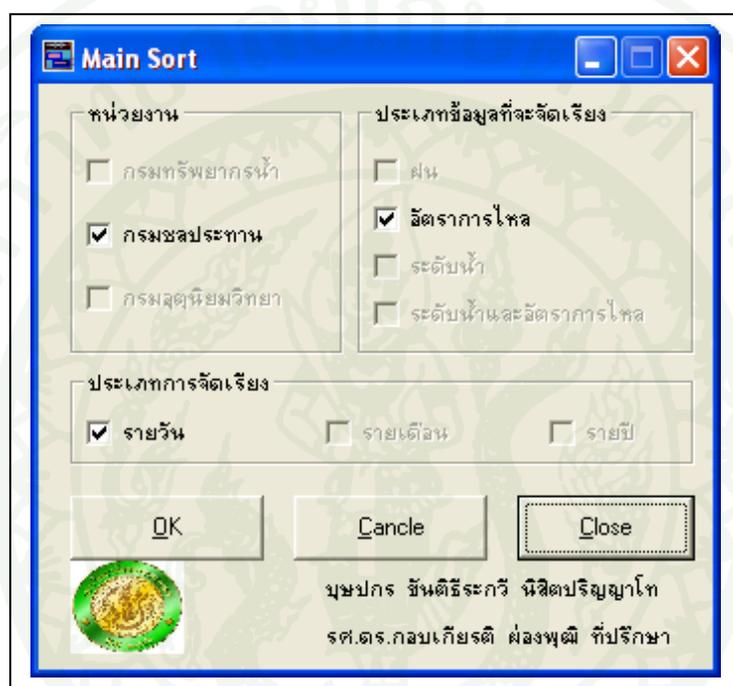
3. แผนผังการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 40 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

4. การใช้งานโปรแกรม Sort Data

ไฟล์โปรแกรมจะประกอบไปด้วย RepSortData.exe และ SortData.exe ซึ่งอยู่ใน folder ที่ชื่อ Lastest SortData วิธีการใช้งานให้ดับเบิลคลิกที่ SortData.exe ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างหลักของโปรแกรมดังภาพที่ 41



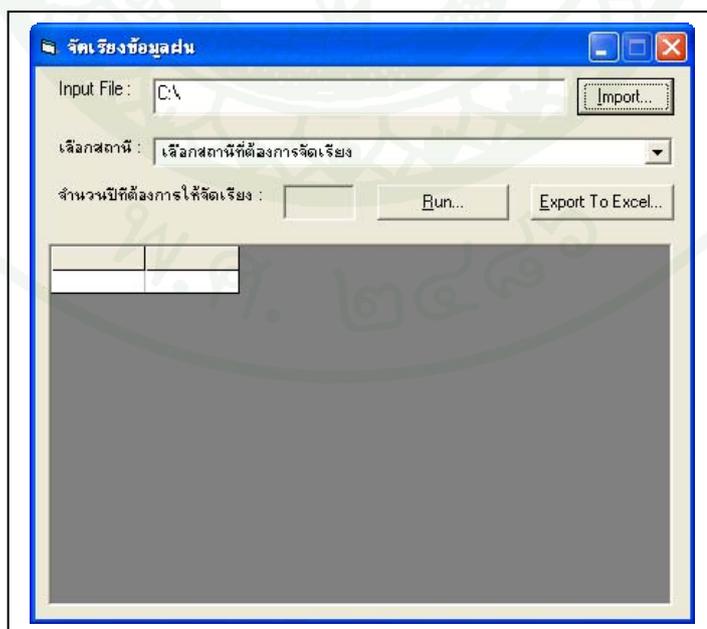
ภาพที่ 41 หน้าต่างหลักของโปรแกรม

ที่หัวข้อหน่วยงานให้คลิกเครื่องหมายถูกหน้าหน่วยงานกรมชลประทานออก เพื่อเลือกหน่วยงานอื่น และที่หัวข้อประเภทข้อมูลที่จะจัดเรียงให้คลิกเครื่องหมายถูกหน้าอัตราการใช้ ออก เพื่อเลือกประเภทที่ต้องการจัดเรียงข้อมูล หัวข้อประเภทการจัดเรียงก็เช่นกัน (ในการหัวข้อนี้ให้จัดเรียงได้เฉพาะรายวัน) ดังแสดงในภาพที่ 42 หัวข้อหน่วยงานเลือกที่กรมอุตุนิยมวิทยา ประเภทข้อมูลที่จะจัดเรียงเป็นข้อมูลฝน



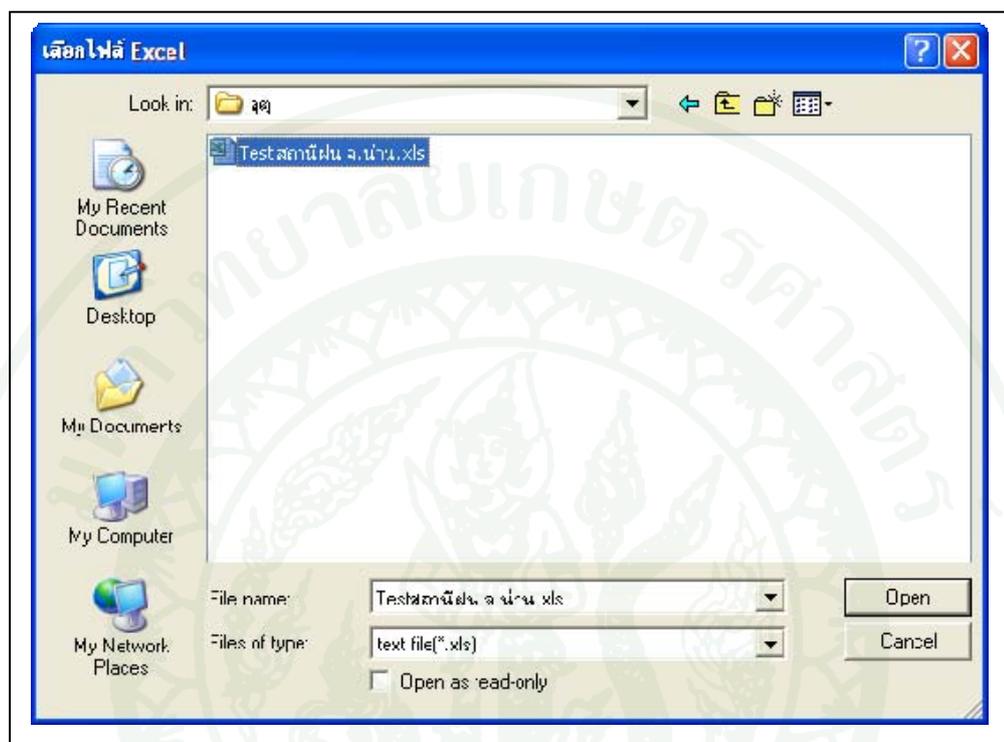
ภาพที่ 42 แสดงการเลือกหน่วยงาน ประเภทข้อมูล และประเภทการจัดเรียง

หลังจากเลือกหน่วยงาน ประเภทข้อมูลที่จะจัดเรียง ประเภทการจัดเรียงแล้วให้กดปุ่ม OK จะปรากฏหน้าต่างการจัดเรียงข้อมูลฝนดังแสดงในภาพที่ 43



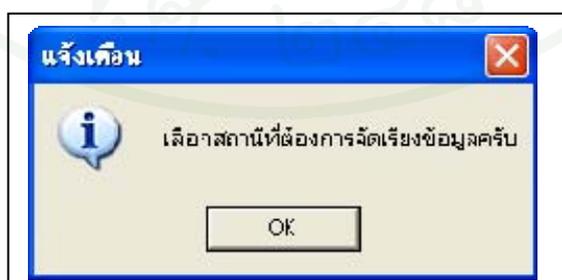
ภาพที่ 43 หน้าต่างการจัดเรียงข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา

จากภาพที่ 43 ให้คลิกปุ่ม Import... เพื่อเลือกข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาที่แสดงในภาพที่ 44 จากนั้นให้คลิกปุ่ม Open



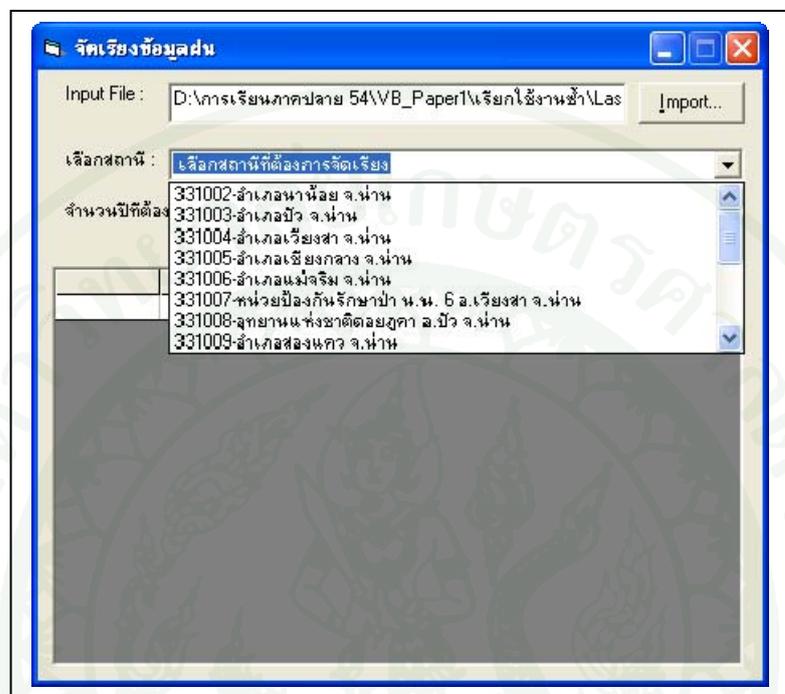
ภาพที่ 44 แสดงการเลือกไฟล์ข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ต้องการจัดเรียง

หลังจากที่เลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการจัดเรียงเรียบร้อยแล้ว จะปรากฏหน้าต่างแจ้งให้เลือกสถานีที่ต้องการจัดเรียงข้อมูลดังภาพที่ 45 ให้คลิกปุ่ม Ok

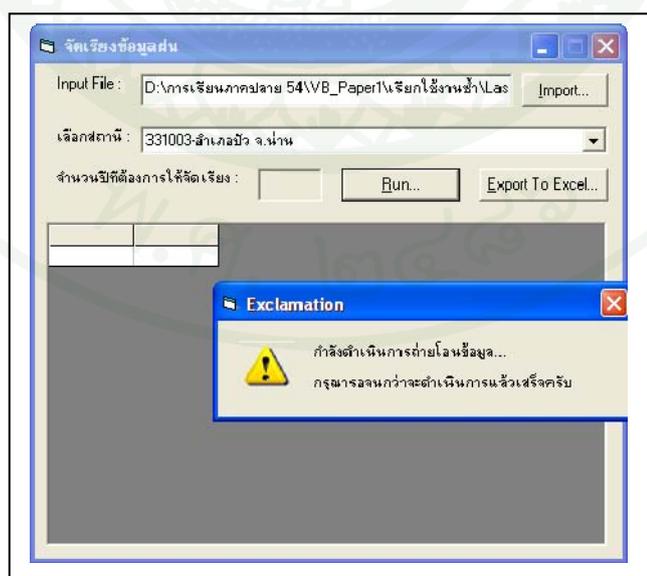


ภาพที่ 45 หน้าต่างแจ้งเตือนให้เลือกสถานีที่ต้องการจัดเรียงข้อมูล

เลือกสถานที่ที่ต้องการจัดเรียงข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 46 จากนั้นกดปุ่ม Run.. โปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 46

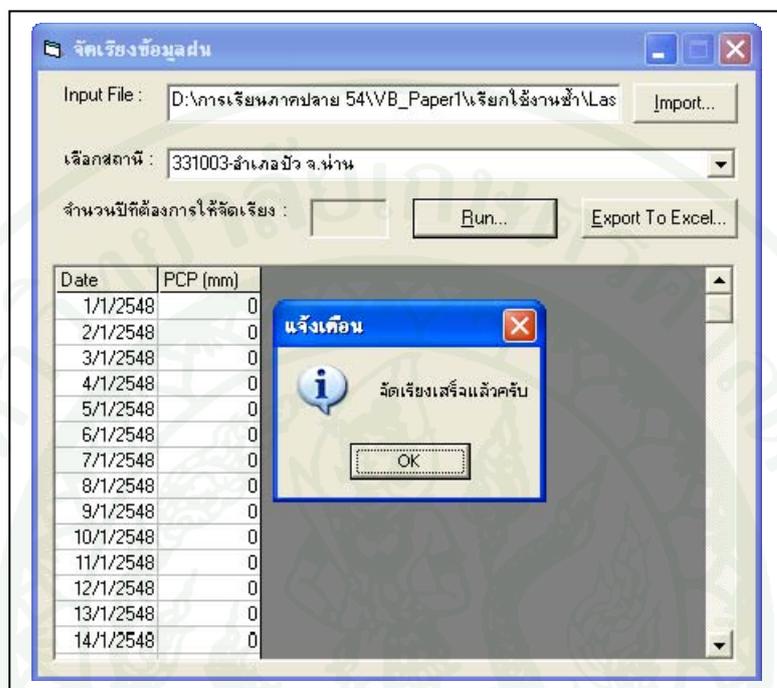


ภาพที่ 46 เลือกสถานที่ที่ต้องการจัดเรียง

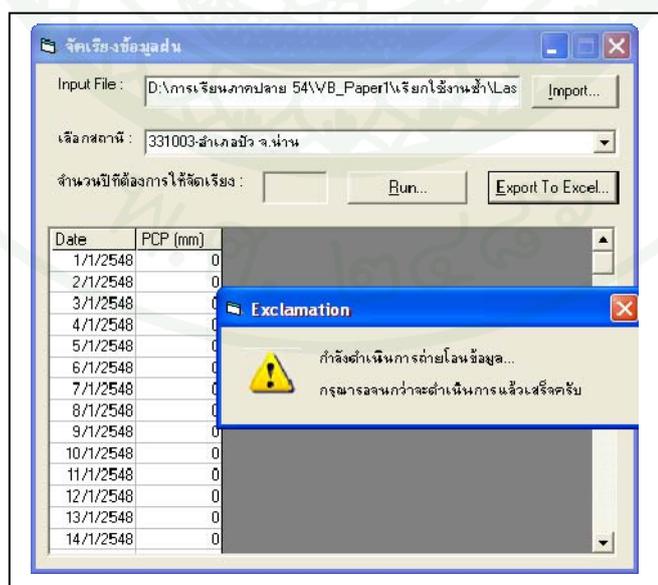


ภาพที่ 47 แสดงภาพขณะที่โปรแกรมกำลังจัดเรียงข้อมูล

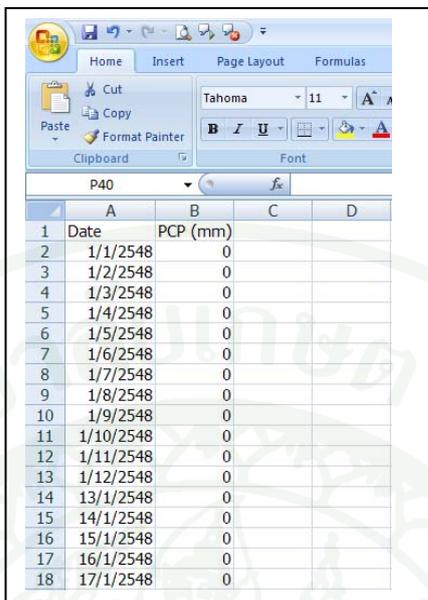
เมื่อจัดเรียงข้อมูลแล้วเสร็จโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 48 จากนั้นให้กดปุ่ม OK และกดปุ่ม Export To Excel... ข้อมูลจะถูกส่งไปยังโปรแกรม Excel ดังแสดงในภาพที่ 49 และภาพที่ 50



ภาพที่ 48 แสดงภาพเมื่อ โปรแกรมจัดเรียงข้อมูลแล้วเสร็จ



ภาพที่ 49 แสดงภาพเมื่อ โปรแกรมส่งข้อมูลที่จัดเรียงแล้วไปยัง โปรแกรม Excel



	A	B	C	D
1	Date	PCP (mm)		
2	1/1/2548	0		
3	1/2/2548	0		
4	1/3/2548	0		
5	1/4/2548	0		
6	1/5/2548	0		
7	1/6/2548	0		
8	1/7/2548	0		
9	1/8/2548	0		
10	1/9/2548	0		
11	1/10/2548	0		
12	1/11/2548	0		
13	1/12/2548	0		
14	13/1/2548	0		
15	14/1/2548	0		
16	15/1/2548	0		
17	16/1/2548	0		
18	17/1/2548	0		

ภาพที่ 50 แสดงภาพข้อมูลที่จัดเรียงแล้วในโปรแกรม Excel

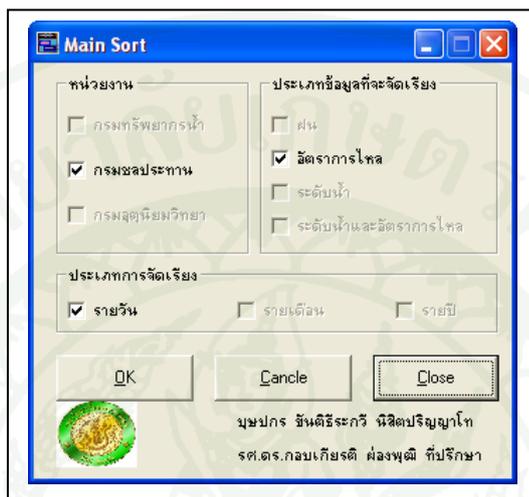
จากภาพที่ 50 ทำการบันทึกไฟล์ข้อมูลและเปิดโปรแกรม Excel ในขณะเดียวกันเมื่อโปรแกรม Export ข้อมูลไปยัง Excel เสร็จโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างดังแสดงในภาพที่ 51 เพื่อถามผู้ใช้งานต้องการจัดเรียงข้อมูลอีกหรือไม่ถ้ากดปุ่ม Yes โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างหลักดังภาพที่ 41 เพื่อเริ่มการทำงานอีกครั้ง แต่ถ้าตอบ No โปรแกรมจะจบการทำงาน



ภาพที่ 51 แสดงหน้าต่างถามการทำงาน

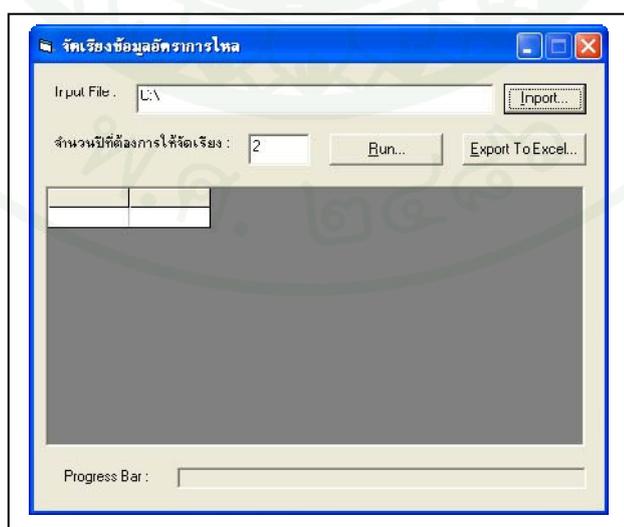
ในกรณีที่ต้องการเรียงข้อมูลของหน่วยงานกรมชลประทาน หรือกรมทรัพยากรน้ำ จากภาพที่ 41 ที่หัวข้อหน่วยงานให้คลิกเครื่องหมายถูกหน้าหน่วยงานกรมชลประทานออก เพื่อเลือกหน่วยงานอื่น และที่หัวข้อประเภทข้อมูลที่จะจัดเรียงให้คลิกเครื่องหมายถูกหน้าอัตราการไหลออก

เพื่อเลือกประเภทที่ต้องการจัดเรียงข้อมูล หัวข้อประเภทการจัดเรียงก็เช่นกัน (ในหัวข้อนี้ให้จัดเรียงได้เฉพาะรายวัน) ดังแสดงในภาพที่ 52 หัวข้อหน่วยงานเลือกที่กรมชลประทาน ประเภทข้อมูลที่จะจัดเรียงจัดเรียงเป็นข้อมูลอัตราการใช้



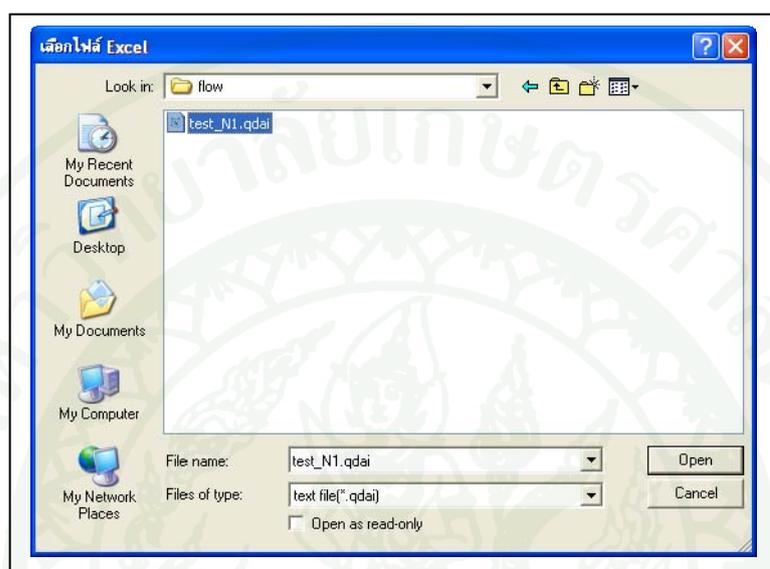
ภาพที่ 52 แสดงการเลือกหน่วยงาน ประเภทข้อมูล และประเภทการจัดเรียง

หลังจากเลือกหน่วยงาน ประเภทข้อมูลที่จะจัดเรียง ประเภทการจัดเรียงแล้วให้กดปุ่ม OK จะปรากฏหน้าต่างการจัดเรียงข้อมูลอัตราการใช้ดังแสดงในภาพที่ 53

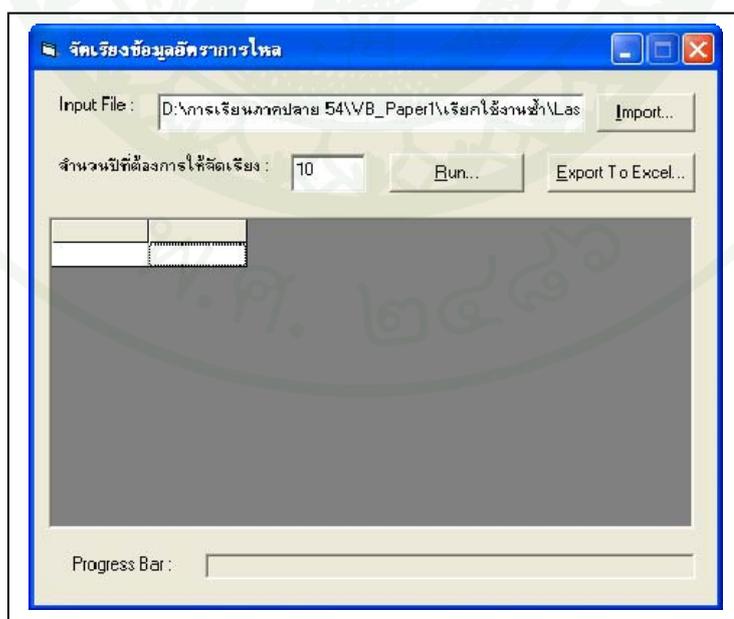


ภาพที่ 53 หน้าต่างการจัดเรียงข้อมูลอัตราการใช้ของกรมชลประทาน

จากภาพที่ 53 ให้คลิกปุ่ม Import... เพื่อเลือกข้อมูลอัตราการใช้ของกรมชลประทานดัง
แสดงในภาพที่ 54 และกดปุ่ม Open หลังจากนั้นพิมพ์จำนวนปีที่ต้องการจัดเรียงข้อมูลในช่อง
จำนวนปีที่ต้องการให้จัดเรียงข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 55

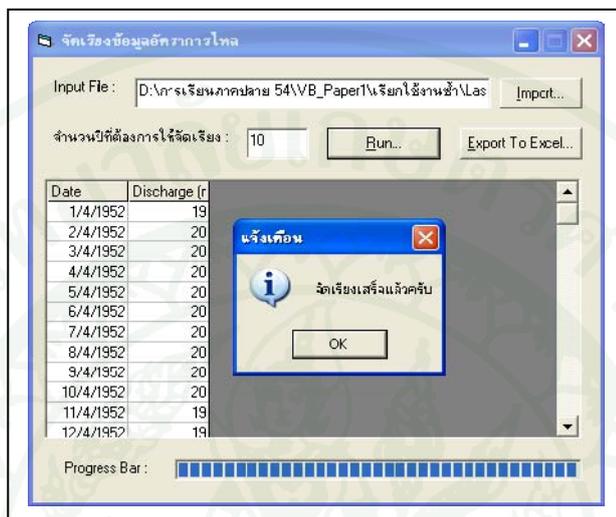


ภาพที่ 54 แสดงการเลือกไฟล์ข้อมูลอัตราการใช้ของกรมชลประทานที่ต้องการจัดเรียง

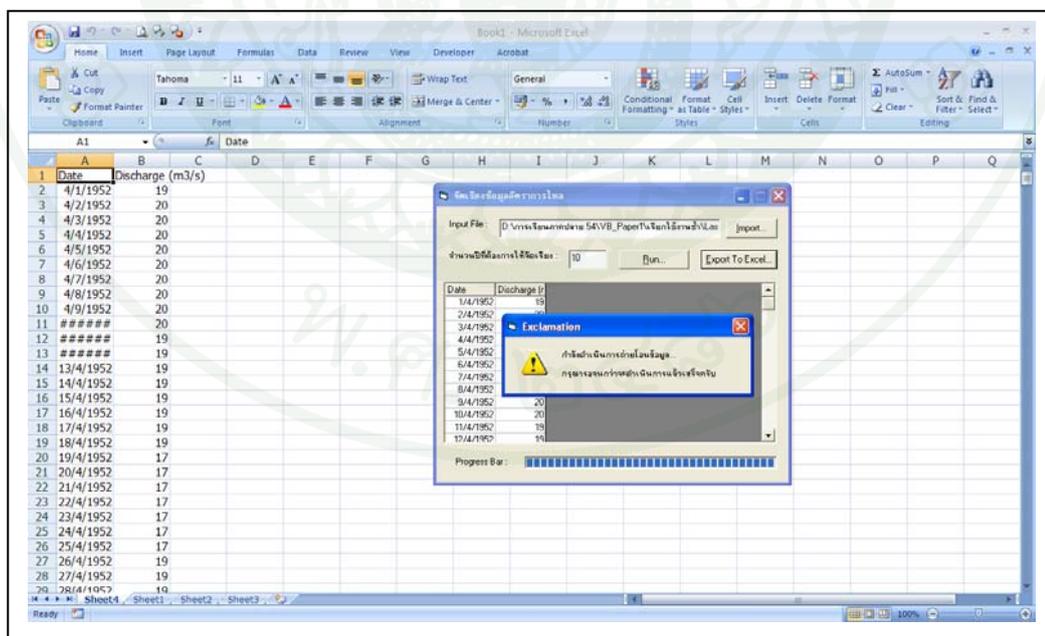


ภาพที่ 55 แสดงการพิมพ์จำนวนปีที่ต้องการจัดเรียงข้อมูล

เมื่อพิมพ์จำนวนปีที่ต้องการจัดเรียงข้อมูลดังเช่นแสดงในภาพที่ 55 เรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม Run.. เมื่อจัดเรียงข้อมูลแล้วเสร็จ โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 56 จากนั้นให้กดปุ่ม OK และกดปุ่ม Export To Excel... ข้อมูลจะถูกส่งไปยังโปรแกรม Excel ดังแสดงในภาพที่ 57



ภาพที่ 56 แสดงภาพเมื่อโปรแกรมจัดเรียงข้อมูลแล้วเสร็จ



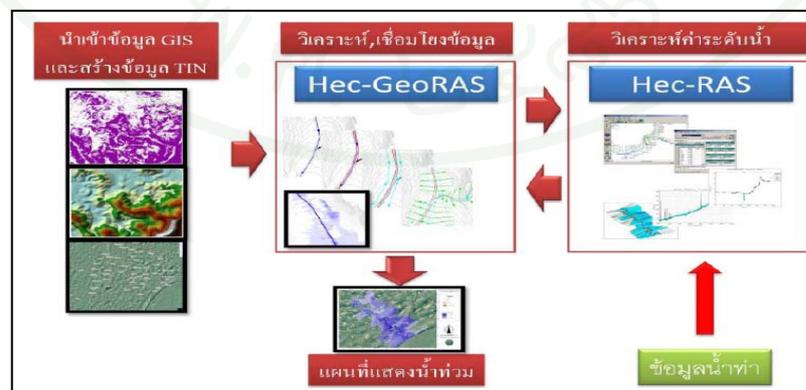
ภาพที่ 57 แสดงภาพเมื่อโปรแกรมส่งข้อมูลที่จัดเรียงแล้วไปยังโปรแกรม Excel

จากภาพที่ 57 ทำการบันทึกไฟล์ข้อมูลและปิดโปรแกรม Excel ในขณะที่เดียวกันเมื่อโปรแกรม Export ข้อมูลไปยัง Excel เสร็จโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างดังแสดงในภาพที่ 51 เพื่อถามผู้ใช้งานต้องการจัดเรียงข้อมูลอีกหรือไม่ถ้ากดปุ่ม Yes โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างหลักดังภาพที่ 41 เพื่อเริ่มการทำงานอีกครั้ง แต่ถ้าตอบ No โปรแกรมจะจบการทำงาน

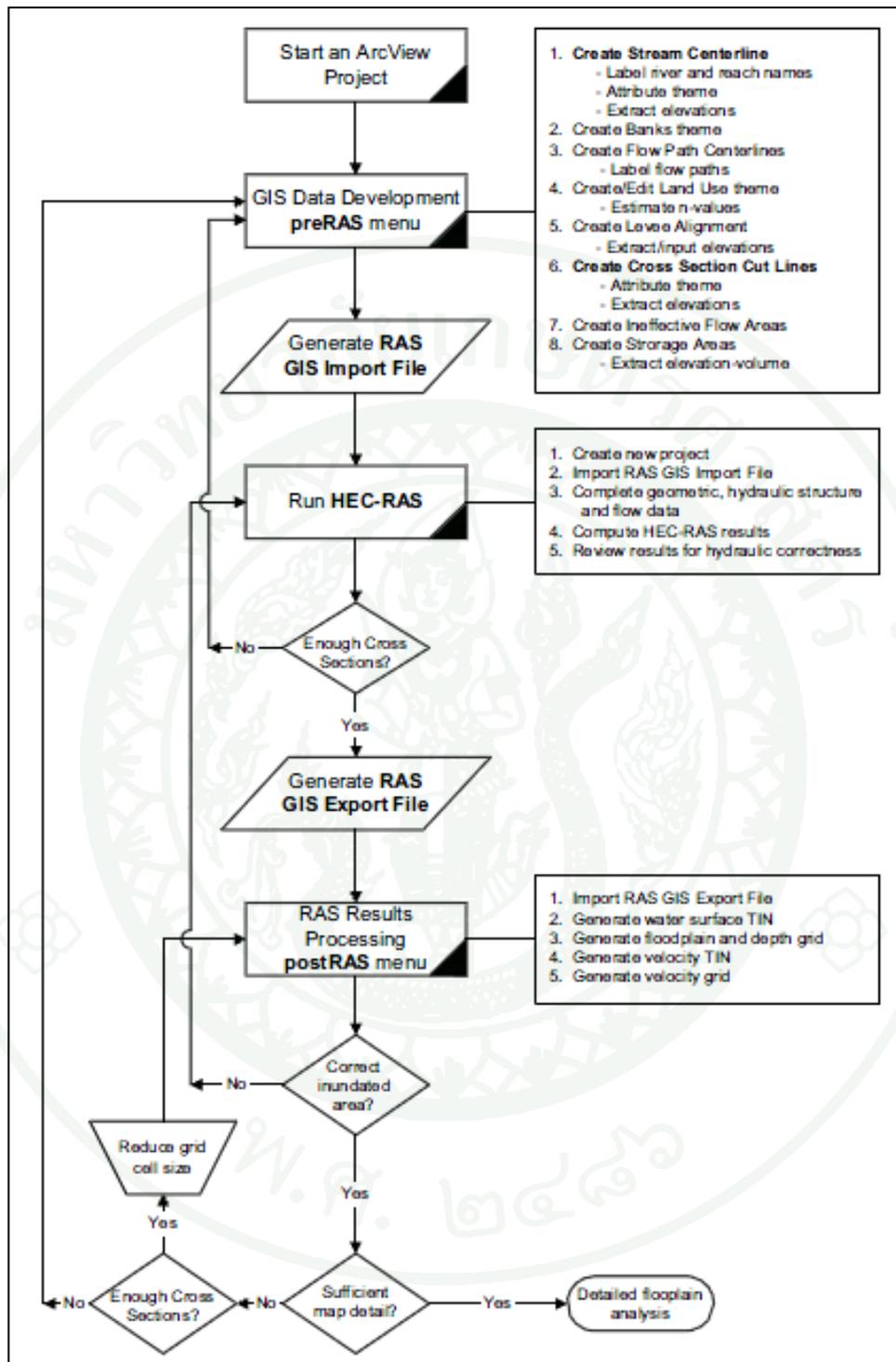
ลักษณะของแบบจำลอง

แบบจำลอง HEC-RAS เป็นแบบจำลองทางด้านอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic) ประเภท public domain ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Hydrologic Engineering Center (HEC) ของ US Army Corps of Engineers ประเทศสหรัฐอเมริกา มีชื่อเต็มว่า Hydrologic Engineering Center's - River Analysis System เป็นแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ทางด้าน ชลศาสตร์ในหนึ่งมิติ ประกอบด้วย การวิเคราะห์สามส่วนคือ (1) การคำนวณโปรไฟล์ผิวน้ำของการไหลแบบ Steady Flow (2) การจำลองการไหลแบบ Unsteady Flow และ (3) การคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอน แบบจำลอง HEC-RAS ยังสามารถนำเข้าสู่โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView หรือ ArcGIS โดยผ่านทางแบบจำลอง HEC-GeoRas เพื่อใช้ในการจัดทำแผนที่น้ำท่วมได้อีกด้วย

ในส่วนของ HEC-GeoRas เป็นเครื่องมือหรือฟังก์ชันเสริมซึ่งใช้งานร่วมกับโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView หรือ ArcGIS โดยใช้ประโยชน์เพื่ออำนวยความสะดวกในการเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งสามารถนำเข้าแบบจำลอง HEC-RAS เพื่อการวิเคราะห์ Water Surface Profile ของการไหลต่อไป แนวคิดขั้นตอนการดำเนินการสำหรับการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมแสดงตามภาพที่ 58 และภาพที่ 59



ภาพที่ 58 แนวคิดการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมด้วย HEC-RAS

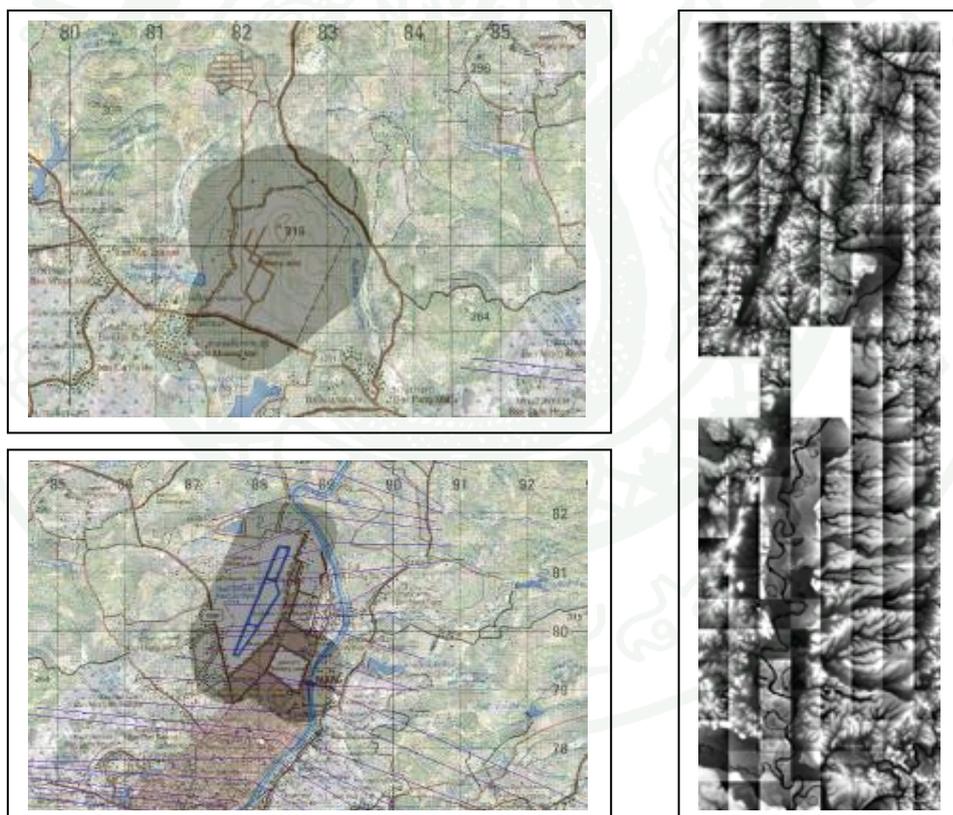


ภาพที่ 59 ฟังลำดับขั้นตอนสำหรับการใช้ HEC-GeoRAS

ที่มา: Gary (2002)

การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ต้องใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ รูปตัดแม่น้ำ ระดับน้ำ ปริมาณน้ำ และลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลค่าระดับความสูงต่ำของภูมิประเทศซึ่งส่วนใหญ่ใช้เส้นชั้นความสูง หรือข้อมูลความสูงเชิงตัวเลข Digital Elevation Model (DEM) การเตรียมข้อมูลนำเข้าที่ดีนั้นจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและแหล่งที่มาของข้อมูลก่อน ซึ่งในบางครั้งพบว่าข้อมูลที่ใช้มีความละเอียดไม่เพียงพอ หรือมีความละเอียดสูงแต่ต้องใช้งบประมาณในการจัดหาสูงเช่นเดียวกัน เช่น ข้อมูล DEM มาตรฐาน 1:4,000 ความละเอียด 5 เมตร x 5 เมตร ซึ่งบางส่วนอยู่ในพื้นที่ความมั่นคงทำให้ผู้บริการข้อมูลไม่สามารถให้บริการข้อมูลในส่วนนี้กับบุคคลทั่วไปได้ดังแสดงในภาพที่ 60



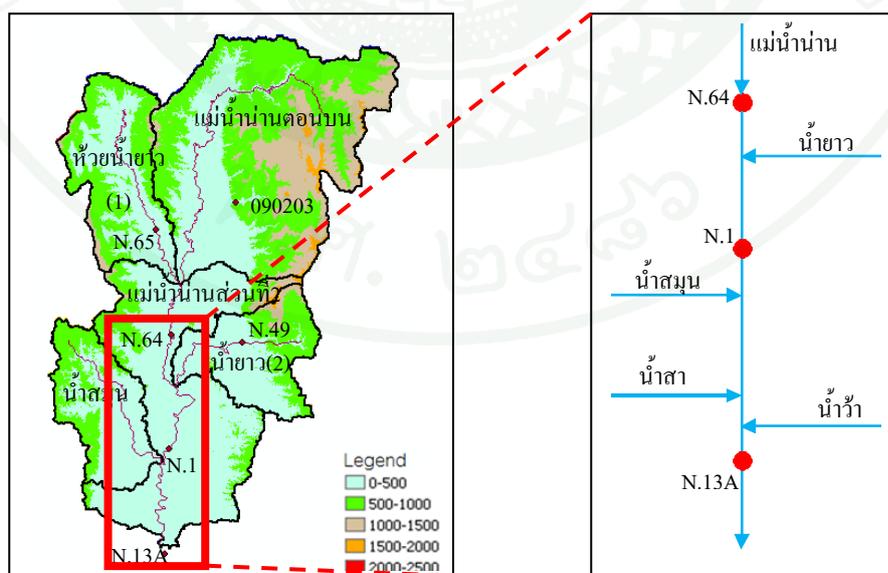
ภาพที่ 60 ภาพแสดง พื้นที่บางส่วน ที่ไม่มีข้อมูล DEM บริเวณเนิน 316 และบริเวณสนามบิน

ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหาในบริเวณพื้นที่ที่ขาดหายไปโดย ใช้เทคนิคการต่อข้อมูลภาพ (Mosaic) ด้วยโปรแกรม ArcView/ArcGIS ต่อข้อมูล DEM มาตรฐาน 1:4,000 ความละเอียด

5 เมตร x 5 เมตร ของกรมพัฒนาที่ดินในส่วนที่ขาดหายไปด้วยข้อมูล DEM มาตรฐาน 1:50,000 ความละเอียด 30 เมตร x 30 เมตร ของกรมแผนที่ทหาร และสร้างเส้นชั้นความสูงใหม่ หลังจากนั้นตรวจสอบเส้นชั้นความสูงที่ได้โดยตรวจสอบรวมกับการสำรวจพื้นที่ภาคสนามและใช้แผนที่ L7018 สำหรับการสร้าง Triangulated Irregular Network (TIN) เพื่อใช้ในการจัดเตรียมข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ เส้นแม่น้ำ เส้นขอบแม่น้ำ ริมตลิ่ง ทิศทางการไหล และแนวเส้นตัดขวางแม่น้ำ รวมทั้งชั้นข้อมูลเพิ่มเติมที่สามารถสร้างและใช้เพื่อรวบรวมเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่นำเข้าแบบจำลอง HEC-RAS โดยชั้นข้อมูลเหล่านั้นประกอบด้วย การใช้ประโยชน์ที่ดิน แนวเขื่อนป้องกันน้ำท่วม และพื้นที่กักเก็บน้ำ โดยทั้งหมดนี้จัดเตรียมและใช้งานผ่านโปรแกรมเสริม HEC-GeoRas

จัดทำแบบจำลอง

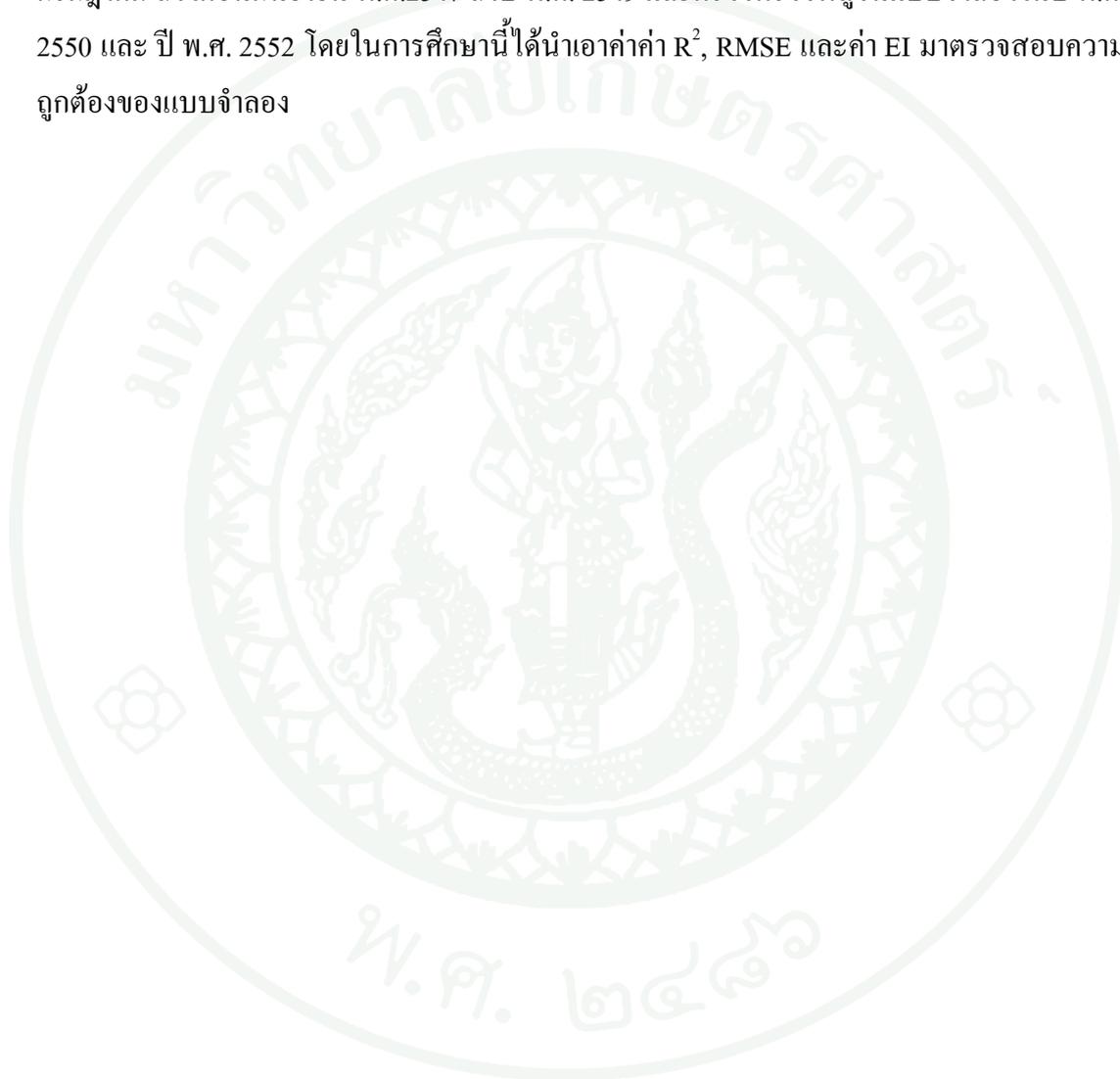
กำหนดขอบเขตการไหลด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) ให้มีปริมาณน้ำไหลเข้าเริ่มต้นที่สถานีวัดน้ำท่า N.64 บ้านผาขาว อ.เมือง จ.น่าน และกำหนดเงื่อนไขด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) เป็นค่าระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำท่า N.13A บ้านบุญนาค อ.เวียงสา จ.น่าน โดยมีปริมาณน้ำไหลเข้าด้านข้างประกอบด้วย แม่น้ำยาว แม่น้ำสมุน แม่น้ำสา และแม่น้ำว้า ซึ่งประเมินด้วยวิธีการ Reduction Factor ดังแสดงในภาพที่ 61 ใช้หน้าตัดขวางแม่น้ำจากการสำรวจโดยกรมโยธาธิการและผังเมือง จ.น่าน ปี พ.ศ. 2545 จำนวนทั้งสิ้น 18 หน้าตัด รวมระยะทางจาก N.64 ถึง N.13A ประมาณ 55 กิโลเมตร



ภาพที่ 61 ขอบเขตการจัดทำแบบจำลอง

การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลองนั้นเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ได้จากการตรวจวัดน้ำท่าของสถานี N.1 หน้าสำนักงานป่าไม้ อ.เมือง จ.น่าน ของกรมชลประทานระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน พ.ศ.2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 และตรวจตรวจพิสูจน์แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550 และ ปี พ.ศ. 2552 โดยในการศึกษานี้ได้นำเอาค่าค่า R^2 , RMSE และค่า EI มาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง



ผลและวิจารณ์

ผล

หลังจากนำเข้าข้อมูลในแบบจำลองครบเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้งาน ได้มีการสอบเทียบแบบจำลอง ซึ่งการสอบเทียบแบบจำลองนั้น เลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดน้ำท่าของสถานี N.1 หน้าสำนักงานป่าไม้ อ.เมือง จ.น่าน ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน พ.ศ.2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (manning's, n) อยู่ระหว่าง 0.020 – 0.050 ตลอดความยาวแม่น้ำโดยเลือกค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิงจำนวน 4 กรณี คือ 0.025 0.030 0.035 และ 0.040 ตามลำดับ ปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิงที่เหมาะสมที่สุด คือ 0.035 และในการศึกษานี้ได้นำเอาค่า R^2 , RMSE และค่า EI มาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งให้ค่าต่างๆดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 62

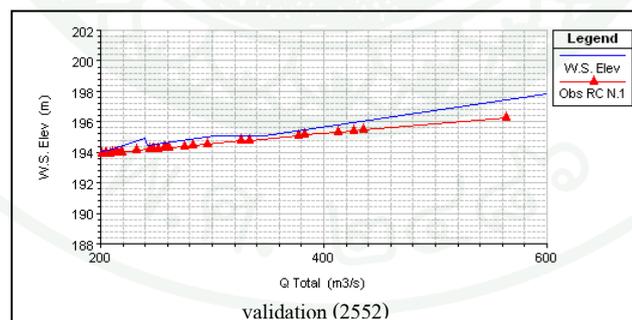
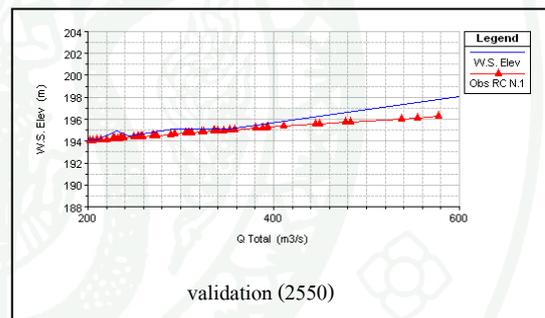
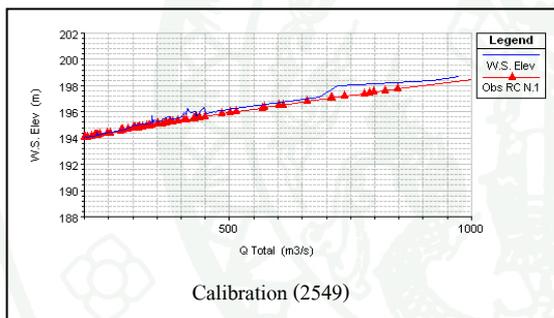
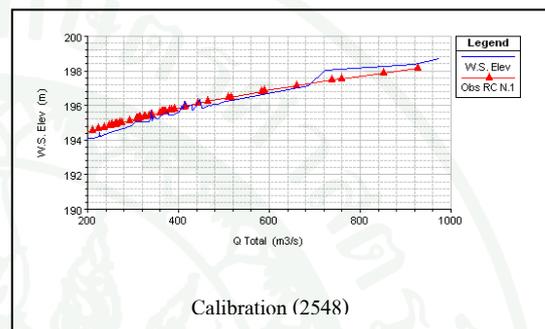
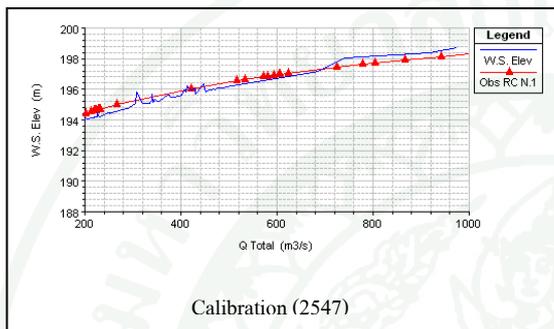
ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่า R^2 , RMSE และค่า EI (Calibration)

ปี	R^2	RMSE	EI
2547	0.90	0.87	0.66
2548	0.88	0.38	0.79
2549	0.90	0.54	0.32

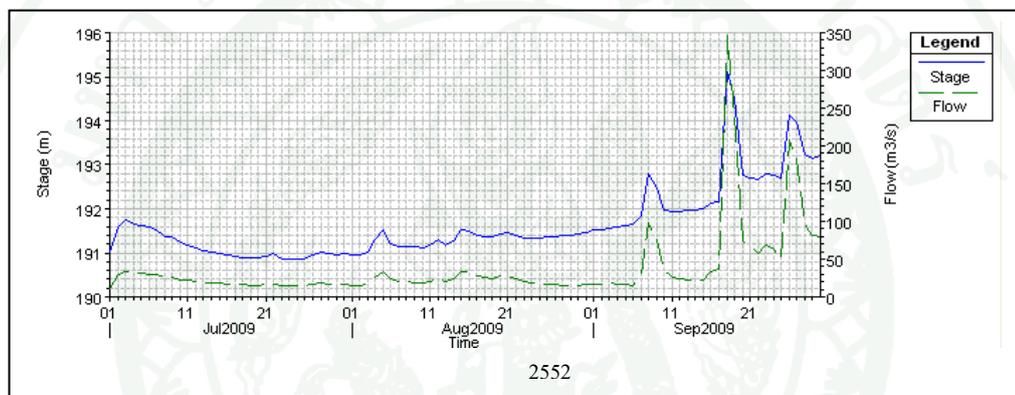
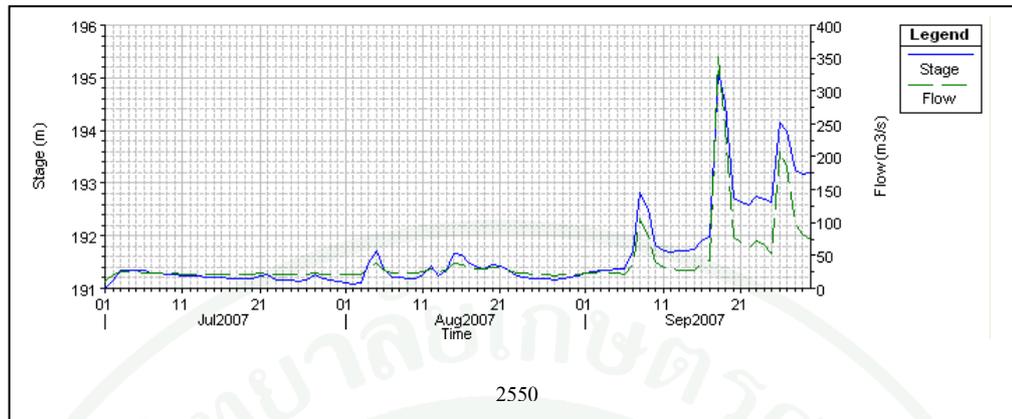
การตรวจพิสูจน์เลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดน้ำท่าของสถานี N.1 หน้าสำนักงานป่าไม้ อ.เมือง จ.น่าน ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน พ.ศ.2550 และ พ.ศ. 2552 และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง 0.035 ซึ่งให้ค่า R^2 , RMSE และค่า EI ดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพที่ 62

ตารางที่ 11 ตารางแสดงค่า R², RMSE และค่า EI (Validation)

ปี	R ²	RMSE	EI
2550	0.90	0.87	0.66
2552	0.88	0.38	0.79

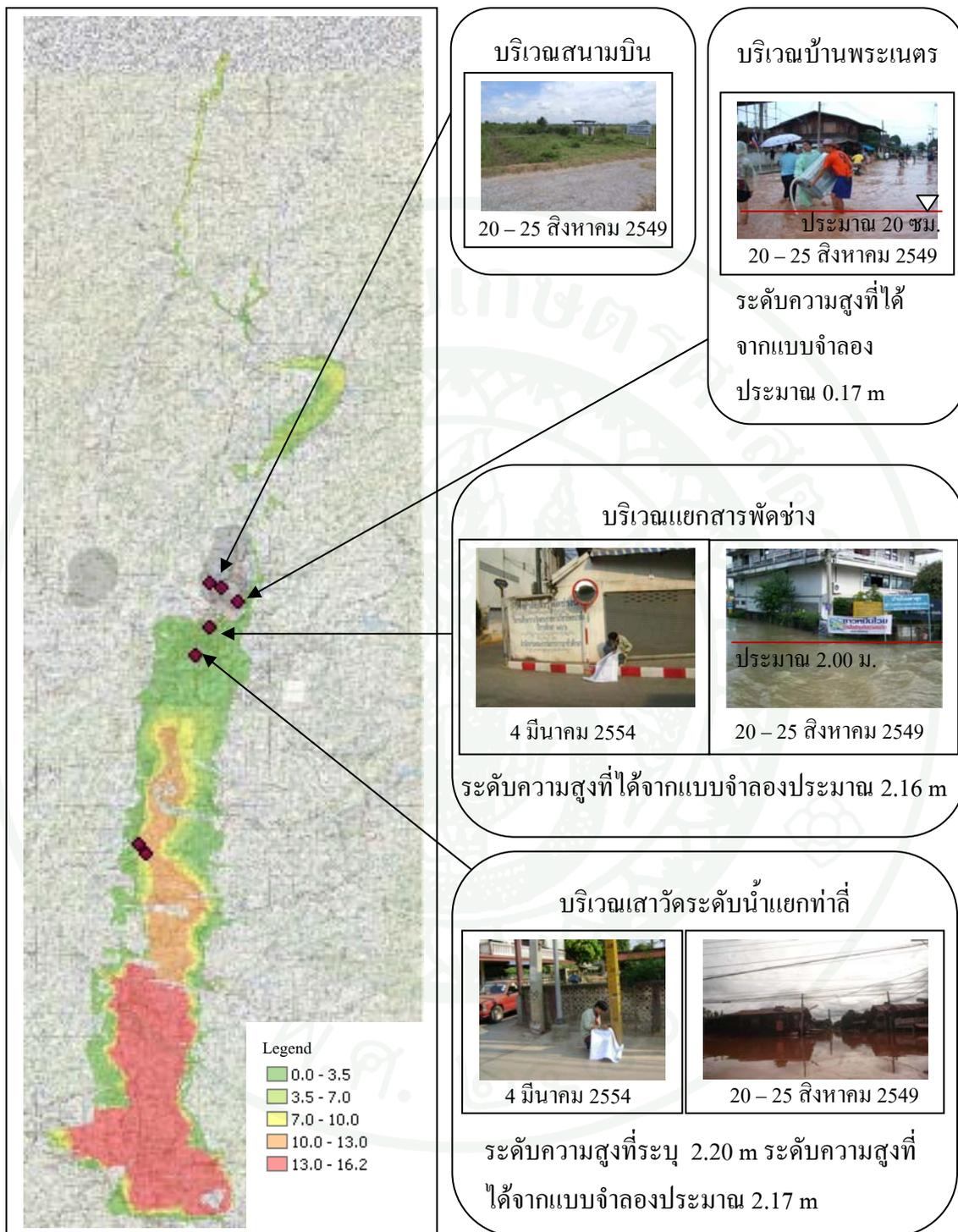


ภาพที่ 62 ภาพแสดง Calibration และ Validation ที่สถานี N.1



ภาพที่ 63 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำเทียบกับเวลา

หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-RAS ไปสร้างเป็นแผนที่น้ำท่วมด้วย HEC-GeoRas ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2549 มาศึกษาผลการศึกษาพบว่าพื้นที่น้ำท่วม 113.73 ตารางกิโลเมตรดังแสดงในภาพที่ 64



ภาพที่ 64 แผนที่น้ำท่วมปี พ.ศ. 2549 เทียบกับบริเวณที่เกิดน้ำท่วมจริงในอดีต

วิจารณ์

ผลที่ได้จากแบบจำลองที่บริเวณแยกท่าลี่มีระดับน้ำท่วมประมาณ 2.17 เมตร ระดับความสูงที่ระบุนบนเสาวักระดับน้ำท่วม 2.20 เมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงประมาณ 3 เซนติเมตร

นอกจากนี้แบบจำลอง HEC-RAS ที่ทำขึ้นนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในจังหวัดน่าน ร่วมกับแบบจำลอง SWAT พร้อมกับตรวจสอบผลลัพธ์จากแบบจำลองกับข้อมูลภาคสนาม อันเนื่องมาจากอิทธิพลของพายุโซนร้อน “ไหหมา” ช่วงปลายเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2554 เพื่อทำการทดสอบแบบจำลองที่ได้จัดทำขึ้นมา กับเหตุการณ์ในปัจจุบัน (ขณะนั้น) ซึ่งผลที่ได้หลังจากนำแผนที่น้ำท่วม ไปซ้อนทับกับตำแหน่งหมู่บ้านปรากฏว่า หมู่บ้านที่อยู่ในเขตพื้นที่น้ำท่วม มีความสอดคล้องกับรายงานของเครือข่ายสถานีวิทยุชุมชน (สวท.น่าน) จังหวัดน่าน (สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554)

แผนที่น้ำท่วมที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในอดีตโดยพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดหรือค่า R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.892 ค่าประมาณของรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองหรือค่า RMSE (Estimate of root mean square error) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.608 และค่าดัชนีประสิทธิผลหรือค่า EI (Effectiveness Index) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.644 และดังแสดงในภาพที่ 64 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ โดยอาจแบ่งเป็น 2 ภาคส่วนใหญ่ๆ คือ ภาคประชาชน และภาคผู้ให้การช่วยเหลือ

ภาคประชาชน

1. สามารถประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับทรัพย์สิน
2. รู้เส้นทางที่ปลอดภัยจากน้ำท่วมเพื่อไปยังสถานที่ปลอดภัย
3. สามารถเคลื่อนย้ายพาหนะไปเก็บไว้ในพื้นที่ที่น้ำท่วมไม่ถึง
4. ปรึกษาและทำข้อตกลงกับบริษัทประกันภัย

5. เตรียมแผนอพยพสำหรับครอบครัว
6. มีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน

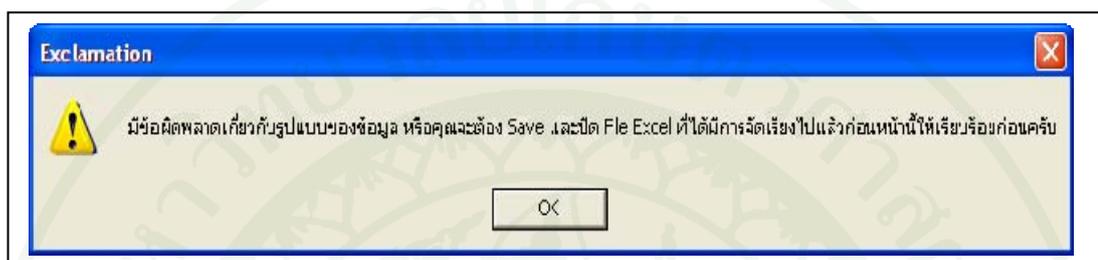
ภาคผู้ให้การช่วยเหลือ

1. กำหนดพื้นที่เสี่ยงภัย โดยอาจพิจารณาพื้นที่ใดน้ำจะท่วมก่อน และระดับความลึกของน้ำที่จะท่วม
2. สำรวจ และกำหนดพื้นที่รองรับการอพยพ
3. ใช้ในการวางแผนการอพยพ
4. สำรวจจำนวนผู้ป่วย เด็ก และคนชรา เพื่อทราบว่าอยู่บริเวณใดบ้างในพื้นที่เสี่ยงเพื่อพาอพยพเป็นกลุ่มแรก
5. ทำแผนที่เส้นทางเข้าให้ความช่วยเหลือเมื่อเกิดน้ำท่วม
6. จัดเตรียมอาสาสมัครเฝ้าระวังในจุดที่คาดว่าจะจุดเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม

ในกรณีที่แนวเส้นแม่น้ำบางส่วนอยู่ในพื้นที่ความมั่นคง ทำให้ผู้บริการข้อมูลไม่สามารถให้บริการข้อมูลในส่วนนี้กับบุคคลทั่วไป อาจแก้ไขปัญหาในบริเวณพื้นที่ที่ขาดหายไปโดยใช้เทคนิคการต่อข้อมูลภาพ (Mosaic) ด้วยโปรแกรม ArcView/ArcGIS

ผลลัพธ์หรือแผนที่ที่ได้จากแบบจำลองสามารถเชื่อมโยงกับโปรแกรม Google Earth เพื่อแสดงให้เห็นประชาชน และผู้มีอำนาจในการตัดสินใจเข้าใจสถานการณ์ได้ง่ายขึ้น

โปรแกรม SortData สามารถจัดเรียงข้อมูลและนำไปใช้กับแบบจำลองชนิดอื่นที่ต้องการรูปแบบข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง แบบข้อมูลเรียงหนึ่งได้ และถ้าหากข้อมูลไม่สมบูรณ์หรือรูปแบบข้อมูลไม่ตรงกับความต้องการของโปรแกรมๆ จะแจ้งเตือนดังแสดงในภาพที่ 65 ข้อควรระวังในการใช้งานโปรแกรม SortData ผู้ใช้งานโปรแกรมจะต้องตรวจสอบความสมบูรณ์และรูปแบบของข้อมูลที่นำมาจัดเรียงก่อนการใช้โปรแกรม



ภาพที่ 65 แจ้งเตือนผู้ใช้งานเมื่อข้อมูลไม่สมบูรณ์หรือรูปแบบข้อมูลไม่ตรงกับความต้องการของโปรแกรม

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การจัดทำแบบจำลองเพื่อศึกษาน้ำท่วมและจัดทำแผนที่น้ำท่วมนั้นสิ่งสำคัญคือการเตรียมข้อมูลนำเข้าที่ดี ซึ่งจะส่งผลต่อผลลัพธ์ที่ดี ดังเช่นกรณีการใช้เทคนิคการต่อข้อมูลภาพที่ขาดหายไป โดยโปรแกรม ArcGIS/ArcView และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามและแผนที่ L7018

ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาจากแบบจำลอง HEC – RAS ถูกนำมาจัดทำเป็นแผนที่น้ำท่วมซึ่งสามารถนำมาใช้วิเคราะห์เชิงพื้นที่ ทำให้ทราบถึงขอบเขตพื้นที่ความเสียหาย พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม และนอกจากนั้น ยังสามารถนำไปใช้ในการจัดการน้ำท่วมโดยเลือกใช้มาตรการที่เหมาะสมเช่นสามารถกำหนดเส้นทางเข้าช่วยเหลือผู้ประสบภัยน้ำท่วม การกำหนดพื้นที่ปลอดภัย การวางแผนโครงการบรรเทาปัญหาอุทกภัย (สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554)

โปรแกรม SortData เป็นโปรแกรมสำหรับใช้ในการจัดเรียงข้อมูลข้อมูลอนุกรมเวลา ได้แก่ อัตราการไหล ระดับน้ำ และข้อมูลน้ำฝน ของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งแต่ละหน่วยงานมีรูปแบบข้อมูลที่แตกต่างกัน ทำให้เสียเวลาในการจัดเรียงข้อมูลเป็นอย่างมากซึ่งอาจมีความผิดพลาดในการจัดเรียงข้อมูล เนื่องจากความล่าช้าของผู้จัดเรียงข้อมูล เมื่อเทียบกับการ copy และ past แบบปกติในโปรแกรม Excel นอกจากโปรแกรม SortData จะช่วยจัดเรียงข้อมูลให้มีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้นแล้ว แต่ความถูกต้องก็ยังคงขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน โปรแกรมด้วยโดยจะต้องมีการตรวจสอบข้อมูลที่จะนำมาจัดเรียงก่อนการใช้งานโปรแกรม

ข้อเสนอแนะ

ด้านแบบจำลอง

1. เทคนิคการต่อข้อมูลภาพ (Mosaic) เป็นวิธีการที่ใช้ได้ผลดี ในกรณีข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งคำสั่งนี้มีอยู่ใน โปรแกรม ArcView/ArcGIS
2. ควรขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมทั้งลุ่มน้ำน่าน เพื่อการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบ
3. ควรมีการปรับปรุงข้อมูลหรือเพิ่มข้อมูล ปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองทุกๆ 5 ปี เนื่องจากสภาพแม่น้ำ และ/หรือ การใช้ประโยชน์ที่ดินเปลี่ยนแปลงไป

ด้านผู้ให้การช่วยเหลือ

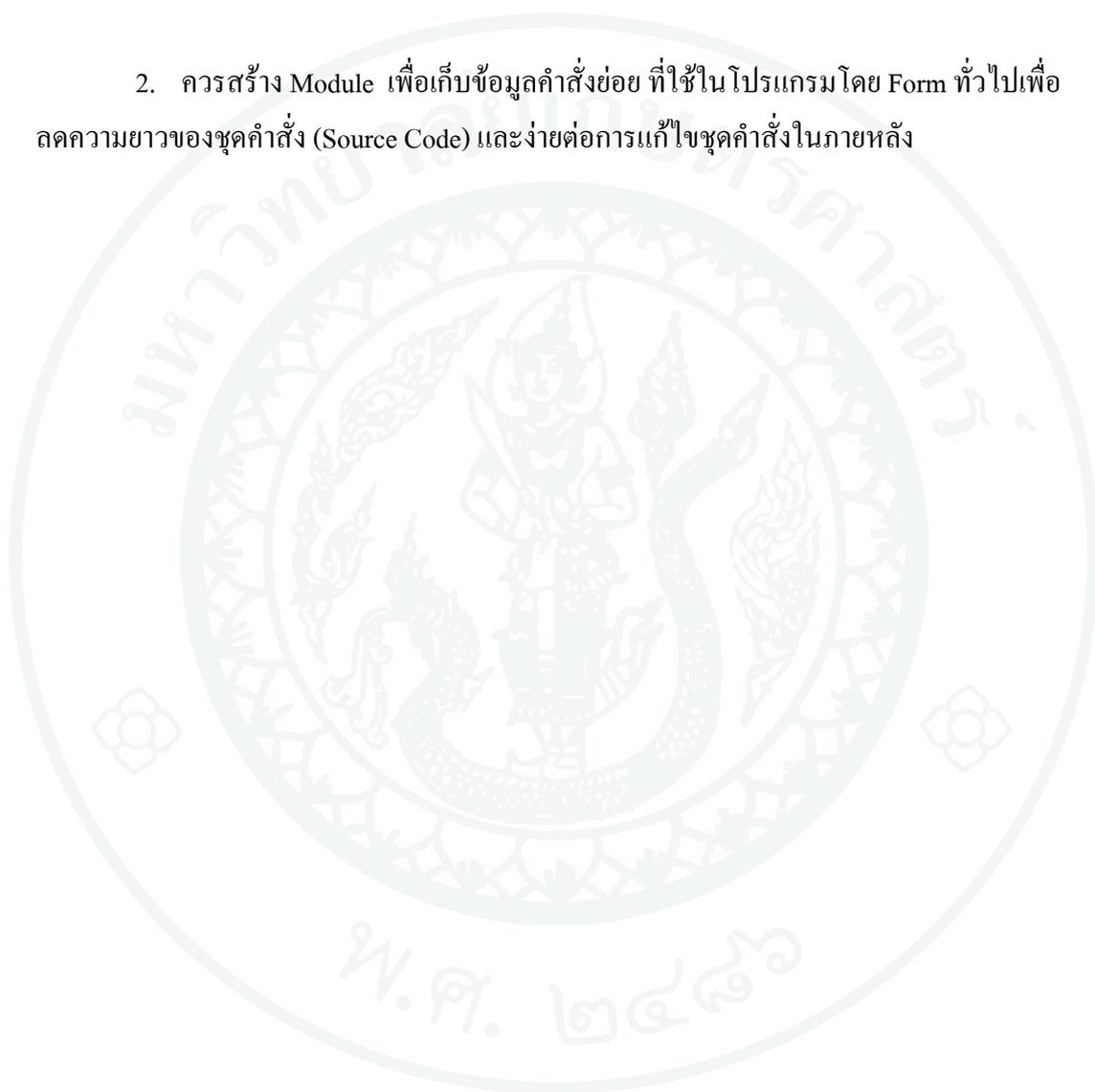
1. ควรพัฒนาบุคลากรด้านเทคนิค ในการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อการจัดการภัยน้ำ อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ
2. ควรมีสวนปฏิบัติการด้านน้ำท่วม ที่อยู่ในพื้นที่ปลอดภัย เพื่อประสานงานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้สะดวก

ด้านเครือข่าย

1. ควรมีการจัดตั้งเครือข่ายและถ่ายทอดองค์ความรู้ ด้านการจัดการภัยธรรมชาติสู่เครือข่ายฯ ชุมชนและท้องถิ่นที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัย
2. ควรมีเครือข่ายมวลชนและวิทยุ เข้าไปในเครือข่ายเตือนภัยน้ำท่วม เพื่อที่จะประชาสัมพันธ์และให้ข้อมูลที่ถูกต้องแก่ประชาชน ผ่านทางวิทยุท้องถิ่น

ด้านการเขียนโปรแกรม SortData

1. ควรใช้คำสั่งการสร้างปุ่ม Radio Button เพื่อลดขั้นตอนในการเลือกไฟล์ที่ใช้ในการจัดเรียงข้อมูล
2. ควรสร้าง Module เพื่อเก็บข้อมูลคำสั่งย่อย ที่ใช้ในโปรแกรมโดย Form ทัวไปเพื่อลดความยาวของชุดคำสั่ง (Source Code) และง่ายต่อการแก้ไขชุดคำสั่งในภายหลัง



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กฤษณ์ สุกิตย์. 2545. ปรับปรุงแบบจำลอง HEC-5 เพื่อคำนวณการไหลแบบไม่คงตัวและกำหนดพื้นที่เป้าหมายเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมทรัพยากรน้ำ. 2553. รายงานฉบับสมบูรณ์ สถานภาพทรัพยากรน้ำและทรัพยากรธรรมชาติในลุ่มน้ำน่าน, กรุงเทพฯ.
- เกษม ไกรสีกาจ. 2548. การศึกษาสภาพอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำน่าน โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัชวาลย์ ทักษะอุดม และ ประดิษฐ์ เจียรกุลประเสริฐ. ม.ป.ป. ผลกระทบของสะพานและฝายในลำน้ำปิง ในเมืองเชียงใหม่ ช่วงเทศบาลนครเชียงใหม่ สะพานป่าตัน ถึงฝายท่าวังตาล ต่อสภาพน้ำท่วม. เอกสารทางวิชาการ. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ชลทิศ กิตติคุณ. 2551. แนวทางการเตือนภัยน้ำท่วม พื้นที่ลุ่มน้ำคลองตะกั่วป่า จังหวัดพังงา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นิรัช ภูริพันธุ์ภิญโญ, ศรีสุณี วุฒิวงศ์โยธิน และ วินัย วังพิมูล. 2552. การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์สภาพน้ำท่วมและพื้นที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำหน่วยโมง, น. 51-57. ใน รายงานการประชุมวิชาการทางวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 (สาขาวิศวกรรมโยธา). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ประดิษฐ์ เจียรกุลประเสริฐ. ม.ป.ป. ผลกระทบของสะพานและฝายต่อระดับน้ำท่วมในลำน้ำปิงผ่านเมืองเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มานิช ตุ่มทอง. 2547. การจัดการน้ำในพื้นที่น้ำท่วมขังของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระพงษ์ ประทุมโทน. 2548. การศึกษาการจัดการและควบคุมน้ำท่วม โดยการใช้โปรแกรม HEC-ResSim. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วริษา ผาฟองยูน. 2543. การพยากรณ์สภาพการเกิดน้ำท่วมของแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ RUBICON. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วินัย วังพินุล. 2547. การศึกษาการใช้น้ำโครงการห้วยโงง จังหวัดหนองคาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิษุวัตต์ แต่สมบัติ. 2553. เอกสารประกอบการสอนวิชา 207351 Computer Application for Irrigation Engineering. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สุดารัตน์ ภิรมณ์. ม.ป.ป. ศึกษาการจำลองสภาพพื้นที่แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ร่วมกับแบบจำลองทางชลศาสตร์ HEC-RAS. หน่วยวิจัยเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2554. การพัฒนาระบบเครือข่ายจัดการภัยธรรมชาติน้ำท่วมฉับพลันและดินถล่ม. รายงานฉบับสมบูรณ์. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย.

อุคร ชนะศรีรัตนกุล. 2543. การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์กับสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับงานน้ำท่วมในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Gary, W.B. 2002a. HEC-RAS , River Analysis System User's Manual. US Army Corps Of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, California.

Gary, W.B. 2002b. HEC-RAS, **River Analysis System Hydraulic Reference Manual**. US Army Corps Of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, California.

Jonh, C.W, G.W. Brunner, B.C. Wolf and S.S. Piper. 2002. **HEC-RAS, River Analysis System Applications Guide**. US Army Corps Of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, California.

Winai W. and P. Kobkiat, 2011. **Interated Hydrologic and Hydrodynamic model for flood risk assessment in Nam Loei basin**, pp.117-127. Proceeding on The 1st International Conference on Water resource Engineering, Phetchaburi, Thailand.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

รายละเอียดโปรแกรม Sort Data

Forms ในโปรแกรม SortData

สำหรับโปรแกรม SortData ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Visual Basic นี้มี Form ทั้งหมด 11 Form ดังแสดงในตารางที่ ก1 โดยชื่อ Form ในที่นี้เป็นชื่อที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งจะปรากฏใน Properties – name ของ Form นั้นๆ ไม่ใช่ชื่อที่ปรากฏบนหน้าต่างของโปรแกรมที่แสดงในหัวข้อเรื่อง การใช้งานโปรแกรม SortData ซึ่งเป็น Properties – Caption ของ Form

ตารางผนวกที่ ก1 Form ในโปรแกรม SortData

ชื่อ Form	หน้าที่
1. main	เป็น Form หน้าจอหลักของโปรแกรมซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการเรียกใช้ Form ย่อยอื่นๆ
2. QSortRID	ใช้รับข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลอัตราการใช้ของกรมชลประทาน (*.q dai)
3. RSortRID	ใช้รับข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลฝนของกรมชลประทาน (*.DAI)
4. WLSortRID	ใช้รับข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลระดับน้ำของกรมชลประทาน (*.DAI)
5. RSortRID	ใช้รับข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลระดับน้ำและอัตราการใช้ของกรมชลประทาน (*.DAT)
6. QSortDWR	ใช้รับข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลอัตราการใช้ของกรมทรัพยากรน้ำ (*.csv)
7. RSortDWR	ใช้รับข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลฝนของกรมทรัพยากรน้ำ (*.csv)
8. WLSortDWR	ใช้รับข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลระดับน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ (*.csv)
9. RSortTMD	ใช้รับข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลฝนของกรมอุตุฯ (* .xls)
10. Exclamation	แสดงสถานะว่ากำลังถ่ายโอนข้อมูลหรือกำลังทำงาน
11. RepSortData	สอบถามผู้ใช้งานว่าต้องการทำงานซ้ำอีกรอบหรือไม่

หมายเหตุ รายละเอียด Source Code บรรจุอยู่ในแผ่น CD

ข้อควรระวังในการใช้งานโปรแกรม SortData

ผู้ใช้งานโปรแกรมควรตรวจสอบข้อมูล ก่อนว่าถูกต้องตามรูปแบบที่โปรแกรมต้องการหรือไม่ รวมทั้งสัญลักษณ์หรืออักษรย่อที่ใช้แทนตัวเลขในการบันทึกข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเปลี่ยนได้หลังจาก Export ข้อมูลออกไปยังโปรแกรม Excel โดยใช้คำสั่งค้นหาและแทนที่ได้





ภาคผนวก ข

ตัวอย่าง Text File ข้อมูลนำเข้า ที่ใช้ในการจัดเรียงของหน่วยงานต่างๆ

Water Year - 1952													
Discharge, in Cubic Meter per Second, Water Year April 1, 1952 to March 31, 1953													
Date	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
1	19	19	13	88	422	563	216	72	23	20	45	24	
2	20	20	19	108	264	526	208	70	23	20	45	24	
3	20	20	19	132	348	460	198	66	23	20	43	24	
4	20	20	17	111	602	369	181	62	23	20	41	24	
5	20	20	21	93	384	340	172	54	23	20	38	24	
6	20	20	20	112	667	339	141	44	23	20	37	24	
7	20	20	19	205	594	324	128	44	23	20	35	24	
8	20	22	17	195	434	724	123	41	22	20	34	23	
9	20	22	17	108	324	2063	105	41	22	20	34	23	
10	20	22	17	92	329	1421	100	38	22	19	32	23	
11	19	23	17	61	322	558	97	38	22	19	31	23	
12	19	23	17	56	577	420	95	38	22	19	31	23	
13	19	23	17	57	371	355	91	37	22	19	30	23	
14	19	29	17	47	407	344	86	35	22	19	30	23	
15	19	36	17	53	333	363	83	34	22	19	28	23	
16	19	57	17	213	304	353	81	34	22	19	28	23	
17	19	27	16	123	326	329	81	32	22	19	28	23	
18	19	23	16	104	399	399	79	30	22	19	28	22	
19	17	23	15	175	411	411	79	28	22	19	28	22	
20	17	23	15	269	541	2147	87	26	22	19	28	22	
21	17	23	15	551	464	1902	87	25	22	19	27	16	
22	17	25	19	449	432	1157	83	25	22	17	27	16	
23	17	38	50	569	378	574	83	24	21	17	27	16	
24	17	53	53	566	449	458	81	24	21	17	25	16	
25	17	38	89	614	647	486	81	23	21	17	25	16	
26	19	27	79	348	1104	471	80	23	21	19	25	16	
27	19	27	75	269	619	335	79	23	21	21	25	15	
28	19	23	65	249	608	311	79	23	21	21	25	15	
29	19	23	82	288	1337	279	77	23	21	22	25	15	
30	17	23	99	608	1605	247	77	23	21	30	25	15	
31		22		516	91		75	21	21	37		15	
Total	563	814	969	7429	16093	19028	3313	1100	680	626	880	635	52130 CMSDAY
Mean	19	26	32	240	519	634	107	37	22	20	31	21	143 CMS
Max	20	57	99	614	1605	2147	216	72	23	37	45	24	2147 CMS
Min	17	19	13	47	91	247	75	23	21	17	25	15	13 CMS
Runoff	49	70	84	642	1390	1644	286	95	59	54	76		554503.990 MCM
Momentary Peak	2161.00 CMS, at 199.53 M (MSL.), at 18.00 hours, on Sep 20, 1952												
Runoff Yield	30.99 Liters/Second/Square KM, Momentary Peak Yield 468.87 Liters/Second/Square KM												

ภาพผนวกที่ ข1 Text File ข้อมูลอัตราการไหล *.qdai

Water Year - 1952													
Gage Height in Meter (MSL.), Water Year April 1, 1952 to March 31, 1952													
Date	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
1	192.83	192.82	192.71	193.71	195.79	196.39	194.68	193.55	192.90	192.84	193.22	192.94	
2	192.84	192.84	192.82	193.70	194.97	196.24	194.63	193.53	192.90	192.84	193.22	192.94	
3	192.84	192.84	192.82	194.11	195.44	195.97	194.57	193.49	192.90	192.84	193.20	192.94	
4	192.84	192.84	192.80	193.93	196.53	195.54	194.46	193.44	192.90	192.84	193.18	192.94	
5	192.84	192.84	192.86	193.76	195.61	195.40	194.40	193.34	192.90	192.84	193.14	192.94	
6	192.84	192.84	192.84	193.94	196.76	195.39	194.18	193.21	192.90	192.84	193.12	192.94	
7	192.84	192.84	192.82	194.61	196.50	195.31	194.08	193.21	192.90	192.84	193.10	192.94	
8	192.84	192.88	192.80	194.55	195.85	196.94	194.03	193.18	192.88	192.84	193.09	192.92	
9	192.84	192.88	192.80	193.90	195.31	199.39	193.87	193.17	192.88	192.84	193.08	192.92	
10	192.84	192.88	192.78	193.75	195.34	198.42	193.83	193.14	192.88	192.82	193.06	192.92	
11	192.82	192.90	192.78	193.42	195.30	196.37	193.80	193.14	192.88	192.82	193.04	192.92	
12	192.82	192.90	192.78	193.36	196.44	195.78	193.78	193.14	192.88	192.82	193.04	192.92	
13	192.82	192.90	192.80	193.37	195.55	195.47	193.74	193.12	192.88	192.82	193.02	192.92	
14	192.82	193.01	192.80	193.25	195.72	195.42	193.69	193.10	192.88	192.82	193.02	192.90	
15	192.82	193.11	192.78	193.33	195.36	195.51	193.66	193.08	192.88	192.82	193.00	192.90	
16	192.82	193.38	192.78	194.66	195.20	195.46	193.64	193.08	192.88	192.82	193.00	192.90	
17	192.82	192.99	192.76	194.03	195.32	195.34	193.64	193.05	192.88	192.82	193.00	192.90	
18	192.82	192.92	192.76	193.86	195.68	195.68	193.62	193.02	192.88	192.82	193.00	192.88	
19	192.80	192.90	192.74	194.42	195.74	195.74	193.62	193.00	192.88	192.82	193.00	192.88	
20	192.80	192.90	192.74	195.00	196.30	199.51	193.70	192.97	192.88	192.82	193.00	192.88	
21	192.80	192.90	192.74	196.34	195.99	199.16	193.70	192.96	192.88	192.82	193.98	192.76	
22	192.80	192.96	192.82	195.92	195.84	197.96	193.66	192.96	192.88	192.80	193.98	192.76	
23	192.80	193.14	193.29	196.41	195.58	196.43	193.66	192.94	192.86	192.80	193.98	192.76	
24	192.80	193.32	193.32	196.40	195.92	195.96	193.64	192.93	192.86	192.80	193.96	192.76	
25	192.80	193.14	193.72	196.57	196.69	196.08	193.64	192.92	192.86	192.80	193.96	192.76	
26	192.82	192.98	193.62	195.44	197.86	196.02	193.63	192.92	192.86	192.83	193.96	192.76	
27	192.82	192.98	193.58	195.00	196.59	195.37	193.62	192.92	192.86	192.86	193.96	192.74	
28	192.82	192.98	193.48	194.88	196.55	195.24	193.62	192.92	192.86	192.86	193.96	192.74	
29	192.82	192.92	193.65	195.11	198.28	195.06	193.60	192.92	192.86	192.88		192.74	
30	192.78	192.92	193.82	196.55	198.72	194.87	193.60	192.92	192.86	193.02		192.74	
31		192.88		196.20	197.45		193.58		192.86	193.12		192.74	
Mean	192.82	192.95	192.99	194.63	196.13	196.25	193.86	193.11	192.88	192.84	193.33	192.86	
Max	192.84	193.38	193.82	196.57	198.72	199.51	194.68	193.55	192.90	193.12	193.98	192.94	199.51
Min	192.78	192.82	192.71	193.25	194.97	194.87	193.58	192.92	192.86	192.80	193.00	192.74	192.71
Annual Max Momentary Gage Height	199.53 M (MSL.) , at 18.00 hours, on Sep 20, 1952												
Zero Gage at Bottom Elevation	192.17 M (MSL.) , River Bed 0.00 m (MSL.)												
Left Bank Elevation	M (MSL.)												
Right Bank Elevation	M (MSL.) M (MSL.) , Drainage Area 4,609 Square Kilometers												

ภาพผนวกที่ ข2 Text File ข้อมูลระดับน้ำ *.DAI

RID Computer Center, Processing : 8-JUL-2011 10:02:22.89														LQS/LQS02D/03
Station - Ban Na Lak, A. Wang Saphung, Loei, (KH.28A)										Royal Irrigation Department				
Stream - Loei										Thailand				
River - Khong										Hydrology Division				
River System - Khong River										Rating Curve HC3.0063Y/2006				
Water Year - 2006														
Gage Height in Meter (MSL), Water Year April 1, 2006 to March 31, 2007														
Date	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual	
1	239.70	241.33	240.33	240.72	242.39	242.48	242.24	240.38	239.92	239.80	239.66	239.63		
2	239.70	240.34	240.39	240.49	241.14	241.40	241.55	240.36	239.92	239.80	239.68	239.62		
3	239.71	240.09	240.43	240.43	240.79	241.01	243.27	240.36	239.92	239.79	239.71	239.62		
4	239.71	239.98	240.34	240.26	240.70	240.88	246.88	240.35	239.92	239.79	239.71	239.61		
5	239.71	239.90	240.18	240.17	240.56	240.86	246.81	240.34	239.91	239.79	239.71	239.60		
6	239.71	239.84	240.16	240.22	240.41	240.80	245.54	240.32	239.91	239.78	239.71	239.60		
7	239.65	239.84	240.18	240.79	240.33	241.05	244.85	240.30	239.90	239.78	239.70	239.60		
8	239.65	239.90	240.08	240.87	240.27	240.76	243.94	240.27	239.89	239.77	239.70	239.59		
9	239.65	240.28	240.03	240.85	240.65	240.70	244.31	240.25	239.88	239.77	239.70	239.59		
10	239.65	240.11	239.96	241.21	241.19	240.92	244.58	240.21	239.87	239.76	239.70	239.59		
11	239.67	240.06	239.96	240.98	240.58	243.28	245.43	240.18	239.86	239.76	239.69	239.58		
12	239.67	240.03	239.99	240.81	240.43	243.39	245.73	240.17	239.86	239.75	239.70	239.58		
13	239.68	240.03	239.94	241.21	240.36	242.60	243.73	240.15	239.85	239.75	239.72	239.58		
14	239.70	240.01	239.97	240.86	241.47	241.50	242.22	240.14	239.84	239.75	239.74	239.57		
15	239.70	239.93	239.97	240.73	242.60	241.05	241.65	240.12	239.84	239.75	239.75	239.57		
16	239.71	239.88	239.90	240.80	241.40	241.02	241.36	240.10	239.84	239.75	239.74	239.56		
17	239.72	239.84	239.88	240.46	241.28	241.54	241.14	240.08	239.84	239.74	239.70	239.56		
18	239.85	239.80	239.86	240.90	241.47	241.91	240.98	240.06	239.83	239.74	239.68	239.56		
19	239.86	239.80	239.84	241.66	241.21	241.65	240.86	240.04	239.83	239.74	239.67	239.60		
20	239.85	239.80	239.88	242.22	241.98	241.80	240.78	240.03	239.83	239.73	239.67	239.69		
21	239.85	239.83	240.02	241.12	241.67	242.25	240.74	240.01	239.83	239.72	239.66	239.69		
22	239.84	240.04	240.02	241.46	241.72	241.60	240.72	240.00	239.83	239.71	239.65	239.68		
23	239.84	241.47	240.08	241.98	241.66	242.10	240.70	239.98	239.82	239.71	239.64	239.67		
24	239.82	243.37	240.17	240.76	241.59	241.30	240.63	239.97	239.82	239.70	239.64	239.65		
25	239.82	242.23	240.29	240.55	241.29	241.01	240.54	239.96	239.82	239.69	239.64	239.64		
26	239.83	240.88	240.71	242.22	242.01	241.61	240.51	239.94	239.82	239.69	239.64	239.63		
27	240.15	240.89	240.83	243.22	242.46	242.98	240.48	239.92	239.82	239.68	239.63	239.61		
28	240.40	240.85	241.15	241.33	242.57	242.95	240.46	239.92	239.82	239.68	239.63	239.60		
29	240.42	240.34	240.56	241.01	241.70	245.08	240.43	239.92	239.81	239.67		239.59		
30	242.03	240.46	240.52	240.78	242.20	243.89	240.41	239.92	239.81	239.67		239.58		
31		240.41		241.53	242.98		240.39		239.81	239.66		239.57		
Mean	239.87	240.37	240.19	241.05	241.39	241.85	242.38	240.12	239.85	239.74	239.68	239.61		
Max	242.03	243.37	241.15	243.22	242.98	245.08	246.88	240.38	239.92	239.80	239.75	239.69	246.88	
Min	239.65	239.80	239.84	240.17	240.27	240.70	240.39	239.92	239.81	239.66	239.63	239.56	239.56	
Annual Max Momentary Gage Height	247.62 M (MSL), at 21.00 Hours, on Oct 4, 2006													
Zero Gage at Bottom Elevation	239.62 M (MSL), River Bed 238.18 M (MSL)													
Left Bank Elevation	253.64 M (MSL)													
Right Bank Elevation	253.65 M (MSL), Drainage Area 1271 Square Kilometers													

ภาพผนวกที่ ข3 Text File ข้อมูลระดับน้ำและอัตราการไหล *.DAT

59	RID Computer Center, Processing : 8-JUL-2011 10:02:22.91											LQS/LQS02D/04		
60														
61														
62	Station	- Ban Na Lak, A. Wang Saphung, Loei, (KH.28A)										Royal Irrigation Department		
63	Stream	- Loei										Thailand		
64	River	- Khong										Hydrology Division		
65	River System	- Khong River										Rating Curve HC3.0063Y/2006		
66														
67	Water Year - 2006													
68	Discharge, in Cubic Meter per Second, Water Year April 1, 2006 to March 31, 2007													
69		Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
70	Date													
71														
72														
73														
74														
75	1	3.00	40.20	11.60	21.60	82.60	86.20	76.60	12.60	5.20	4.00	2.60	2.30	
76	2	3.00	11.80	12.80	14.80	34.20	43.00	49.00	12.20	5.20	4.00	2.80	2.20	
77	3	3.10	7.35	13.60	13.60	23.70	30.30	121.65	12.20	5.20	3.90	3.10	2.20	
78	4	3.10	5.80	11.80	10.20	21.00	26.40	359.60	12.00	5.20	3.90	3.10	2.10	
79	5	3.10	5.00	8.70	8.55	16.80	25.80	351.20	11.80	5.10	3.90	3.10	2.00	
80	6	3.10	4.40	8.40	9.40	13.20	24.00	247.80	11.40	5.10	3.80	3.10	2.00	
81	7	2.50	4.40	8.70	23.70	11.60	31.50	204.00	11.00	5.00	3.80	3.00	2.00	
82	8	2.50	5.00	7.20	26.10	10.40	22.80	153.00	10.40	4.90	3.70	3.00	1.90	
83	9	2.50	10.60	6.45	25.50	19.50	21.00	172.05	10.00	4.80	3.70	3.00	1.90	
84	10	2.50	7.65	5.60	36.30	35.70	27.60	187.80	9.20	4.70	3.60	3.00	1.90	
85														
86	11	2.70	6.90	5.60	29.40	17.40	122.10	240.10	8.70	4.60	3.60	2.90	1.80	
87	12	2.70	6.45	5.90	24.30	13.60	127.05	261.10	8.55	4.60	3.50	3.00	1.80	
88	13	2.80	6.45	5.40	36.30	12.20	91.50	142.50	8.25	4.50	3.50	3.20	1.80	
89	14	3.00	6.15	5.70	25.80	45.80	47.00	75.80	8.10	4.40	3.50	3.40	1.70	
90	15	3.00	5.30	5.70	21.90	91.50	31.50	53.00	7.80	4.40	3.50	3.50	1.70	
91	16	3.10	4.80	5.00	24.00	43.00	30.60	41.40	7.50	4.40	3.50	3.40	1.60	
92	17	3.20	4.40	4.80	14.20	38.40	48.60	34.20	7.20	4.40	3.40	3.00	1.60	
93	18	4.50	4.00	4.60	27.00	45.80	63.40	29.40	6.90	4.30	3.40	2.80	1.60	
94	19	4.60	4.00	4.40	53.40	36.30	53.00	25.80	6.60	4.30	3.40	2.70	2.00	
95	20	4.50	4.00	4.80	75.80	66.20	59.00	23.40	6.45	4.30	3.30	2.70	2.90	
96														
97	21	4.50	4.30	6.30	33.60	53.80	77.00	22.20	6.15	4.30	3.20	2.60	2.90	
98	22	4.40	6.60	6.30	45.40	55.80	51.00	21.60	6.00	4.30	3.10	2.50	2.80	
99	23	4.40	45.80	7.20	66.20	53.40	71.00	21.00	5.80	4.20	3.10	2.40	2.70	
100	24	4.20	126.15	8.55	22.80	50.60	39.00	18.90	5.70	4.20	3.00	2.40	2.50	
101	25	4.20	76.20	10.80	16.50	38.70	30.30	16.20	5.60	4.20	2.90	2.40	2.40	
102	26	4.30	26.40	21.30	75.80	67.40	51.40	15.30	5.40	4.20	2.90	2.40	2.30	
103	27	8.25	26.70	24.90	119.40	85.40	108.60	14.60	5.20	4.20	2.80	2.30	2.10	
104	28	13.00	25.50	34.50	40.20	90.15	107.25	14.20	5.20	4.20	2.80	2.30	2.00	
105	29	13.40	11.80	16.80	30.30	55.00	217.80	13.60	5.20	4.10	2.70		1.90	
106	30	68.20	14.20	15.60	23.40	75.00	150.50	13.20	5.20	4.10	2.70		1.80	
107	31		13.20		48.20	108.60		12.80		4.10	2.60		1.70	
108														
109														
110														
111	Total	191.35	531.50	299.00	1043.65	1412.75	1916.20	3033.00	244.30	140.70	104.70	79.70	64.10	9060.95 C
112	Mean	6.38	17.15	9.97	33.67	45.57	63.87	97.84	8.14	4.54	3.38	2.85	2.07	24.82 CMS
113	Max	68.20	126.15	34.50	119.40	108.60	217.80	359.60	12.60	5.20	4.00	3.50	2.90	359.60 CMS
114	Min	2.50	4.00	4.40	8.55	10.40	21.00	12.80	5.20	4.10	2.60	2.30	1.60	1.60 CMS
115	Runoff	16.533	45.922	25.834	90.171	122.062	165.560	262.051	21.108	12.156	9.046	6.886	5.538	782.866
116	Momentary Peak	459.20 CMS, at 247.62 M (MSL), at 21.00 Hours, on Oct 4, 2006												
117	Runoff Yield	19.53 Liters/Second/Square KM, Momentary Peak Yield 361.290 Liters/Second/Square KM												
118														

ภาพผนวกที่ ข3 (ต่อ)

118	RID Computer Center, Processing : 8-JUL-2011 10:02:23.23												LQS/LQS02D/03	
121	Station	- Ban Na Lak, A. Wang Saphung, Loei, (KH.28A)										Royal Irrigation Department		
122	Stream	- Loei										Thailand		
123	River	- Khong										Hydrology Division		
124	River System	- Khong River										Rating Curve HCS.		
126	Water Year - 2007													
128	Gage Height in Meter (MSL), Water Year April 1, 2007 to March 31, 2008													
130	Date	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
134	1	239.67	239.75	240.23	240.39	240.08	240.60	240.99	240.36	239.90	239.74	239.63	239.54	
135	2	239.67	239.75	240.11	240.26	240.94	240.50	240.67	240.47	239.90	239.74	239.68	239.54	
136	3	239.67	239.75	240.05	240.23	241.44	240.48	240.65	240.47	239.98	239.74	239.79	239.53	
137	4	239.65	239.76	240.02	240.23	240.51	240.36	240.73	240.33	240.41	239.74	239.88	239.53	
138	5	239.70	239.91	239.99	240.28	240.28	240.44	244.46	240.25	239.89	239.74	239.91	239.53	
139	6	239.85	240.22	240.01	240.22	240.16	240.99	247.64	240.24	239.90	239.73	239.86	239.56	
140	7	239.83	240.24	240.04	240.23	240.08	241.00	245.16	240.21	239.90	239.72	239.79	239.56	
141	8	239.82	240.21	240.03	240.26	240.37	240.99	244.43	240.19	239.97	239.71	239.75	239.58	
142	9	239.83	240.10	240.12	240.23	244.58	240.90	244.06	240.15	240.06	239.70	239.72	239.58	
143	10	239.76	239.99	240.02	240.15	245.30	240.62	245.27	240.13	239.85	239.70	239.70	239.58	
145	11	239.82	239.91	239.94	240.05	242.39	240.58	245.17	240.12	239.82	239.70	239.68	239.57	
146	12	239.91	239.88	239.90	240.00	241.39	241.07	243.83	240.11	239.82	239.70	239.67	239.57	
147	13	239.89	240.33	239.86	239.97	240.95	241.32	244.10	240.09	239.82	239.70	239.66	239.56	
148	14	239.83	241.64	239.83	239.98	240.59	241.42	245.01	240.08	239.81	239.69	239.65	239.56	
149	15	239.75	240.72	239.83	240.08	240.51	241.61	244.33	240.07	239.81	239.69	239.64	239.52	
150	16	239.72	240.86	239.85	239.97	240.42	241.26	242.92	240.06	239.82	239.69	239.63	239.52	
151	17	239.70	240.88	239.86	239.92	240.40	241.39	242.03	240.06	239.81	239.69	239.62	239.50	
152	18	239.70	240.55	240.30	239.86	240.72	241.42	241.55	240.05	239.73	239.68	239.61	239.53	
153	19	239.65	240.43	241.34	239.83	240.61	241.84	241.15	240.05	239.72	239.68	239.60	239.57	
154	20	239.63	240.36	240.99	239.81	240.74	243.06	240.93	240.02	239.71	239.65	239.59	239.57	
156	21	239.63	240.26	240.54	239.84	240.49	243.02	240.76	239.99	239.71	239.63	239.58	239.56	
157	22	239.66	240.16	240.24	239.82	240.61	241.47	240.65	239.97	239.72	239.63	239.57	239.54	
158	23	239.66	240.11	240.14	239.84	240.54	240.89	240.58	239.95	239.74	239.63	239.56	239.54	
159	24	239.64	240.12	240.05	240.01	240.43	240.61	240.51	239.94	239.75	239.62	239.55	239.55	
160	25	239.64	240.10	239.98	240.37	240.35	240.53	240.44	239.93	239.77	239.60	239.54	239.60	
161	26	239.63	239.99	240.02	240.22	240.27	241.06	240.39	239.93	239.77	239.60	239.53	239.61	
162	27	239.63	239.92	240.48	240.05	240.19	241.73	240.36	239.93	239.76	239.60	239.52	239.62	
163	28	239.67	239.92	240.53	240.04	240.18	242.03	240.33	239.93	239.76	239.59	239.52	239.59	
164	29	239.72	239.99	240.76	240.05	240.53	242.14	240.30	239.92	239.75	239.59	239.52	239.62	
165	30	239.79	240.05	240.63	240.10	240.32	241.53	240.26	239.92	239.75	239.59	239.59	239.63	
166	31		240.22		240.13	240.52		240.26		239.74	239.59		239.65	
170	Mean	239.72	240.20	240.19	240.08	240.87	241.23	242.26	240.10	239.83	239.67	239.65	239.56	
171	Max	239.91	241.64	241.34	240.39	245.30	243.06	247.64	240.47	240.41	239.74	239.91	239.65	247.64
172	Min	239.63	239.75	239.83	239.81	240.08	240.36	240.26	239.92	239.71	239.59	239.52	239.50	239.50
173	Annual Max Momentary Gage Height	248.12 M (MSL), at 6.00 Hours, on Oct 6, 2007												
174	Zero Gage at Bottom Elevation	239.62 M (MSL), River Bed 238.18 M (MSL)												
175	Left Bank Elevation	246.16 M (MSL)												
176	Right Bank Elevation	246.34 M (MSL), Drainage Area 1271 Square Kilometers												

ภาพผนวกที่ ข3 (ต่อ)

177	RID Computer Center, Processing : 8-JUL-2011 10:02:23.25												LQS/LQS02D/04	
178														
179														
180	Station	- Ban Na Lak, A. Wang Saphung, Loei, (KH.28A)											Royal Irrigation Department	
181	Stream	- Loei											Thailand	
182	River	- Khong											Hydrology Division	
183	River System	- Khong River											Rating Curve HC3.	
184														
185	Water Year - 2007													
186														
187	Discharge, in Cubic Meter per Second, Water Year April 1, 2007 to March 31, 2008													
188														
189	Date	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
190	-----													
191														
192														
193	1	2.03	2.75	10.98	15.14	7.08	20.60	30.74	14.36	4.10	2.66	1.67	0.86	
194	2	2.03	2.75	7.86	11.76	29.44	18.00	22.42	17.22	4.10	2.66	2.12	0.86	
195	3	2.03	2.75	6.30	10.98	48.16	17.48	21.90	17.22	4.82	2.66	3.11	0.77	
196	4	1.85	2.84	5.52	10.98	18.26	14.36	23.98	13.58	15.66	2.66	3.92	0.77	
197	5	2.30	4.19	4.91	12.28	12.28	16.44	198.06	11.50	4.01	2.66	4.19	0.77	
198	6	3.65	10.72	5.26	10.72	9.16	30.74	515.40	11.24	4.10	2.57	3.74	1.04	
199	7	3.47	11.24	6.04	10.98	7.08	31.00	241.24	10.46	4.10	2.48	3.11	1.04	
200	8	3.38	10.46	5.78	11.76	14.62	30.74	196.23	9.94	4.73	2.39	2.75	1.22	
201	9	3.47	7.60	8.12	10.98	205.38	28.40	173.66	8.90	6.56	2.30	2.48	1.22	
202	10	2.84	4.91	5.52	8.90	251.00	21.12	248.90	8.38	3.65	2.30	2.30	1.22	
203	-----													
204	11	3.38	4.19	4.46	6.30	88.72	20.08	241.93	8.12	3.38	2.30	2.12	1.13	
205	12	4.19	3.92	4.10	5.00	46.21	33.73	161.16	7.86	3.38	2.30	2.03	1.13	
206	13	4.01	13.58	3.74	4.73	29.70	43.48	176.10	7.34	3.38	2.30	1.94	1.04	
207	14	3.47	55.96	3.47	4.82	20.34	47.38	231.61	7.08	3.29	2.21	1.85	1.04	
208	15	2.75	23.72	3.47	7.08	18.26	54.79	190.13	6.82	3.29	2.21	1.76	0.68	
209	16	2.48	27.36	3.65	4.73	15.92	41.14	114.16	6.56	3.38	2.21	1.67	0.68	
210	17	2.30	27.88	3.74	4.28	15.40	46.21	71.44	6.56	3.29	2.21	1.58	0.50	
211	18	2.30	19.30	12.80	3.74	23.72	47.38	52.45	6.30	2.57	2.12	1.49	0.77	
212	19	1.85	16.18	44.26	3.47	20.86	63.76	36.85	6.30	2.48	2.12	1.40	1.13	
213	20	1.67	14.36	30.74	3.29	24.24	121.12	29.18	5.52	2.39	1.85	1.31	1.13	
214	-----													
215	21	1.67	11.76	19.04	3.56	17.74	119.04	24.76	4.91	2.39	1.67	1.22	1.04	
216	22	1.94	9.16	11.24	3.38	20.86	49.33	21.90	4.73	2.48	1.67	1.13	0.86	
217	23	1.94	7.86	8.64	3.56	19.04	28.14	20.08	4.55	2.66	1.67	1.04	0.86	
218	24	1.76	8.12	6.30	5.26	16.18	20.86	18.26	4.46	2.75	1.58	0.95	0.95	
219	25	1.76	7.60	4.82	14.62	14.10	18.78	16.44	4.37	2.93	1.40	0.86	1.40	
220	26	1.67	4.91	5.52	10.72	12.02	33.34	15.14	4.37	2.93	1.40	0.77	1.49	
221	27	1.67	4.28	17.48	6.30	9.94	59.47	14.36	4.37	2.84	1.40	0.68	1.58	
222	28	2.03	4.28	18.78	6.04	9.68	71.44	13.58	4.37	2.84	1.31	0.68	1.31	
223	29	2.48	4.91	24.76	6.30	18.78	76.72	12.80	4.28	2.75	1.31	0.68	1.58	
224	30	3.11	6.30	21.38	7.60	13.32	51.67	11.76	4.28	2.75	1.31		1.67	
225	31		10.72		8.38	18.52		11.76		2.66	1.31		1.85	
226	-----													
227														
228														
229	Total	75.48	346.56	318.68	237.64	1076.01	1276.74	3158.38	235.95	116.64	63.20	54.55	33.59	699
230	Mean	2.52	11.18	10.62	7.67	34.71	42.56	101.88	7.86	3.76	2.04	1.88	1.08	19.11 CMS
231	Max	4.19	55.96	44.26	15.14	251.00	121.12	515.40	17.22	15.66	2.66	4.19	1.85	515.40 CMS
232	Min	1.67	2.75	3.47	3.29	7.08	14.36	11.76	4.28	2.39	1.31	0.68	0.50	0.50 CMS
233	Runoff	6.521	29.943	27.534	20.532	92.967	110.310	272.884	20.386	10.078	5.460	4.713	2.902	60
234	Momentary Peak	597.60 CMS, at 248.12 M (MSL), at 6.00 Hours, on Oct 6, 2007												
235	Runoff Yield	15.03 Liters/Second/Square KM, Momentary Peak Yield 470.181 Liters/Second/Square KM												
236	-----													

ภาพผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ที่มา: กรมชลประทาน (2553)

Royal Irrigation Department, Thailand Station - 28013 A. Muang, Nan													27-Jan-10 Computer Center RFL/RD&YVW/2.01	
Water Year - 1952														
Daily Rainfall in Millimeter														
Date	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual	
1	.0	.0	.0	.0	.0	1.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
2	.0	.0	.0	.0	.0	4.0	.0	.0	.0	.0	18.9	.0	.0	
3	.0	.0	13.7	.0	3.8	4.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	12.6	
4	2.5	.0	3.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	4.8	.0	.0	
5	.0	.0	.0	.0	0.6	.0	1.6	.0	.0	.0	.0	.0	6.1	
6	.0	24.3	.0	.0	.0	1.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.2	
7	.0	.0	.0	.0	33.0	1.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
8	.0	.0	.0	.0	1.0	20.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
9	.0	.0	.0	.0	.0	52.2	10.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
10	.0	.0	.0	.0	2.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
11	.0	4.1	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
12	.0	.0	.0	.0	3.0	2.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
13	.0	.0	.0	.0	1.0	1.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
14	25.0	8.7	.0	.0	.0	3.0	3.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
15	.0	4.2	.0	.0	.0	1.1	.0	2.7	.0	.0	.0	.0	.0	
16	.0	5.0	1.2	.0	.0	3.6	.0	.0	.0	5.8	.0	.0	.0	
17	.0	.0	.0	.0	2.2	1.3	.0	.0	.0	6.1	.0	.0	.0	
18	.0	.0	.0	.0	36.7	9.7	0.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
19	.0	.0	.0	.0	20.6	182.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
20	.0	.0	.0	.0	5.5	.0	.0	.0	.0	.0	1.4	.0	.0	
21	1.6	4.9	.0	.0	5.5	19.6	.0	.0	.0	.0	3.3	.0	.0	
22	9.7	4.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
23	.0	.0	.0	9.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
24	.0	.0	.0	0.8	13.3	.0	.0	.0	.0	4.5	.0	.0	.0	
25	.0	7.2	.0	0.8	10.5	6.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
26	11.3	15.1	11.2	.0	5.1	24.5	1.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
27	18.6	5.7	4.0	.0	.0	0.8	0.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
28	.0	0.8	.0	.0	63.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
29	.0	.0	1.7	27.6	76.8	.0	.0	.0	.0	1.6	.0	.0	.0	
30	.0	.0	.0	7.0	.0	.0	.0	.0	.0	8.4	.0	.0	.0	
31	.0	.0	.0	3.1	1.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
Total	68.7	85.1	37.4	49.0	285.5	342.2	17.8	2.7	.0	26.4	28.4	19.9	963.1 MM.	
Average	2.3	2.7	1.2	1.6	9.2	11.4	0.6	0.1	.0	0.9	1.0	0.6	2.6 MM./Day	
Rainy Days	6	11	7	6	18	19	6	1	0	5	4	3	86 Days	
Maximum 1 Day Rainfall			182.9 MM.	19 Sep 1952,		Maximum 2 Day Rainfall	192.6 MM.	18 Sep 1952						
Maximum 3 Day Rainfall			202.5 MM.	19 Sep 1952,		Maximum 4 Day Rainfall	212.2 MM.	18 Sep 1952						
Maximum 5 Day Rainfall			213.5 MM.	17 Sep 1952,		Maximum 6 Day Rainfall	217.1 MM.	16 Sep 1952						
Maximum 7 Day Rainfall			218.2 MM.	15 Sep 1952,		Maximum 8 Day Rainfall	233.3 MM.	19 Sep 1952						
Maximum 9 Day Rainfall			243.0 MM.	18 Sep 1952,		Maximum 10 Day Rainfall	244.3 MM.	17 Sep 1952						
Maximum 14 Day Rainfall			297.9 MM.	8 Sep 1952,		Maximum 15 Day Rainfall	299.3 MM.	7 Sep 1952						
Maximum 30 Day Rainfall			482.6 MM.	28 Aug 1952										

ภาพผนวกที่ ข4 Text File ข้อมูลฝน *.DAI

Royal Irrigation Department, Thailand													27-Jan-10	
Station - 28013 A. Muang, Nan													Computer Center	
													RFL/RD&YWY/2.01	
Water Year - 1953														
Daily Rainfall in Millimeter														
Date	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual	
1	.0	.0	7.4	.0	.0	.0	.0	0.1	.0	.0	.0	.0		
2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
3	.0	1.8	.0	.0	41.0	1.3	0.6	.0	.0	.0	.0	.0		
4	.0	.0	.0	.0	1.7	16.7	11.5	.0	.0	.0	.0	.0		
5	.0	.0	.0	.0	1.0	.0	0.9	.0	.0	.0	.0	7.0		
6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
8	.0	.0	.0	2.9	8.6	12.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
9	14.0	2.7	5.8	.0	1.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
10	.0	.0	.0	.0	9.8	7.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
11	.0	.0	.0	.0	8.4	11.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
12	0.1	3.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
13	.0	.0	15.9	.0	.0	22.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
14	.0	1.2	0.8	0.6	4.7	4.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
15	.0	.0	.0	6.6	.0	.0	.0	.0	1.2	.0	.0	10.9		
16	.0	.0	9.4	.0	23.5	1.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
17	.0	.0	.0	.0	0.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
18	.0	2.8	39.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
19	0.6	.0	26.9	.0	39.9	3.6	.0	.0	.0	.0	.0	0.9		
20	.0	.0	4.8	22.4	.0	23.1	.0	.0	.0	.0	.0	3.5		
21	5.0	.0	2.1	7.2	.0	8.6	18.2	3.2	.0	.0	.0	13.7		
22	.0	.0	0.4	.0	.0	.0	1.7	1.6	.0	.0	.0	.0		
23	77.7	.0	.0	.0	6.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	8.5		
24	22.6	.0	.0	.0	25.8	0.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
25	0.5	.0	.0	.0	.0	21.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
26	.0	31.0	7.0	16.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
27	0.3	.0	.0	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
28	.0	13.9	0.4	2.5	15.4	.0	4.8	.0	.0	.0	.0	.0		
29	.0	0.5	.0	9.8	.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
30	56.2	3.5	3.5	13.6	21.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
31	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0		
Total	177.0	60.7	124.2	84.1	208.9	135.5	37.7	4.9	1.2	.0	.0	44.5	878.7 MM.	
Average	5.9	2.0	4.1	2.7	6.7	4.5	1.2	0.2	0.0	.0	.0	1.4	2.4 MM./Day	
Rainy Days	9	9	13	10	15	14	6	3	1	0	0	6	86 Days	
Maximum 1 Day Rainfall			77.7 MM.	23 Apr 1953,						100.3 MM.	23 Apr 1953			
Maximum 3 Day Rainfall			100.8 MM.	23 Apr 1953,						105.3 MM.	21 Apr 1953			
Maximum 5 Day Rainfall			105.8 MM.	21 Apr 1953,						105.9 MM.	19 Apr 1953			
Maximum 7 Day Rainfall			106.4 MM.	19 Apr 1953,						157.3 MM.	23 Apr 1953			
Maximum 9 Day Rainfall			157.3 MM.	23 Apr 1953,						162.3 MM.	21 Apr 1953			
Maximum 14 Day Rainfall			164.1 MM.	21 Apr 1953,						164.7 MM.	19 Apr 1953			
Maximum 30 Day Rainfall			216.6 MM.	26 Jul 1953										

ภาพผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ที่มา: กรมชลประทาน (2553)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	DEPARTMENT OF WATER RESOURCES												
3	NAM FA (090901)												
4	DAILY DISCHARGE IN CUBIC METERS PER SECOND FOR CALENDAR YEAR 1986												
5	DRAINAGE 90km2												
6													
7	DAY	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
8	1	0.78	0.56	0.49	0.35	2.26	0.93	0.78	2.42	1.75	1.52	1.16	0.78
9	2	0.78	0.56	0.49	0.35	0.49	0.93	0.78	4.88	1.63	1.52	1.16	0.78
10	3	0.71	0.56	0.49	0.27	0.35	0.86	0.78	3.06	1.75	1.4	1.16	0.78
11	4	0.71	0.56	0.42	0.27	0.35	0.86	0.78	3.22	1.63	1.4	1.16	0.78
12	5	0.71	0.56	0.42	0.35	0.35	0.86	0.71	3.06	1.63	1.52	1.16	0.78
13	6	0.71	0.56	0.42	0.93	6.89	3.22	0.71	2.74	1.75	1.4	1.16	0.78
14	7	0.71	0.56	0.42	0.35	0.86	1.16	0.71	3.06	4.29	1.28	1.16	0.78
15	8	0.71	0.56	0.42	0.35	0.71	3.06	0.71	2.74	3.9	1.28	1.16	0.78
16	9	0.71	0.56	0.35	0.35	1.4	1.63	0.78	6.08	4.09	1.28	1.05	0.78
17	10	0.71	0.56	0.35	0.35	4.88	1.4	9.31	3.7	3.06	1.28	1.05	0.71
18	11	0.71	0.49	0.35	0.35	8.62	1.16	16.4	3.06	2.58	1.28	1.05	0.71
19	12	0.64	0.49	0.35	0.35	1.98	1.16	5.87	2.74	2.42	1.4	1.05	0.71
20	13	0.64	0.49	0.35	0.35	1.16	1.28	3.7	2.58	2.26	1.28	1.05	0.71
21	14	0.64	0.49	0.35	0.35	0.86	5.08	2.9	2.42	2.1	1.28	1.05	0.71
22	15	0.64	0.49	0.35	1.16	1.16	2.74	2.58	2.26	2.1	1.98	0.93	0.71
23	16	0.64	0.49	0.35	0.93	0.86	2.42	2.1	2.42	1.98	1.4	0.93	0.71
24	17	0.64	0.49	0.35	0.42	0.86	2.26	1.87	2.1	1.87	1.28	0.93	0.71
25	18	0.64	0.49	0.35	0.64	0.71	1.75	1.75	1.98	1.87	1.16	0.93	0.71
26	19	0.64	0.49	0.35	0.71	0.64	1.63	1.63	1.87	3.22	1.16	0.86	0.64
27	20	0.64	0.49	0.35	0.35	0.64	1.4	1.87	1.75	1.98	1.05	0.86	0.64
28	21	0.64	0.49	0.35	0.35	0.56	1.28	2.74	1.75	1.98	1.05	0.86	0.64
29	22	0.64	0.49	0.35	0.35	0.71	1.16	2.42	1.63	1.75	1.05	0.86	0.64
30	23	0.64	0.49	0.35	0.35	0.78	1.16	2.42	2.74	1.75	1.05	0.86	0.64
31	24	0.64	0.49	0.35	0.49	3.06	1.05	5.08	1.98	1.63	6.48	0.86	0.64
32	25	0.64	0.49	0.35	0.35	8.62	0.93	4.88	2.26	1.63	3.06	0.78	0.64
33	26	0.56	0.49	0.35	0.35	5.67	0.93	4.09	2.9	1.52	3.54	0.78	0.64
34	27	0.56	0.49	0.35	0.42	2.74	0.93	3.54	2.74	1.52	1.75	0.78	0.64
35	28	0.56	0.49	0.35	0.42	1.98	0.86	2.9	2.26	1.52	1.63	0.78	0.64
36	29	0.56	0.49	0.35	0.35	1.52	0.86	2.42	2.1	1.87	1.4	0.78	0.64
37	30	0.56	0.49	0.35	0.71	1.28	0.78	2.42	1.87	1.63	1.4	0.78	0.64
38	31	0.56	0.49	0.35	0.35	1.16	0.78	2.42	1.75	1.28	1.28	0.64	0.64
39													
40													
41	TOTAL	20.3	14.4	11.6	13.7	64.1	45.7	92.1	82.1	64.7	50.8	29.1	21.7
42													
43	MEAN	0.65	0.52	0.38	0.46	2.07	1.52	2.97	2.65	2.16	1.64	0.97	0.7
44	MAX	0.78	0.56	0.49	1.16	8.62	5.08	16.4	6.08	4.29	6.48	1.16	0.78
45	MIN	0.56	0.49	0.35	0.27	0.35	0.78	0.71	1.63	1.52	1.05	0.78	0.64
46	L/S/KM2	7.27	5.73	4.17	5.07	23	17	33	29.5	24	18.2	10.8	7.8
47	RUNOFF	19.5	13.9	11.2	13.1	61.6	43.9	88.5	78.9	62.1	48.9	28	20.9
48	RUNOFF	1.75	1.25	1	1.18	5.54	3.95	7.95	7.1	5.59	4.39	2.52	1.88
49													
50	MAXIMUM	16.4	MINIMUM	0.27	MEAN	1.39		TOTAL R	44.1	MILLION M3			

ภาพผนวกที่ ๖6 Text File อัตราการไหล *.csv

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
51													
52													
53													
54	DEPARTMENT OF WATER RESOURCES												
55	NAM FA [090901]												
56	DAILY DISCHARGE IN CUBIC METERS PER SECOND FOR CALENDAR YEAR 1987												
57	DRAINAGE 90km2												
58													
59	DAY	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
60	1	0.51	0.41	0.36	0.36	0.27	0.46	0.27	0.41	1.46	1.55	0.95	0.76
61	2	0.51	0.41	0.36	0.32	0.22	0.41	0.27	0.36	1.28	2	0.95	0.76
62	3	0.51	0.41	0.36	0.32	0.22	0.56	0.27	0.32	1.19	2.5	0.95	0.76
63	4	0.51	0.41	0.41	0.32	0.22	0.61	0.27	0.32	1.19	1.82	1.19	0.71
64	5	0.51	0.41	0.41	0.32	0.51	0.36	0.27	0.32	1.1	2.2	0.95	0.71
65	6	0.51	0.41	0.41	0.32	0.51	0.32	0.36	0.27	1	1.91	0.95	0.71
66	7	0.51	0.41	0.36	0.32	0.32	0.61	0.36	0.32	2.5	1.82	0.9	0.71
67	8	0.51	0.41	0.36	0.32	0.32	1.19	0.32	0.41	3.72	1.82	1.05	0.71
68	9	0.51	0.41	0.36	0.32	0.27	1.55	0.32	0.36	1.91	2	0.95	0.66
69	10	0.51	0.41	0.36	0.32	0.27	0.61	0.32	0.36	1.55	1.82	0.9	0.66
70	11	0.51	0.41	0.36	0.32	0.27	0.46	0.27	0.32	1.73	1.64	0.9	0.66
71	12	0.51	0.36	0.36	0.27	0.22	0.41	0.27	0.61	1.46	1.46	0.9	0.66
72	13	0.51	0.36	0.32	0.27	0.32	0.36	0.27	0.46	1.37	1.37	0.9	0.66
73	14	0.51	0.36	0.32	0.27	0.27	0.32	0.27	0.41	1.37	1.37	1.1	0.66
74	15	0.51	0.32	0.32	0.27	0.27	0.41	0.27	0.32	1.37	1.28	0.9	0.66
75	16	0.51	0.32	0.32	0.46	0.22	0.61	0.27	0.32	2	1.19	0.9	0.66
76	17	0.51	0.32	0.32	0.46	0.22	1.46	0.27	2.3	1.37	1.19	0.9	0.66
77	18	0.46	0.32	0.32	0.41	0.22	0.76	0.36	8.84	2.3	1.1	0.9	0.66
78	19	0.46	0.36	0.32	0.32	0.41	0.51	0.32	2	1.91	1.28	1.55	0.66
79	20	0.46	0.36	0.32	0.27	0.27	0.41	0.27	1	1.91	1.28	0.9	0.61
80	21	0.46	0.36	0.32	0.27	0.22	0.46	0.22	0.76	3.58	1.55	0.81	0.61
81	22	0.46	0.51	0.32	0.46	0.22	0.36	0.22	1	2.6	1.28	0.81	0.61
82	23	0.46	0.46	0.32	0.32	0.22	0.32	0.22	31.8	2.1	1.19	0.81	0.61
83	24	0.46	0.36	0.32	0.27	0.22	0.32	0.36	16.6	2	1.19	0.81	0.61
84	25	0.46	0.36	0.32	0.27	0.22	0.32	0.46	7.16	1.73	1.19	0.76	0.61
85	26	0.46	0.36	0.32	0.27	0.22	0.32	0.36	5.69	2.7	1.1	0.76	0.61
86	27	0.46	0.36	0.32	0.27	0.17	0.32	0.27	3.87	1.82	1.05	0.76	0.61
87	28	0.46	0.36	0.32	0.27	0.17	0.32	0.27	3.14	1.55	1	0.76	0.61
88	29	0.46		0.32	0.27	0.27	0.32	0.32	2.6	1.46	1	0.76	0.56
89	30	0.41		0.32	0.36	0.22	0.32	0.32	2.3	1.55	1	0.76	0.56
90	31	0.41		0.41		0.32		0.32	2.2		1		0.56
91													
92													
93	TOTAL	15	10.7	10.6	9.59	8.29	15.8	9.21	97.2	54.8	45.2	27.4	20.3
94													
95	MEAN	0.48	0.38	0.34	0.32	0.27	0.53	0.3	3.13	1.83	1.46	0.91	0.65
96	MAX	0.51	0.51	0.41	0.46	0.51	1.55	0.46	31.8	3.72	2.5	1.55	0.76
97	MIN	0.41	0.32	0.32	0.27	0.17	0.32	0.22	0.27	1	1	0.76	0.56
98	L/S/KM2	5.39	4.26	3.82	3.56	2.97	5.85	3.3	34.9	20.3	16.2	10.2	7.27
99	RUNOFF	14.4	10.3	10.2	9.22	7.97	15.2	8.85	93.4	52.6	43.4	26.3	19.5
100	RUNOFF	1.3	0.93	0.92	0.83	0.72	1.36	0.8	8.38	4.73	3.9	2.37	1.75

ภาพผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2553)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	DEPARTMENT OF WATER RESOURCES												
3	NAM PU, [090201]												
4	DAILY GAGE HEIGHT IN METERS FOR CALENDAR YEAR 1977												
5													
6	DAY	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
7	1				0.79	0.83	0.84	1.06	1.62	1.21	1	1.08	0.85
8	2				0.89	0.79	0.84	1.02	1.57	1.18	0.98	1.08	0.85
9	3				0.77	0.76	0.88	1.09	1.58	1.18	0.98	1.08	0.84
10	4				0.77	0.75	0.84	1.03	1.37	1.2	1.01	1.05	0.84
11	5				0.77	0.76	0.83	0.98	1.34	1.15	1.01	1.02	0.84
12	6				0.76	0.76	0.82	1.21	1.32	1.12	0.98	1.01	0.83
13	7				0.74	0.76	0.81	1.13	1.25	1.1	0.96	0.99	0.83
14	8				0.75	0.79	0.8	1.19	1.36	1.1	1.03	0.97	0.83
15	9				0.75	0.94	0.8	1.14	1.28	1.19	1	0.97	0.82
16	10				0.76	0.93	0.77	1.05	1.28	1.19	0.98	0.96	0.82
17	11				0.77	0.86	0.76	1	1.28	1.14	0.96	0.95	0.82
18	12				0.77	0.81	0.87	0.97	1.26	1.1	0.99	0.94	0.82
19	13				0.76	0.79	0.85	0.98	1.22	1.11	1.02	0.93	0.82
20	14				0.76	0.82	0.82	1.07	1.17	1.1	0.99	0.92	0.81
21	15				0.76	0.81	0.86	1.18	1.14	1.08	0.99	0.92	0.81
22	16				0.76	0.78	0.82	1.34	1.11	1.05	0.96	0.91	0.81
23	17				0.76	0.77	0.82	1.28	1.15	1.04	0.95	0.91	0.81
24	18				0.75	0.76	0.79	1.25	1.15	1.03	0.96	0.9	0.81
25	19				0.97	0.82	0.88	1.21	1.19	1.1	0.97	0.89	0.8
26	20				0.75	0.77	0.88	1.13	1.16	1.09	0.96	0.89	0.82
27	21				0.78	0.77	0.85	1.16	1.12	1.09	0.95	0.88	0.8
28	22				0.76	0.76	0.83	1.36	1.23	1.34	0.95	0.88	0.8
29	23				0.76	0.77	0.81	1.49	1.24	1.24	0.94	0.87	0.8
30	24			0.73	0.74	0.77	0.91	1.38	1.18	1.13	0.93	0.87	0.81
31	25			0.76	0.74	0.8	0.89	1.29	1.18	1.09	1.09	0.86	0.81
32	26			0.73	0.74	0.8	0.86	1.21	1.13	1.06	1.02	0.86	0.81
33	27			0.73	0.73	0.8	0.84	1.16	1.11	1.04	0.98	0.93	0.81
34	28			0.73	0.73	0.79	0.83	1.17	1.09	1.02	0.98	0.87	0.81
35	29			0.73	0.72	0.89	0.83	1.72	1.3	1.03	1.33	0.86	0.87
36	30			0.75		0.87	1.05	2.31	1.31	1.01	1.18	0.85	0.84
37	31			0.75		0.85		1.84	1.27		1.09		0.84
38													
39	MAXIMUM	2.31	METERS										
40	MINIMUM	0.72	METER										
41													
42													
43													
44													

ภาพผนวกที่ ข7 Text File ข้อมูลระดับน้ำ *.csv

45	DEPARTMENT OF WATER RESOURCES												
46	NAM PUJ.[090201]												
47	DAILY GAGE HEIGHT IN METERS FOR CALENDAR YEAR 1978												
48													
49	DAY	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
50	1	0.82	0.75	0.71	0.7	0.73	0.73	1.24		1.3	1.06	1	0.88
51	2	0.81	0.75	0.7	0.7	0.7	0.73	1.17		1.29	1.05	0.99	0.88
52	3	0.8	0.75	0.72	0.7	0.7	0.74	1.15		1.3	1.05	0.98	0.87
53	4	0.79	0.76	0.72	0.69	0.79	0.86	1.15	1.57	1.34	1.05	0.97	0.87
54	5	0.81	0.75	0.72	0.69	0.75	0.85	1.21	1.49	1.33	1.33	0.97	0.87
55	6	0.82	0.74	0.73	0.69	0.72	0.93	1.19	1.42	1.31	1.19	0.96	0.87
56	7	0.8	0.88	0.73	0.7	0.72	0.93	1.17	1.42	1.7	1.11	0.96	0.87
57	8	0.8	0.77	0.73	0.7	0.72	0.93	1.14	1.51	1.63	1.22	0.95	0.87
58	9	0.78	0.76	0.71	0.7	0.7	1	1.1	1.73	1.56	1.24	0.95	0.87
59	10	0.78	0.76	0.72	0.7	0.72	0.87	1.06	1.92	1.49	1.39	0.94	0.86
60	11	0.78	0.74	0.73	0.75	0.7	0.86	1.05	1.83	1.45	1.31	0.94	0.86
61	12	0.78	0.74	0.72	0.8	0.7	0.82	1.08	1.8	1.68	1.26	0.94	0.86
62	13	0.77	0.74	0.72	0.77	0.7	0.86	1.28	1.64	1.61	1.21	0.93	0.86
63	14	0.77	0.74	0.71	0.87	0.7	0.89	1.36	1.92	1.53	1.17	0.93	0.86
64	15	0.77	0.74	0.71	0.82	0.75	0.91	1.28	1.76	1.51	1.14	0.93	0.87
65	16	0.77	0.73	0.72	0.77	0.76	0.9	1.19	1.6	1.44	1.12	0.92	0.87
66	17	0.77	0.73	0.71	0.74	0.76	1.03	1.21	1.62	1.37	1.1	0.94	0.87
67	18	0.76	0.73	0.71	0.74	0.76	0.94	1.14	1.56	1.34	1.09	0.92	0.87
68	19	0.76	0.73	0.71	0.76	0.77	0.94	1.11	1.5	1.29	1.08	0.92	0.86
69	20	0.76	0.73	0.71	0.72	0.76	1.27	1.54	1.51	1.26	1.09	0.91	0.86
70	21	0.77	0.72	0.71	0.7	0.76	1.29	1.32	1.55	1.23	1.08	0.91	0.86
71	22	0.77	0.73	0.7	0.7	0.76	1.22	1.32	1.51	1.22	1.07	0.9	0.86
72	23	0.77	0.71	0.7	0.7	0.75	1.09	1.27	1.48	1.21	1.07	0.9	0.85
73	24	0.77	0.7	0.71	0.69	0.84	1.01	1.29	1.44	1.17	1.06	0.9	0.85
74	25	0.77	0.74	0.7	0.69	0.76	0.98	1.37	1.61	1.17	1.05	0.9	0.85
75	26	0.77	0.73	0.7	0.7	0.76	0.96	1.33	1.53	1.15	1.09	0.89	0.85
76	27	0.76	0.72	0.71	0.73	0.76	2.12		1.45	1.13	1.08	0.89	0.85
77	28	0.76	0.72	0.71	0.74	0.82	2		1.41	1.11	1.05	0.89	0.85
78	29	0.76		0.7	0.72	0.79	1.63		1.36	1.09	1.03	0.89	0.84
79	30	0.76		0.7	0.74	0.76	1.39		1.32	1.08	1.02	0.88	0.84
80	31	0.76		0.7		0.75			1.3		1.01		0.84
81													
82	MAXIMU	2.12 METERS											
83	MINIMU	0.69 METER											

ภาพผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2553)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	DEPARTMENT OF WATER RESOURCES												
3	NAM PUJ.[090201]												
4	DAILY PRECIPITATION IN MILLIMETERS FOR CALENDAR YEAR 1993												
5													
6	DAY	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	3.7		
8	2	-	-	-	-	-	-	-	19.9				
9	3	-	-	-	-	-	-	-	10	7.8			
10	4	-	-	-	-	-	-	-					
11	5	-	-	-	-	-	-	-					
12	6	-	-	-	-	-	-	-	8.1				
13	7	-	-	-	-	-	-	-	4.4				
14	8	-	-	-	-	-	-	-	6.8				
15	9	-	-	-	-	-	-	-		16.4			
16	10	-	-	-	-	-	-	-		8.6	14.7		
17	11	-	-	-	-	-	-	-		4.7			
18	12	-	-	-	-	-	-	-					
19	13	-	-	-	-	-	-	-					
20	14	-	-	-	-	-	-	-	8.8	0.8	1.1		
21	15	-	-	-	-	-	-	4.4	9.4				
22	16	-	-	-	-	-	-	7.3		15.2			
23	17	-	-	-	-	-	-	0.3	4.3	16.7			
24	18	-	-	-	-	-	-		38.7				
25	19	-	-	-	-	-	-			23.3	4.7		
26	20	-	-	-	-	-	-	0.3		5.3			
27	21	-	-	-	-	-	-		4				
28	22	-	-	-	-	-	-	5.2	9.5	5.1			
29	23	-	-	-	-	-	-		12.3	3.9			
30	24	-	-	-	-	-	-			3.1			
31	25	-	-	-	-	-	-				2.6		
32	26	-	-	-	-	-	-	7.1			0.3		
33	27	-	-	-	-	-	-						
34	28	-	-	-	-	-	-				10.5		
35	29	-	-	-	-	-	-		5.1				
36	30	-	-	-	-	-	-		19			2	
37	31	-	-	-	-	-	-						
38													
39													
40	TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	186.7	104.8	21.5	0	0
41	MAX	-	-	-	-	-	-	-	38.7	16.7	14.7	0	0
42													
43	ANNUAL	XXXXXXXXXX IN MILLIMETERS											

ภาพผนวกที่ ข8 Text File ข้อมูลฝน *.csv

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
44													
45													
46													
47	DEPARTMENT OF WATER RESOURCES												
48	NAM PU, [090201]												
49	DAILY PRECIPITATION IN MILLIMETERS FOR CALENDAR YEAR 1994												
50													
51	DAY	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
52	1							9.5					46.7
53	2						17		12.9	15.3			3.6
54	3								69.7	22.9			14.2
55	4						3.8		22.3				
56	5					10.9	8.2	13.8		8			
57	6						15.1	12.3		30.1			9.9
58	7						13.3	40	4.8	12.2			
59	8					66.4	4.4	0.5	3.7				
60	9					28.4	3.5	8.3	2.3	1.2			
61	10					11.8	28		1.5	18.7	7.9		
62	11					69.3		18.7		4.5			
63	12					13.8		0.3					
64	13							3.5		29.4			
65	14								31.7	28.9			
66	15				13.8				36.8	28			
67	16					13.6		5.2	12.2	27.3			
68	17							10.6	40.1	8.9			
69	18			10.9		60.4	14.9	35.8	34.5				
70	19				2.4	11.1		30	12.4				
71	20				8.9	16.9		15.5	8.6				
72	21					45.1	6.3		12.5				
73	22						54.1		33.3				
74	23						9.4		86.4	8.5			
75	24			19.2			12.3		20.8	4.1			
76	25						1.5		12.2	17.2			
77	26							6.1	3.4			15.3	
78	27			43.6				23.1	9.6			21.9	
79	28			44.9		5.5	3.2	30.3	13.2	25.2			
80	29			6.1			7.7	15.5	37.8	9.3			
81	30			3.7			3.1	40.5	29.9				
82	31							80.7					
83													
84													
85	TOTAL	0	0	128.4	25.1	353.2	205.8	400.2	582	270.3	7.9	37.2	74.4
86	MAX	0	0	44.9	13.8	69.3	54.1	80.7	86.4	30.1	7.9	21.9	46.7
87													
88	ANNUAL	2084.5	IN MILLIMETERS										

ภาพผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2553)



ตารางผนวกที่ ค1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – ปริมาณน้ำ สถานี N.1 หน้าสำนักงานป่าไม้
อ.เมือง จ.น่าน ความจุลำน้ำ 1,300 ลบ.ม./วินาที เริ่มอ่านค่าระดับน้ำที่
70 เปอร์เซนต์ของความจุลำน้ำ

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
198.96	910.00	199.18	941.81	199.40	974.16	199.62	1,006.51
198.97	910.93	199.19	943.28	199.41	975.63	199.63	1,007.98
198.98	912.40	199.20	944.75	199.42	977.10	199.64	1,009.45
198.99	913.87	199.21	946.22	199.43	978.57	199.65	1,010.92
199.00	915.34	199.22	947.69	199.44	980.04	199.66	1,012.39
199.01	916.81	199.23	949.16	199.45	981.51	199.67	1,013.86
199.02	918.28	199.24	950.63	199.46	982.98	199.68	1,015.33
199.03	919.75	199.25	952.10	199.47	984.45	199.69	1,016.80
199.04	921.22	199.26	953.57	199.48	985.92	199.70	1,018.27
199.05	922.69	199.27	955.04	199.49	987.39	199.71	1,019.75
199.06	924.16	199.28	956.51	199.50	988.86	199.72	1,021.22
199.07	925.63	199.29	957.98	199.51	990.33	199.73	1,022.69
199.08	927.10	199.30	959.45	199.52	991.81	199.74	1,024.16
199.09	928.57	199.31	960.92	199.53	993.28	199.75	1,025.63
199.10	930.04	199.32	962.39	199.54	994.75	199.76	1,027.10
199.11	931.51	199.33	963.87	199.55	996.22	199.77	1,028.57
199.12	932.98	199.34	965.34	199.56	997.69	199.78	1,030.04
199.13	934.45	199.35	966.81	199.57	999.16	199.79	1,031.51
199.14	935.93	199.36	968.28	199.58	1000.63	199.80	1,032.98
199.15	937.40	199.37	969.75	199.59	1002.10	199.81	1,034.45
199.16	938.87	199.38	971.22	199.60	1003.57	199.82	1,035.92
199.17	940.34	199.39	972.69	199.61	1005.04	199.83	1,037.39

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
199.84	1,038.86	200.08	1,074.15	200.32	1,109.45	200.56	1,144.74
199.85	1,040.33	200.09	1,075.63	200.33	1,110.92	200.57	1,146.21
199.86	1,041.80	200.10	1,077.10	200.34	1,112.39	200.58	1,147.68
199.87	1,043.27	200.11	1,078.57	200.35	1,113.86	200.59	1,149.15
199.88	1,044.74	200.12	1,080.04	200.36	1,115.33	200.60	1,150.62
199.89	1,046.21	200.13	1,081.51	200.37	1,116.80	200.61	1,152.09
199.90	1,047.69	200.14	1,082.98	200.38	1,118.27	200.62	1,153.56
199.91	1,049.16	200.15	1,084.45	200.39	1,119.74	200.63	1,155.03
199.92	1,050.63	200.16	1,085.92	200.40	1,121.21	200.64	1,156.50
199.93	1,052.10	200.17	1,087.39	200.41	1,122.68	200.65	1,157.98
199.94	1,053.57	200.18	1,088.86	200.42	1,124.15	200.66	1,159.45
199.95	1,055.04	200.19	1,090.33	200.43	1,125.62	200.67	1,160.92
199.96	1,056.51	200.20	1,091.80	200.44	1,127.09	200.68	1,162.39
199.97	1,057.98	200.21	1,093.27	200.45	1,128.56	200.69	1,163.86
199.98	1,059.45	200.22	1,094.74	200.46	1,130.04	200.70	1,165.33
199.99	1,060.92	200.23	1,096.21	200.47	1,131.51	200.71	1,166.80
200.00	1,062.39	200.24	1,097.68	200.48	1,132.98	200.72	1,168.27
200.01	1,063.86	200.25	1,099.15	200.49	1,134.45	200.73	1,169.74
200.02	1,065.33	200.26	1,100.62	200.50	1,135.92	200.74	1,171.21
200.03	1,066.80	200.27	1,102.09	200.51	1,137.39	200.75	1,172.68
200.04	1,068.27	200.28	1,103.57	200.52	1,138.86	200.76	1,174.15
200.05	1,069.74	200.29	1,105.04	200.53	1,140.33	200.77	1,175.62
200.06	1,071.21	200.30	1,106.51	200.54	1,141.80	200.78	1,177.09
200.07	1,072.68	200.31	1,107.98	200.55	1,143.27	200.79	1,178.56

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
200.80	1,180.03	201.04	1,215.33	201.28	1,250.62	201.52	1,285.91
200.81	1,181.50	201.05	1,216.80	201.29	1,252.09	201.53	1,287.38
200.82	1,182.97	201.06	1,218.27	201.30	1,253.56	201.54	1,288.85
200.83	1,184.44	201.07	1,219.74	201.31	1,255.03	201.55	1,290.32
200.84	1,185.92	201.08	1,221.21	201.32	1,256.50	201.56	1,291.79
200.85	1,187.39	201.09	1,222.68	201.33	1,257.97	201.57	1,293.26
200.86	1,188.86	201.10	1,224.15	201.34	1,259.44	201.58	1,294.73
200.87	1,190.33	201.11	1,225.62	201.35	1,260.91	201.59	1,296.20
200.88	1,191.80	201.12	1,227.09	201.36	1,262.38	201.60	1,297.68
200.89	1,193.27	201.13	1,228.56	201.37	1,263.85	201.61	1,299.15
200.90	1,194.74	201.14	1,230.03	201.38	1,265.32	201.62	1,300.62
200.91	1,196.21	201.15	1,231.50	201.39	1,266.79	201.63	1,302.09
200.92	1,197.68	201.16	1,232.97	201.40	1,268.26	201.64	1,303.56
200.93	1,199.15	201.17	1,234.44	201.41	1,269.74	201.65	1,305.03
200.94	1,200.62	201.18	1,235.91	201.42	1,271.21	201.66	1,306.50
200.95	1,202.09	201.19	1,237.38	201.43	1,272.68	201.67	1,307.97
200.96	1,203.56	201.20	1,238.85	201.44	1,274.15	201.68	1,309.44
200.97	1,205.03	201.21	1,240.32	201.45	1,275.62	201.69	1,310.91
200.98	1,206.50	201.22	1,241.80	201.46	1,277.09	201.70	1,312.38
200.99	1,207.97	201.23	1,243.27	201.47	1,278.56	201.71	1,313.85
201.00	1,209.44	201.24	1,244.74	201.48	1,280.03	201.72	1,315.32
201.01	1,210.91	201.25	1,246.21	201.49	1,281.50	201.73	1,316.79
201.02	1,212.38	201.26	1,247.68	201.50	1,282.97	201.74	1,318.26
201.03	1,213.86	201.27	1,249.15	201.51	1,284.44	201.75	1,319.73

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
201.76	1,321.20	202.00	1,356.50	202.24	1,391.79	202.48	1,427.08
201.77	1,322.67	202.01	1,357.97	202.25	1,393.26	202.49	1,428.55
201.78	1,324.14	202.02	1,359.44	202.26	1,394.73	202.50	1,430.02
201.79	1,325.62	202.03	1,360.91	202.27	1,396.20	202.51	1,431.49
201.80	1,327.09	202.04	1,362.38	202.28	1,397.67	202.52	1,432.96
201.81	1,328.56	202.05	1,363.85	202.29	1,399.14	202.53	1,434.43
201.82	1,330.03	202.06	1,365.32	202.30	1,400.61	202.54	1,435.90
201.83	1,331.50	202.07	1,366.79	202.31	1,402.08	202.55	1,437.38
201.84	1,332.97	202.08	1,368.26	202.32	1,403.55	202.56	1,438.85
201.85	1,334.44	202.09	1,369.73	202.33	1,405.02	202.57	1,440.32
201.86	1,335.91	202.10	1,371.20	202.34	1,406.49	202.58	1,441.79
201.87	1,337.38	202.11	1,372.67	202.35	1,407.96	202.59	1,443.26
201.88	1,338.85	202.12	1,374.14	202.36	1,409.44	202.60	1,444.73
201.89	1,340.32	202.13	1,375.61	202.37	1,410.91	202.61	1,446.20
201.90	1,341.79	202.14	1,377.08	202.38	1,412.38	202.62	1,447.67
201.91	1,343.26	202.15	1,378.55	202.39	1,413.85	202.63	1,449.14
201.92	1,344.73	202.16	1,380.02	202.40	1,415.32	202.64	1,450.61
201.93	1,346.20	202.17	1,381.50	202.41	1,416.79	202.65	1,452.08
201.94	1,347.67	202.18	1,382.97	202.42	1,418.26	202.66	1,453.55
201.95	1,349.14	202.19	1,384.44	202.43	1,419.73	202.67	1,455.02
201.96	1,350.61	202.20	1,385.91	202.44	1,421.20	202.68	1,456.49
201.97	1,352.08	202.21	1,387.38	202.45	1,422.67	202.69	1,457.96
201.98	1,353.56	202.22	1,388.85	202.46	1,424.14	202.70	1,459.43
201.99	1,355.03	202.23	1,390.32	202.47	1,425.61	202.71	1,460.90

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
202.72	1,462.37	202.96	1,497.67	203.20	1,532.96	203.44	1,568.25
202.73	1,463.84	202.97	1,499.14	203.21	1,534.43	203.45	1,569.72
202.74	1,465.32	202.98	1,500.61	203.22	1,535.90	203.46	1,571.19
202.75	1,466.79	202.99	1,502.08	203.23	1,537.37	203.47	1,572.66
202.76	1,468.26	203.00	1,503.55	203.24	1,538.84	203.48	1,574.13
202.77	1,469.73	203.01	1,505.02	203.25	1,540.31	203.49	1,575.60
202.78	1,471.20	203.02	1,506.49	203.26	1,541.78	203.50	1,577.08
202.79	1,472.67	203.03	1,507.96	203.27	1,543.25	203.51	1,578.55
202.80	1,474.14	203.04	1,509.43	203.28	1,544.72	203.52	1,580.02
202.81	1,475.61	203.05	1,510.90	203.29	1,546.19	203.53	1,581.49
202.82	1,477.08	203.06	1,512.37	203.30	1,547.66	203.54	1,582.96
202.83	1,478.55	203.07	1,513.84	203.31	1,549.14	203.55	1,584.43
202.84	1,480.02	203.08	1,515.31	203.32	1,550.61	203.56	1,585.90
202.85	1,481.49	203.09	1,516.78	203.33	1,552.08	203.57	1,587.37
202.86	1,482.96	203.10	1,518.25	203.34	1,553.55	203.58	1,588.84
202.87	1,484.43	203.11	1,519.72	203.35	1,555.02	203.59	1,590.31
202.88	1,485.90	203.12	1,521.20	203.36	1,556.49	203.60	1,591.78
202.89	1,487.37	203.13	1,522.67	203.37	1,557.96	203.61	1,593.25
202.90	1,488.84	203.14	1,524.14	203.38	1,559.43	203.62	1,594.72
202.91	1,490.31	203.15	1,525.61	203.39	1,560.90	203.63	1,596.19
202.92	1,491.78	203.16	1,527.08	203.40	1,562.37	203.64	1,597.66
202.93	1,493.26	203.17	1,528.55	203.41	1,563.84	203.65	1,599.13
202.94	1,494.73	203.18	1,530.02	203.42	1,565.31	203.66	1,600.60
202.95	1,496.20	203.19	1,531.49	203.43	1,566.78	203.67	1,602.07

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
203.68	1,603.54	203.92	1,638.84	204.16	1,674.13	204.40	1,709.42
203.69	1,605.02	203.93	1,640.31	204.17	1,675.60	204.41	1,710.89
203.70	1,606.49	203.94	1,641.78	204.18	1,677.07	204.42	1,712.36
203.71	1,607.96	203.95	1,643.25	204.19	1,678.54	204.43	1,713.83
203.72	1,609.43	203.96	1,644.72	204.20	1,680.01	204.44	1,715.30
203.73	1,610.90	203.97	1,646.19	204.21	1,681.48	204.45	1,716.78
203.74	1,612.37	203.98	1,647.66	204.22	1,682.95	204.46	1,718.25
203.75	1,613.84	203.99	1,649.13	204.23	1,684.42	204.47	1,719.72
203.76	1,615.31	204.00	1,650.60	204.24	1,685.89	204.48	1,721.19
203.77	1,616.78	204.01	1,652.07	204.25	1,687.36	204.49	1,722.66
203.78	1,618.25	204.02	1,653.54	204.26	1,688.84	204.50	1,724.13
203.79	1,619.72	204.03	1,655.01	204.27	1,690.31	204.51	1,725.60
203.80	1,621.19	204.04	1,656.48	204.28	1,691.78	204.52	1,727.07
203.81	1,622.66	204.05	1,657.95	204.29	1,693.25	204.53	1,728.54
203.82	1,624.13	204.06	1,659.42	204.30	1,694.72	204.54	1,730.01
203.83	1,625.60	204.07	1,660.90	204.31	1,696.19	204.55	1,731.48
203.84	1,627.07	204.08	1,662.37	204.32	1,697.66	204.56	1,732.95
203.85	1,628.54	204.09	1,663.84	204.33	1,699.13	204.57	1,734.42
203.86	1,630.01	204.10	1,665.31	204.34	1,700.60	204.58	1,735.89
203.87	1,631.48	204.11	1,666.78	204.35	1,702.07	204.59	1,737.36
203.88	1,632.96	204.12	1,668.25	204.36	1,703.54	204.60	1,738.83
203.89	1,634.43	204.13	1,669.72	204.37	1,705.01	204.61	1,740.30
203.90	1,635.90	204.14	1,671.19	204.38	1,706.48	204.62	1,741.77
203.91	1,637.37	204.15	1,672.66	204.39	1,707.95	204.63	1,743.24

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
204.64	1,744.72	204.88	1,780.01	205.12	1,815.30	205.36	1,850.59
204.65	1,746.19	204.89	1,781.48	205.13	1,816.77	205.37	1,852.06
204.66	1,747.66	204.90	1,782.95	205.14	1,818.24	205.38	1,853.53
204.67	1,749.13	204.91	1,784.42	205.15	1,819.71	205.39	1,855.01
204.68	1,750.60	204.92	1,785.89	205.16	1,821.18	205.40	1,856.48
204.69	1,752.07	204.93	1,787.36	205.17	1,822.65	205.41	1,857.95
204.70	1,753.54	204.94	1,788.83	205.18	1,824.12	205.42	1,859.42
204.71	1,755.01	204.95	1,790.30	205.19	1,825.59	205.43	1,860.89
204.72	1,756.48	204.96	1,791.77	205.20	1,827.06	205.44	1,862.36
204.73	1,757.95	204.97	1,793.24	205.21	1,828.54	205.45	1,863.83
204.74	1,759.42	204.98	1,794.71	205.22	1,830.01	205.46	1,865.30
204.75	1,760.89	204.99	1,796.18	205.23	1,831.48	205.47	1,866.77
204.76	1,762.36	205.00	1,797.65	205.24	1,832.95	205.48	1,868.24
204.77	1,763.83	205.01	1,799.12	205.25	1,834.42	205.49	1,869.71
204.78	1,765.30	205.02	1,800.60	205.26	1,835.89	205.50	1,871.18
204.79	1,766.77	205.03	1,802.07	205.27	1,837.36	205.51	1,872.65
204.80	1,768.24	205.04	1,803.54	205.28	1,838.83	205.52	1,874.12
204.81	1,769.71	205.05	1,805.01	205.29	1,840.30	205.53	1,875.59
204.82	1,771.18	205.06	1,806.48	205.30	1,841.77	205.54	1,877.06
204.83	1,772.66	205.07	1,807.95	205.31	1,843.24	205.55	1,878.53
204.84	1,774.13	205.08	1,809.42	205.32	1,844.71	205.56	1,880.00
204.85	1,775.60	205.09	1,810.89	205.33	1,846.18	205.57	1,881.47
204.86	1,777.07	205.10	1,812.36	205.34	1,847.65	205.58	1,882.95
204.87	1,778.54	205.11	1,813.83	205.35	1,849.12	205.59	1,884.42

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

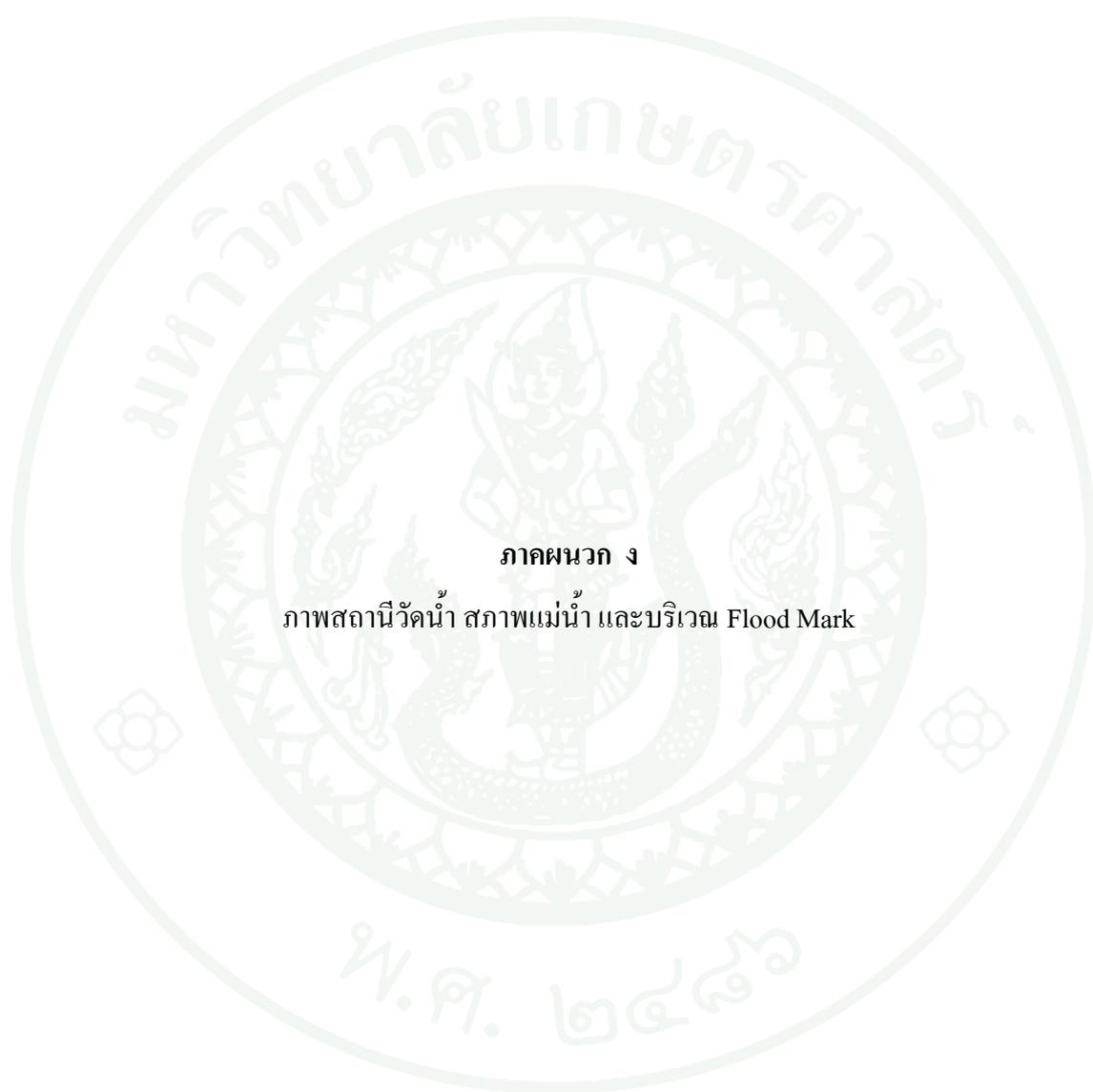
ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
205.60	1,885.89	205.84	1,921.18	206.08	1,956.47	206.32	1,991.76
205.61	1,887.36	205.85	1,922.65	206.09	1,957.94	206.33	1,993.23
205.62	1,888.83	205.86	1,924.12	206.10	1,959.41	206.34	1,994.71
205.63	1,890.30	205.87	1,925.59	206.11	1,960.88	206.35	1,996.18
205.64	1,891.77	205.88	1,927.06	206.12	1,962.35	206.36	1,997.65
205.65	1,893.24	205.89	1,928.53	206.13	1,963.82	206.37	1,999.12
205.66	1,894.71	205.90	1,930.00	206.14	1,965.29	206.38	2,000.59
205.67	1,896.18	205.91	1,931.47	206.15	1,966.77	206.39	2,002.06
205.68	1,897.65	205.92	1,932.94	206.16	1,968.24	206.40	2,003.53
205.69	1,899.12	205.93	1,934.41	206.17	1,969.71	206.41	2,005.00
205.70	1,900.59	205.94	1,935.88	206.18	1,971.18	206.42	2,006.47
205.71	1,902.06	205.95	1,937.35	206.19	1,972.65	206.43	2,007.94
205.72	1,903.53	205.96	1,938.83	206.20	1,974.12	206.44	2,009.41
205.73	1,905.00	205.97	1,940.30	206.21	1,975.59	206.45	2,010.88
205.74	1,906.47	205.98	1,941.77	206.22	1,977.06	206.46	2,012.35
205.75	1,907.94	205.99	1,943.24	206.23	1,978.53	206.47	2,013.82
205.76	1,909.41	206.00	1,944.71	206.24	1,980.00	206.48	2,015.29
205.77	1,910.89	206.01	1,946.18	206.25	1,981.47	206.49	2,016.76
205.78	1,912.36	206.02	1,947.65	206.26	1,982.94	206.50	2,018.23
205.79	1,913.83	206.03	1,949.12	206.27	1,984.41	206.51	2,019.70
205.80	1,915.30	206.04	1,950.59	206.28	1,985.88	206.52	2,021.17
205.81	1,916.77	206.05	1,952.06	206.29	1,987.35	206.53	2,022.65
205.82	1,918.24	206.06	1,953.53	206.30	1,988.82	206.54	2,024.12
205.83	1,919.71	206.07	1,955.00	206.31	1,990.29	206.55	2,025.59

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
206.56	2,027.06	206.80	2,062.35	207.04	2,097.64	207.28	2,132.93
206.57	2,028.53	206.81	2,063.82	207.05	2,099.11	207.29	2,134.41
206.58	2,030.00	206.82	2,065.29	207.06	2,100.58	207.30	2,135.88
206.59	2,031.47	206.83	2,066.76	207.07	2,102.05	207.31	2,137.35
206.60	2,032.94	206.84	2,068.23	207.08	2,103.52	207.32	2,138.82
206.61	2,034.41	206.85	2,069.70	207.09	2,104.99	207.33	2,140.29
206.62	2,035.88	206.86	2,071.17	207.10	2,106.47	207.34	2,141.76
206.63	2,037.35	206.87	2,072.64	207.11	2,107.94	207.35	2,143.23
206.64	2,038.82	206.88	2,074.11	207.12	2,109.41	207.36	2,144.70
206.65	2,040.29	206.89	2,075.58	207.13	2,110.88	207.37	2,146.17
206.66	2,041.76	206.90	2,077.05	207.14	2,112.35	207.38	2,147.64
206.67	2,043.23	206.91	2,078.53	207.15	2,113.82	207.39	2,149.11
206.68	2,044.70	206.92	2,080.00	207.16	2,115.29	207.40	2,150.58
206.69	2,046.17	206.93	2,081.47	207.17	2,116.76	207.41	2,152.05
206.70	2,047.64	206.94	2,082.94	207.18	2,118.23	207.42	2,153.52
206.71	2,049.11	206.95	2,084.41	207.19	2,119.70	207.43	2,154.99
206.72	2,050.59	206.96	2,085.88	207.20	2,121.17	207.44	2,156.46
206.73	2,052.06	206.97	2,087.35	207.21	2,122.64	207.45	2,157.93
206.74	2,053.53	206.98	2,088.82	207.22	2,124.11	207.46	2,159.40
206.75	2,055.00	206.99	2,090.29	207.23	2,125.58	207.47	2,160.87
206.76	2,056.47	207.00	2,091.76	207.24	2,127.05	207.48	2,162.35
206.77	2,057.94	207.01	2,093.23	207.25	2,128.52	207.49	2,163.82
206.78	2,059.41	207.02	2,094.70	207.26	2,129.99	207.50	2,165.29
206.79	2,060.88	207.03	2,096.17	207.27	2,131.46	207.51	2,166.76

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ	ระดับน้ำ ม.(รทก.)	ปริมาณน้ำ ลบ.ม./วิ
207.52	2,168.23	207.76	2,203.52				
207.53	2,169.70	207.77	2,204.99				
207.54	2,171.17	207.78	2,206.46				
207.55	2,172.64	207.79	2,207.93				
207.56	2,174.11	207.80	2,209.40				
207.57	2,175.58	207.81	2,210.87				
207.58	2,177.05	207.82	2,212.34				
207.59	2,178.52	207.83	2,213.81				
207.60	2,179.99	207.84	2,215.28				
207.61	2,181.46	207.85	2,216.75				
207.62	2,182.93	207.86	2,218.23				
207.63	2,184.40	207.87	2,219.70				
207.64	2,185.87	207.88	2,221.17				
207.65	2,187.34	207.89	2,222.64				
207.66	2,188.81	207.90	2,224.11				
207.67	2,190.29	207.91	2,225.58				
207.68	2,191.76	207.92	2,227.05				
207.69	2,193.23	207.93	2,228.52				
207.70	2,194.70	207.94	2,229.99				
207.71	2,196.17	207.95	2,231.46				
207.72	2,197.64	207.96	2,232.93				
207.73	2,199.11	207.97	2,234.40				
207.74	2,200.58						
207.75	2,202.05						





ภาพผนวกที่ ๑1 สถานีวัดน้ำ N.64



ภาพผนวกที่ ๑2 แนวแม่น้ำบริเวณ N.64



ภาพผนวกที่ ๓3 สถานีวัดน้ำ N.1



ภาพผนวกที่ ๓4 แนวแม่น้ำบริเวณ N.1



ภาพผนวกที่ ๖5 สถานีวัดน้ำ N.13A



ภาพผนวกที่ ๖6 แนวแม่น้ำบริเวณ N.13A



ภาพผนวกที่ ๗7 เสาวัดระดับน้ำท่วมบริเวณแยกท่าดี



ภาพผนวกที่ ๗8 สภาพป่าไม้ที่ถูกทำลายบริเวณต้นน้ำ

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายบุษปกร ชันดิธีระกวี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 24 พฤศจิกายน 2519
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (โยธา) มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พ.ศ. 2544)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ส่วนประสานและบริหารจัดการลุ่มน้ำชีตอนบน สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 4 กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม