



**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**  
**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

.....**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)**.....

**ปริญญา**

.....**วิศวกรรมชลประทาน**.....

**สาขา**

.....**วิศวกรรมชลประทาน**.....

**ภาควิชา**

**เรื่อง** การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำสงคราม โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

The Study on Flood Forecasting in SongKram River Basin by An Application of Mathematical Model

**นามผู้วิจัย** นายพงษ์รัตน์ อ่อนละมุน

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก** .....

( .....**อาจารย์วิวัฒน์กั แต่สมบัติ, วศ.ด.**..... )

**หัวหน้าภาควิชา** .....

( .....**ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิมิตร เจริญทัศน์พิพัฒน์, วศ.ม.**..... )

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว**

.....  
( .....**รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.**..... )

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

**วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

**สิขสิขจิ มทวีสถายเกษตรศาสตร์**

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำสงคราม โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

The Study on Flood Forecasting in SongKram River Basin by  
An Application of Mathematical Model

โดย

นายพงษ์รัตน์ อ่อนละมุน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พงษ์รัตน์ อ่อนละมุน 2556: การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมในกลุ่มน้ำสงคราม  
โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
(วิศวกรรมชลประทาน) สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วิญญ์วัฒน์ แต่สมบัติ, วศ.ด. 122 หน้า

กลุ่มน้ำสงคราม เป็นกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำโขง มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวม 13,146 ตร.กม.ครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ สกลนคร อุดรธานี หนองคาย และนครพนม นับเป็นกลุ่มน้ำที่ประสบปัญหาอุทกภัยเป็นประจำทุกปี เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามตอนล่างมีความลาดชันน้อยมากประมาณ 3 - 4 ซม./กม. รวมทั้งบริเวณปากแม่น้ำยังประสบกับปัญหาน้ำท่วมซึ่งเป็นจุดบรรจบแม่น้ำโขงทำให้เกิดน้ำเอ่อเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามเป็นบริเวณกว้างในทุกๆ ปี การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้ชุดของแบบจำลอง MIKE11- NAM/HD/DA โดยเริ่มต้นจากแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า NAM พิจารณาใช้ข้อมูลช่วงปี 2545 - 2552 ในการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า Kh.74 และ 022701 ผลของ NAM สรุปลอกมาเป็นค่าดัชนีทางสถิติ โดยค่า  $r$  มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.701 - 0.930 ต่อมาทำการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ HD ใช้แบบ steady state โดยการสมมติขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นปริมาณการไหลรายวันในแม่น้ำสงครามตั้งแต่ 5 - 1,500 ลบ.ม./วินาที แม่น้ำยามตั้งแต่ 5 - 1,000 ลบ.ม./วินาที ส่วนแม่น้ำอุบล ห้วยคอง และห้วยฮีใช้ตั้งแต่ 5 - 800 ลบ.ม./วินาที และขอบเขตด้านท้ายน้ำ กำหนดให้เป็น Rating Curves ที่สถานีวัดน้ำท่า Kh.22 หลังจากนั้นใช้แบบจำลอง HD คำนวณระดับน้ำ โดยการลองผิดลองถูกสมมติค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's  $n$ ) จนได้ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.033 - 0.067 ซึ่งทำให้ Rating Curves ที่คำนวณได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ที่สถานี Kh.98, 022801, 022901, 022601 และ 022701 ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ DA ได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพโดยเลือกช่วงเหตุการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่ที่สุดที่เคยเกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายนปี พ.ศ.2547 โดยได้ตั้งค่าช่วง Hindcast Period เท่ากับ 3 วันย้อนหลัง และค่าช่วง Forecast Period เท่ากับ 3 วันล่วงหน้า และได้ทำการพยากรณ์ระดับน้ำต่อเนื่องทุกๆ 3 วัน โดยพยากรณ์เริ่มต้นในวันที่ 1 จนถึงวันที่ 28 กันยายน พ.ศ.2547 ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง DA ได้ผลการพยากรณ์เป็นกราฟของระดับน้ำที่ใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำท่าทั้งสองแห่งในกลุ่มน้ำสงครามซึ่งได้แก่ สถานี Kh.98 และสถานี Kh.54 ได้อย่างแม่นยำ โดยผลการพยากรณ์ระดับน้ำในช่วงหนึ่งวันล่วงหน้า, ในช่วงสองวันล่วงหน้า และในช่วงสามวันล่วงหน้า จะมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 99.228, 99.067 และ 99.008 ตามลำดับ

Pongrat Onlamun 2013: The Study on Flood Forecasting in SongKram River Basin by An Application of Mathematical Model. Master of Engineering (Irrigation Engineering), Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Mr. Wisuwat Taesombut, D.Eng. 122 pages.

SongKram river basin is a subbasin of the Mekong river basin. It occupies a catchment area of 13,146 sq km. and covers four provinces namely Sakhon Nakhon, Udon Thani, Nong Khai and Nakhon Phanom. The basin always faces with flood problem every year. Because of the lower portion of a basin has very flat slope around 3 - 4 cm/km. in conjugate with its river outlet faces with backwater effect from a confluence of Mekong river and flood water in SongKram river widely overflows its banks every year. This study is an application of MIKE11-NAM/HD/DA model package. First, NAM rainfall- runoff model with the selected data set during 2002 - 2009 were carried out for the calibration and verification model at two runoff stations namely Kh.74 and 022701. The NAM result was summarized as the statistical indices r values which have a range of 0.701 to 0.930. Second, HD hydrodynamic model calibration was carried out by steady state basis. The upper boundary was daily river flow in the SongKram river which was assumed in a range of 5 to 1500 cms, Yam river has flow with a range of 5 to 1000 cms, and all of Oun river, Huai Khlong and Huai Hee have flow with a range of 5 to 800 cms. The downstream boundary was rating curves at Kh.22 station. The water level calculated by HD model with a trial and error basis of the river roughness coefficient (Manning'n). It found that there are in a ranged of 0.033 to 0.067 and gave a computed rating curves from HD model was inline with the observed rating curves at the stations namely Kh.98, 022801, 022901,022601 and 022701, respectively. Finally DA flood forecasting model, the highest flood event in the period of September 2004 was chosen to determine the performance of DA - flood forecasting model. The runtime of DA model was setup that the hindcast period was three days backward, and forecast period was three days forward. The forecasts of water level by DA model were generated every three days and the time of forecast was started from 1st September to 28th September 2004. The results were found that DA model has shown its accuracy in forecasting flood hydrographs that close to the observed values at all two stations - Kh.98 and Kh.54 - located along the SongKram river basin. The average accuracy of forecasting results at all stations revealed that for first day forecast, second day forecast, and third day forecast were 99.228%, 99.067% and 99.008%, respectively.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับอาจารย์ ดร. วิษุวัตก์ เต็มสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาเสนอแนะแนวทางในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. สมชาย ดอนเจดีย์ ประธานการสอบ และ ดร. ธเนศร์ สมบูรณ์ ผู้ทรงคุณทรงวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณา ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนด้วยดีตลอดมา รวมถึงบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของกรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และบริษัท ชาราคอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับมารดา นางพรเพ็ญ อ่อนละมุน บิดานายไพโรจน์ อ่อนละมุน ตลอดจนญาติพี่น้องเพื่อนฝูง คณาจารย์และผู้มีพระคุณที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมาในทุกเรื่อง จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

พงษ์รัตน์ อ่อนละมุน

เมษายน 2556

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	41
ผลและวิจารณ์	70
ผล	70
วิจารณ์ผล	94
สรุปและข้อเสนอแนะ	95
สรุป	95
ข้อเสนอแนะ	96
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	97
ภาคผนวก	99
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุตุ- อุทกวิทยาของกลุ่มน้ำสงคราม	100
ภาคผนวก ข ผลการการคำนวณจากแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ	117
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	122

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม	11
2	การใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม	16
3	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องลำน้ของทางน้ำเปิด	33
4	สถานีตรวจอากาศในพื้นที่ศึกษา	42
5	รายละเอียดสถานีวัดน้ำท่า	45
6	รายชื่อสถานีและสถิติปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปี	47
7	รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้เปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11 - NAM	55
8	รายชื่อลุ่มน้ำย่อยของระบบลุ่มน้ำสงคราม	65
9	ค่าทางสถิติที่ได้จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM	73
10	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11 - NAM ของสถานี Kh. 74	74
11	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11 - NAM ของสถานี Kh. 022701	75
12	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง HD	76
13	ค่าทางสถิติที่ได้จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD	89
14	สรุปผลการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE 11 - DA ระหว่างวันที่ 1 ถึง 28 กันยายน 2547	93
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ก1	สถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ในการศึกษา	101
ก2	สัดส่วนค่าการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนในระบบลุ่มน้ำสงคราม	103
ก3	รายละเอียดของตำแหน่งและสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำสงคราม	107
ก4	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่สถานี Kh.98	109

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก5	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่สถานี 022601	110
ก6	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่สถานี 022701	112
ก7	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่สถานี 022801	114
ก8	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่สถานี 022901	115
ข1	ผลการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11- DA ที่สถานี Kh.98	118
ข2	ผลการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11- DA ที่สถานี Kh.54	120



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม	10
2	วัฏจักรของน้ำ	22
3	โครงสร้างของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	28
4	การจำลองระบบแม่น้ำของแบบจำลอง MIKE 11- HD	31
5	การปรับแก้ค่าระดับน้ำก่อนการพยากรณ์น้ำ	35
6	ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Runtime) ของแบบจำลอง MIKE 11- DA	36
7	ขั้นตอนการศึกษา	41
8	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนทั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามและพื้นที่ใกล้เคียง	43
9	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่า	48
10	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าและสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการเปรียบเทียบและ ตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM	54
11	ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำสถานี Kh.74 และรูปเหลี่ยม Thiessen Polygon	56
12	ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำสถานี 022701 และรูปเหลี่ยม Thiessen Polygon	57
13	หน้าตาารูปตัดลำน้ำของแม่น้ำสงครามในแบบจำลอง MIKE 11- HD	58
14	ตำแหน่งรูปตัดขวางลำน้ำทั้งหมดในลุ่มน้ำสงครามจำนวน 418 รูปตัด	62
15	แผนภูมิแสดงระบบการไหลของน้ำในลุ่มน้ำสงคราม	63
16	แสดงการแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำสงคราม	64
17	รูปเหลี่ยมธีเอสเซนของโครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำสงคราม	67
18	การตั้งค่าต่างๆในแบบจำลอง MIKE11 - DA	69
19	ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM ที่สถานี Kh.74	71
20	ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM ที่สถานี 022701	72
21	ลักษณะของแม่น้ำสงครามที่ใช้ในการศึกษา	78
22	ลักษณะของแม่น้ำยามที่ใช้ในการศึกษา	79
23	ลักษณะของแม่น้ำอูนที่ใช้ในการศึกษา	80
24	ลักษณะของลำน้ำห้วยคองที่ใช้ในการศึกษา	81
25	ลักษณะของลำน้ำห้วยอีที่ใช้ในการศึกษา	81

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในแม่น้ำสงคราม โดยใช้ Rating Curves ที่สถานี Kh.98	82
27	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในแม่น้ำยาม โดยใช้ Rating Curves ที่สถานี 022801	83
28	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในแม่น้ำอุน โดยใช้ Rating Curves ที่สถานี 022901	84
29	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในห้วยคอง โดยใช้ Rating Curves ที่สถานี 022601	85
30	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในห้วยอี โดยใช้ Rating Curves ที่สถานี 022701	86
31	ระยะเวลาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากที่ค่าอัตราการไหลสูงสุด 100 cms และ 500 cms	87
32	ระยะเวลาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากที่ค่าอัตราการไหลสูงสุด 1,000 cms และ 1,500 cms	88
33	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการไหลที่สถานี Kh.98	90
34	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการไหลที่สถานี Kh.54	90
35	ผลการพยากรณ์น้ำที่สถานี Kh.54 ณ TOF ระหว่างวันที่ 1 ถึง 28 กันยายน 2547	91
36	ผลการพยากรณ์น้ำที่สถานี Kh.98 ณ TOF ระหว่างวันที่ 1 ถึง 28 กันยายน 2547	92

## การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำสงคราม โดยการประยุกต์ใช้ แบบจำลองคณิตศาสตร์

### The Study on Flood Forecasting in SongKram River Basin by An Application of Mathematical Model

#### คำนำ

ลุ่มน้ำสงคราม เป็นลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำโขงซึ่งเป็นลุ่มน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ลุ่มน้ำมีลักษณะแตกต่างกันหลายลักษณะ กล่าวคือ พื้นที่ที่อยู่ตามแนวลำน้ำสงครามและลำน้ำสาขาเป็นที่ราบบริเวณเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ถูกล้นน้ำท่วมทุกปี ไม่สามารถทำการเพาะปลูกพืชได้ในช่วงฤดูฝน ส่วนทางด้านใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำ มีพื้นที่เป็นเนินและภูเขาสูง โดยพื้นที่สูงส่วนใหญ่ยังมีสภาพเป็นป่าและพื้นที่ต้นน้ำลำธารซึ่งบางส่วนเป็นพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ

พื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ปัญหาสำคัญที่พบบ่อยครั้ง ได้แก่ อุทกภัยซึ่งทำให้เกิดความเสียหายทั้งส่วนที่เป็นทรัพย์สินของเกษตรกรและสาธารณูปโภคต่างๆ กล่าวคือพื้นที่เพาะปลูกบริเวณที่ราบลุ่มริมน้ำสงครามที่ใกล้ปากแม่น้ำและพื้นที่ตอนกลางลุ่มน้ำถูกล้นน้ำท่วมเป็นประจำ เกษตรกรจึงได้รับความเสียหายบ่อยครั้ง บางพื้นที่ไม่อาจใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มศักยภาพ โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ตอนต้นของลุ่มน้ำ พื้นที่ที่ถูกล้นน้ำท่วมบ่อยครั้งนี้เป็นพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากในจำนวนพื้นที่ที่เกษตรกรยังคงใช้ปลูกข้าวโดยยอมเสี่ยงต่อภัยธรรมชาติ แต่พื้นที่ส่วนใหญ่ยังไม่อาจนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์

ในการศึกษานี้ได้มีการประยุกต์ใช้ชุดของแบบจำลอง MIKE11-NAM/HD/DA โดยแบบจำลอง NAM/HD จะถูกใช้ในจำลองลักษณะทางด้านอุทกวิทยาและอุทกพลศาสตร์ของลุ่มน้ำ ส่วนแบบจำลอง DA จะใช้ในการพยากรณ์น้ำ โดยความแม่นยำของการพยากรณ์อยู่ในช่วง 1 ถึง 3 วันล่วงหน้า เนื่องจากระยะเวลาการเดินทางของน้ำหลากหลายจุดต้นน้ำไปยังด้านท้ายน้ำ ซึ่งมีระยะทางตามลำน้ำประมาณ 341.987 กิโลเมตรจะใช้เวลาโดยประมาณ 9 วัน ซึ่งน่าจะเพียงพอต่อการบริหารจัดการน้ำท่วมได้ทัน รวมถึงการแจ้งเตือนให้ประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยให้เตรียมพร้อมรับมือได้ทันเวลา

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า (MIKE11- NAM) ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน - น้ำท่าของกลุ่มน้ำสงคราม
2. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (MIKE11- HD) ในการศึกษาสภาพพลศาสตร์ของแม่น้ำสงครามและลำน้ำสาขาที่สำคัญ
3. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ (MIKE11- DA) ในการศึกษาการพยากรณ์น้ำในกลุ่มน้ำสงคราม

## การตรวจเอกสาร

### 1. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา (กรมชลประทาน, 2554)

#### 1.1 ที่ตั้งและสภาพภูมิประเทศ

พื้นที่ลุ่มน้ำสงครามประกอบไปด้วย ลุ่มน้ำยาม ห้วยน้ำอูน แม่น้ำสงครามตอนบน และแม่น้ำสงครามตอนล่าง เป็นลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง ซึ่งเป็นหนึ่งในลุ่มน้ำหลักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีที่ตั้งดังนี้

#### ลุ่มน้ำยาม

ที่ตั้ง ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ จังหวัดสกลนคร และจังหวัดนครพนม มีพื้นที่ประมาณ 1,743 ตร.กม.

ทิศเหนือ	ติดลุ่มน้ำย่อย แม่น้ำสงครามตอนล่าง
ทิศใต้	ติดลุ่มน้ำย่อย ห้วยน้ำอูน
ทิศตะวันออก	ติดลุ่มน้ำย่อย แม่น้ำสงครามตอนล่าง และห้วยน้ำอูน
ทิศตะวันตก	ติดลุ่มน้ำย่อย แม่น้ำสงครามตอนบน

ลำน้ำ มีลำน้ำยาม ซึ่งเป็นสาขาใหญ่อีกสาขาหนึ่งของแม่น้ำสงคราม ที่มีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาภูพานในเขตอำเภอส่องดาว จังหวัดสกลนคร ไหลผ่านทิศใต้ของ อำเภอวานรนิวาส และอำเภออากาศอำนวย จังหวัดสกลนคร แล้วไหลมาบรรจบกับแม่น้ำสงครามที่บ้านปากยาม อำเภอศรีสงคราม

#### ลุ่มน้ำห้วยอูน

ที่ตั้ง ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ จังหวัดสกลนคร และจังหวัดนครพนม มีพื้นที่ประมาณ 3,536 ตร.กม.

ทิศเหนือ	ติดลุ่มน้ำย่อย ห้วยน้ำยาม และแม่น้ำสงครามตอนล่าง
ทิศใต้	ติดลุ่มน้ำย่อย ลำปาวตอนล่าง และน้ำพุ
ทิศตะวันออก	ติดลุ่มน้ำย่อย ห้วยน้ำยาม แม่น้ำสงครามตอนบน และลำพันชาด
ทิศตะวันตก	ติดลุ่มน้ำย่อย แม่น้ำสงครามตอนบน

ลำน้ำ มีลำน้ำอูน ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาขนาดใหญ่ที่สุดของแม่น้ำสงคราม มีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาภูพาน ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำในเขต อำเภวาริชภูมิ และอำเภอกุดบาก จังหวัดสกลนคร ไหลผ่าน อำเภอฟังโคน อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร อำเภอนาหว้า จังหวัดนครพนม และไหลลงมาบรรจบกับแม่น้ำสงครามที่บ้านปากอูน อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม

#### ลุ่มน้ำแม่น้ำสงครามตอนบน

ที่ตั้ง ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ จังหวัดหนองคาย จังหวัดอุดรธานี และจังหวัดสกลนคร มีเนื้อที่ประมาณ 3,289 ตร.กม.

ทิศเหนือ	ติดลุ่มน้ำย่อย ห้วยคอง และแม่น้ำโขงส่วนที่ 7
ทิศใต้	ติดลุ่มน้ำย่อย ลำปาวตอนบน ลำพันชาด และห้วยน้ำอูน
ทิศตะวันออก	ติดลุ่มน้ำย่อย แม่น้ำสงครามตอนล่าง และห้วยน้ำยาม
ทิศตะวันตก	ติดลุ่มน้ำย่อย ห้วยหลวง และห้วยदान

ลำน้ำ แม่น้ำสงครามมีความยาวประมาณ 465 กม. ไหลจากทางทิศใต้ไปทิศเหนือ ในเขตอำเภอส่องดาวจังหวัดสกลนคร อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี อำเภอโซ่พิสัย จังหวัดหนองคาย และไหลเลี้ยววกกลับไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านเขตอำเภอพรเจริญ อำเภอเซกา จังหวัดหนองคาย และไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่ ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม

## ลุ่มน้ำแม่น้ำสงครามตอนล่าง

ที่ตั้ง ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดหนองคาย จังหวัดสกลนคร และจังหวัดนครพนม มีพื้นที่ประมาณ 3,138 ตร.กม.

ทิศเหนือ	ติดลุ่มน้ำย่อย ห้วยคอง ห้วยฮี และแม่น้ำโขงส่วนที่ 7
ทิศใต้	ติดลุ่มน้ำย่อย ห้วยน้ำยาม ห้วยน้ำอูน และห้วยน้ำทวย
ทิศตะวันออก	ติดลุ่มน้ำย่อย แม่น้ำโขงส่วนที่ 7
ทิศตะวันตก	ติดลุ่มน้ำย่อย แม่น้ำสงครามตอนบน

ลำน้ำ แม่น้ำสงครามมีความยาวประมาณ 465 กม. ไหลจากทางทิศใต้ไปทิศเหนือ ในเขตอำเภอสังคมจังหวัดสกลนคร อำเภอไชวาน จังหวัดอุดรธานี อำเภอโซ่พิสัย จังหวัดหนองคาย และไหลเลี้ยววกกลับไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านเขตอำเภอพรเจริญ อำเภอเซกา จังหวัดหนองคาย และไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่ ตำบล ไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม

โดยในพื้นที่ห้วยน้ำอูนมีโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูนเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในจังหวัดสกลนคร ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของสำนักชลประทานที่ 5 กรมชลประทาน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน ได้ดำเนินการส่งน้ำในเขตพื้นที่ของโครงการฯ 203,000 ไร่ มีพื้นที่ชลประทานจำนวน 185,800 ไร่ อยู่ในพื้นที่ของจังหวัดสกลนครทั้งหมด

## ข้อมูลเขื่อนน้ำอูน

ชนิด	เขื่อนดินถม	
พื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อน	1,100.000	ตร.กม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี	1,400.000	มม.
ปริมาณน้ำเฉลี่ยไหลลงอ่างตลอดปี	386.000	ล้าน ลบ.ม.
ระดับสันเขื่อน	190.000	เมตร (รทก.)
ระดับน้ำสูงสุด	187.600	เมตร (รทก.)
ระดับน้ำเก็บกัก	185.000	เมตร (รทก.)
ระดับน้ำต่ำสุด	175.000	เมตร (รทก.)

เขื่อนสูง	29.500	เมตร
เขื่อนยาว	3,300.000	เมตร
ความกว้างสันเขื่อน	8.000	เมตร
ความยาวสันเขื่อน	3,300.000	เมตร
ความกว้างของฐานเขื่อนที่จุดลึกที่สุด	188.000	เมตร
ความจุอ่างเก็บน้ำที่ระดับสูงสุด	767.00	ล้าน ลบ.ม.
ความจุอ่างเก็บน้ำที่ระดับเก็บกัก	520.00	ล้าน ลบ.ม.
ความจุอ่างเก็บน้ำที่ระดับต่ำสุด	45.00	ล้าน ลบ.ม.
ปริมาณน้ำใช้งาน	475.00	ล้าน ลบ.ม.
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำสูงสุด	120.00	ตร.กม.
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำเก็บกัก	85.00	ตร.กม.
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำต่ำสุด	7.00	ตร.กม.

#### ระบบส่งน้ำ

ความยาวคลองส่งน้ำสายใหญ่	73.740	กม.
ความยาวคลองซอยและคลองแยกซอย ของคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้าย	240.696	กม.
ความยาวของคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้าย	28.040	กม.
ความยาวของคลองซอยและคลองแยกซอย ของคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งขวา	73.160	กม.
ความยาวของคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งขวา	45.700	กม.
ความยาวของคลองซอยและคลองแยกซอย	167.536	กม.

#### อาคารระบายน้ำล้น

ชนิด	DROP INLET (MORNING GLORY)	
ที่ตั้ง	กม.1+410	
ขนาดช่องระบายน้ำ (ศก.)	15.000	เมตร
ระดับสันทางระบายน้ำ	185.000	ม.(รทก.)
ระบายน้ำสูงสุดได้ประมาณ	350.000	ม. <sup>3</sup> / วินาที



## อาคารระบายน้ำอุทกเงิน

ชนิด	ฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก		
ที่ตั้ง	ทางฝั่งขวาของเขื่อน 500 เมตร		
ขนาดช่องระบายน้ำ	200.000	เมตร	
ระดับสันทางระบายน้ำ	187.600	ม.(รทก.)	
ระบายน้ำสูงสุดได้ประมาณ	1,536.0000	ม. <sup>3</sup> / วินาที	

## ท่อส่งน้ำฝั่งซ้าย

ชนิด	ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก		
ที่ตั้ง	กม.0+340		
ระดับธรณีปากทางน้ำเข้า	175.000	ม.(รทก.)	
ขนาดภายในท่อด้านเหนือน้ำ (สก.)	1.500	เมตร	
ขนาดภายในท่อด้านท้ายน้ำ (สก.)	1.650	เมตร	
ความยาวท่อ	50.800	เมตร	
ระบายน้ำสูงสุดได้ประมาณ	9.080	ม. <sup>3</sup> / วินาที	

## ท่อส่งน้ำฝั่งขวา

ชนิด	ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก		
ที่ตั้ง	กม.2+74		
ระดับธรณีปากทางน้ำเข้า	175.000	ม.(รทก.)	
ขนาดภายในท่อด้านเหนือน้ำ (สก.)	2.400	เมตร	
ขนาดภายในท่อด้านท้ายน้ำ (สก.)	2.600	เมตร	
ความยาวท่อ	48.400	เมตร	
ระบายน้ำสูงสุดได้ประมาณ	21.800	ม. <sup>3</sup> / วินาที	

สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำดังกล่าวแสดงในภาพที่ 1 มีลักษณะแตกต่างกันหลายลักษณะ กล่าวคือ พื้นที่ที่อยู่ตามแนวลำน้ำสงคราม และลำน้ำสาขาจะเป็นที่ราบ มีความกว้างวัดจากแนวลำน้ำประมาณ 1,000 - 3,000 เมตร บริเวณเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ถูกน้ำท่วมทุกปี ไม่สามารถทำการเพาะปลูกพืชได้ในฤดูฝน ส่วนด้านใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำ พื้นที่เป็นเนินและภูเขาสูง พื้นที่สูงเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังมีสภาพเป็นป่าและพื้นที่ต้นน้ำลำธาร ซึ่งบางส่วนเป็นพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ

ลุ่มน้ำขาม ห้วยน้ำอูนและแม่น้ำสงครามตอนบน-ล่าง เป็นลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง (ตะวันออกเฉียงเหนือ) มีรหัสลุ่มน้ำ 02 ตามข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำ และมีรายละเอียดสภาพภูมิประเทศของกลุ่มน้ำขาม ห้วยน้ำอูนและแม่น้ำสงครามตอนบน-ล่าง ดังนี้

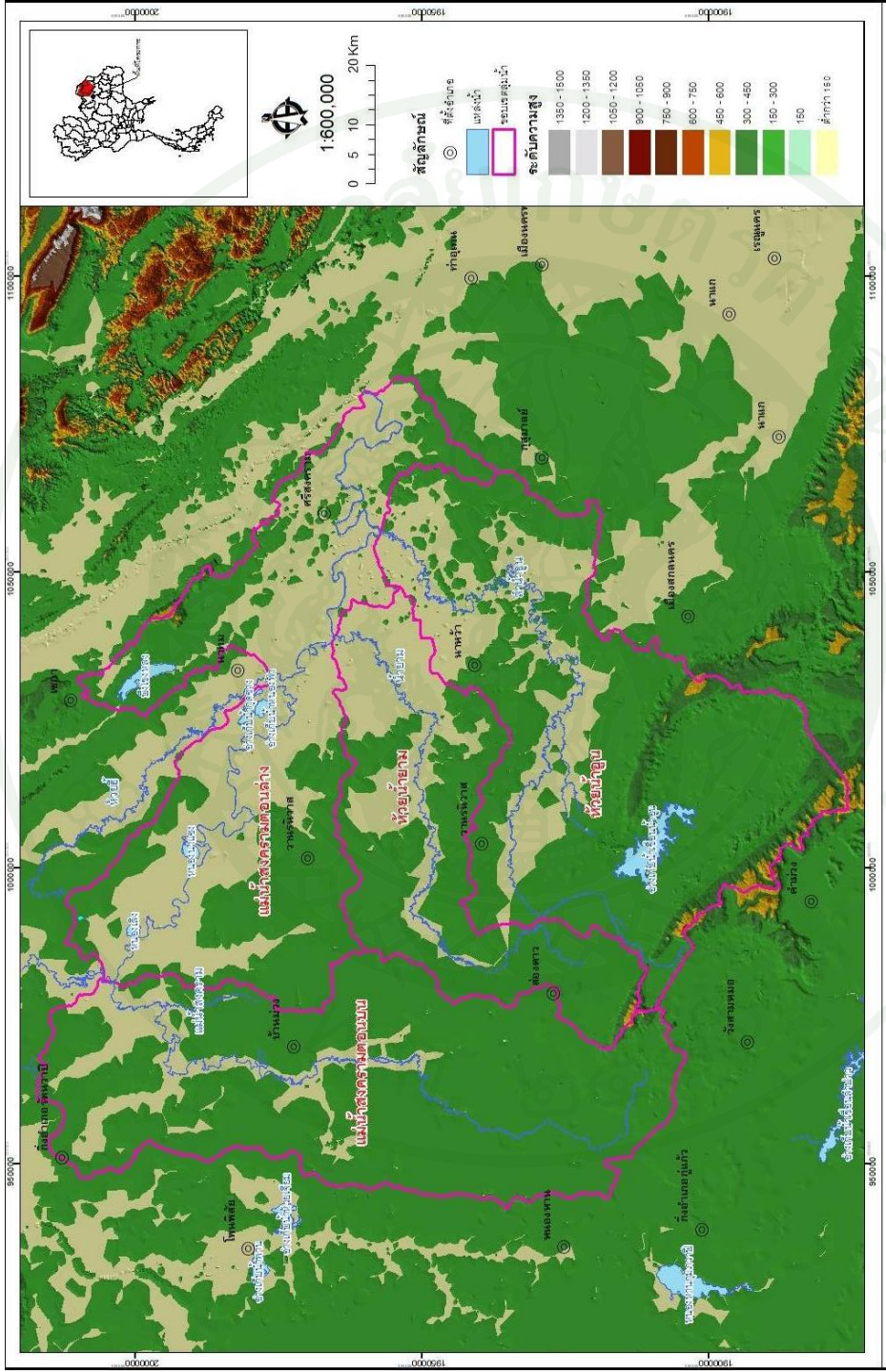
1. ลุ่มน้ำสาขาห้วยน้ำขาม มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 1,743 ตร.กม.หรือประมาณ 1,089,375 ไร่ อยู่ในพื้นที่อำเภอศรีสงคราม อำเภอนาหว้า จังหวัดนครพนม อำเภออากาศอำนวย อำเภอดงเจริญ อำเภอดงหลวง อำเภอศรีสงคราม อำเภอเมืองสกลนคร อำเภอวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร ขอบเขตลุ่มน้ำทางทิศเหนือของพื้นที่อยู่บนแนวสันปันน้ำระหว่างลำน้ำสาขาของห้วยน้ำขามกับลำน้ำสาขาของแม่น้ำสงคราม และจุดบรรจบของห้วยน้ำขามกับแม่น้ำสงคราม ทิศตะวันออกอยู่บนแนวสันปันน้ำของห้วยน้ำขามกับห้วยน้ำอูน ทิศตะวันตกอยู่บนแนวสันปันน้ำของห้วยน้ำขามกับลำน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม ทางทิศใต้อยู่บนแนวสันปันน้ำภูผาเหล็กและภูผาทอง ซึ่งเป็นแนวสันปันน้ำระหว่างลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงครามตอนบน ลุ่มน้ำสาขาห้วยน้ำอูน และลุ่มน้ำสาขาห้วยน้ำขาม สภาพทั่วไปของพื้นที่เป็นที่ราบสลับที่ดอนระดับความสูงประมาณ 150 - 170 ม.รทก. ทางทิศตะวันออกของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่ม ระดับความสูงประมาณ 150 ม.รทก. พื้นที่ราบลุ่มส่วนใหญ่อยู่ตามแนวสองฝั่งของลำห้วยน้ำขาม ในรัศมีประมาณ 3 กิโลเมตร

2. ลุ่มน้ำสาขาห้วยน้ำอูน มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 3,536.00 ตร.กม. หรือประมาณ 2,210,000 ไร่ อยู่ในพื้นที่อำเภอภูพาน อำเภอกุดบาก อำเภอนิคมน้ำอูน อำเภอวาริชภูมิ อำเภอพังโคน อำเภอสว่างแดนดิน อำเภอดงเจริญ อำเภอศรีสงคราม อำเภอเมืองสกลนคร อำเภอวาริชภูมิ อำเภออากาศอำนวย จังหวัดสกลนคร อำเภอนาหว้า อำเภอโพนสวรรค์ อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม ขอบเขตพื้นที่ทางทิศเหนืออยู่บนแนวสันปันน้ำ ห้วยน้ำอูนกับห้วยน้ำขาม และจุดบรรจบของห้วยน้ำอูนกับแม่น้ำสงคราม ทางทิศตะวันออกอยู่บนแนวสันปันน้ำของห้วยน้ำอูนกับลำน้ำสาขาที่ไหลลงหนองหาน และห้วยน้ำอูนกับห้วยน้ำพุ ทิศตะวันตกอยู่บนแนวสันปันน้ำภูผาทอง

ซึ่งเป็นแนวสันแบ่งลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงครามตอนบน ลุ่มน้ำสาขาห้วยน้ำยามและลุ่มน้ำสาขาห้วยน้ำออน ทิศใต้อยู่บนแนวสันปันน้ำตามแนวเขาภูก่อ ภูนางงอย ภูเจียว สภาพพื้นที่มีภูเขาตอนกลางของพื้นที่ ลุ่มน้ำลาดลงมายังบริเวณเขื่อนน้ำออน พื้นที่ราบผืนใหญ่จะอยู่ทางด้านท้ายน้ำของเขื่อนน้ำออนและ บริเวณตอนบนของพื้นที่ พื้นที่ราบจากแนวห้วยน้ำออนมีรัศมีประมาณ 5 กิโลเมตร ระดับความสูง โดยทั่วไปของพื้นที่ประมาณ 150 - 170 ม.รทก.

3. ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงครามตอนบน มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 3,289 ตร.กม. หรือ ประมาณ 2,055,625 ไร่ อยู่ในพื้นที่อำเภอโซ่พิสัย อำเภอโพธิ์ชัย จังหวัดหนองคาย อำเภอบ้านม่วง อำเภอเจริญศิลป์ อำเภอสว่างแดนดิน อำเภอส่องดาว จังหวัดสกลนคร อำเภอบ้านดุง อำเภอทุ่งฝน อำเภอหนองหาน อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี ขอบเขตลุ่มน้ำทางตอนเหนืออยู่บนแนวสันปันน้ำ ระหว่างแม่น้ำสงครามกับห้วยอี และห้วยคอง ด้านทิศตะวันออกจะแบ่งแม่น้ำสงครามเป็นลุ่มน้ำ สาขาแม่น้ำสงครามตอนล่าง ที่จุดบรรจบห้วยคองกับแม่น้ำสงคราม ด้านทิศตะวันตกอยู่บนแนวสัน ปันน้ำห้วยหลวงกับแม่น้ำสงคราม ส่วนทางทิศใต้จรดเขาภูพานบนแนวสันปันน้ำ พื้นที่โดยทั่วไป บริเวณที่เป็นที่ราบถึงลาดชัน 1 - 2% จะอยู่ตามแนวลำน้ำโดยมีความกว้างวัดจากแนวลำน้ำประมาณ 1 - 3 กิโลเมตร พื้นที่ราบบางส่วนถูกน้ำท่วมทุกปีในฤดูฝน ถัดจากที่ราบริมฝั่งขึ้นมาเป็นเนินลูก คลื่นความลาดชันประมาณ 3 - 5% พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทุ่งหญ้าหรือป่าไม้พุ่มเตี้ย และมีภูเขาสูง ทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นป่าต้นน้ำ

4. ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงครามตอนล่าง มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 3,138 ตร.กม. หรือ ประมาณ 1,961,250 ไร่ อยู่ในพื้นที่อำเภอพรเจริญ อำเภอเซกา จังหวัดหนองคาย อำเภอคำตากล้า อำเภออากาศอำนวย อำเภอวานรนิวาส อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร อำเภอนาทม อำเภอบ้าน แพง อำเภอศรีสงคราม อำเภอโพนสวรรค์ อำเภอท่าอุเทน อำเภอนาหว้า จังหวัดนครพนม ขอบเขต พื้นที่ลุ่มน้ำ ทิศเหนือจรดลำห้วยในลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำโขงส่วนที่ 7 ทิศตะวันออกจรดแม่น้ำโขง ทิศตะวันตกอยู่ในแนวบรรจบของห้วยคองกับแม่น้ำสงคราม ส่วนทางทิศใต้อยู่แนวบรรจบห้วยน้ำ ออนกับแม่น้ำสงคราม พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบถึงลาดชัน 1 - 2% จะอยู่ตามแนวลำน้ำในรัศมี 1 - 3 กิโลเมตร และมีระดับความสูงประมาณ 140 - 160 ม.รทก. ถัดมาเป็นเนินลอนลูกคลื่นลาดชัน ประมาณ 3 - 5% พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทุ่งหญ้าหรือป่าไม้พุ่มเตี้ยสลับกับพืชไร่ มีระดับความสูง 160 - 180 ม.รทก.



ภาพที่ 1 สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม

## 1.2 สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

### ลักษณะอุตุ-อุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามสรุปได้ดังนี้

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลต่าง ๆ โดยฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ฤดูหนาวเริ่มจากเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนเมษายน และฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม

สำหรับการวิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำข้างเคียงจำนวน 4 สถานี คือ สถานีตรวจอากาศนครพนม สถานีตรวจอากาศสกลนคร สถานีตรวจอากาศหนองคาย และสถานีตรวจอากาศอุดรธานี โดยทำการสรุปตัวแปรสภาพภูมิอากาศที่สำคัญในช่วงปีพ.ศ. 2545 ถึง 2554 สามารถสรุปค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม

ตัวแปรภูมิอากาศ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี	องศาเซลเซียส	22.22 - 29.24	26.49
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี	เปอร์เซ็นต์	64 - 84	72.53
ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี	น็อต	1.45 - 2.45	1.98
เมฆปกคลุมเฉลี่ยรายปี	0-10	2.04 - 7.96	4.69
ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำเฉลี่ยรายปี	มิลลิเมตร	105.56 - 161.22	1,500.02
ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง	มิลลิเมตร	115.56 - 187.20	1,762.78

สภาพปริมาณน้ำฝนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม (รายงานการศึกษาด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา โครงการศึกษาวางระบบและติดตั้งระบบโทรมาตรเพื่อพยากรณ์น้ำและเตือนภัยลุ่มน้ำยาม ห้วยน้ำอูน และแม่น้ำสงครามตอนบน-ล่างจังหวัดสกลนคร, กรมชลประทาน, 2554) ซึ่งพอสรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้

ได้ทำการศึกษาปริมาณฝนกระจายตามพื้นที่ โดยคัดเลือกสถานีวัดปริมาณฝนที่ตั้งอยู่ภายในลุ่มน้ำ จำนวน 29 สถานี และในลุ่มน้ำข้างเคียงจำนวน 9 สถานี ได้ค่าปริมาณฝนรายปีช่วงปี พ.ศ. 2495 - 2552 มีปริมาณฝนมากที่สุด 2,984.13 มิลลิเมตร ค่าปริมาณฝนเฉลี่ยสูงสุด 368.6 มิลลิเมตร ในเดือนสิงหาคม และต่ำที่สุด 2.09 มิลลิเมตร ในเดือนธันวาคม สถานีที่มีจำนวนวันฝนตกรายปีเฉลี่ยมากที่สุด 126 วัน คือ สถานีตรวจอากาศสกกลนคร และมีค่าต่ำที่สุด 53 วัน คือ สถานีห้วยกานหลวง สำหรับในพื้นที่ลุ่มน้ำ มีจำนวนวันฝนตกรายปีเฉลี่ย 85 วัน โดยเดือนที่มีจำนวนวันฝนตกมากที่สุดคือเดือนสิงหาคม เท่ากับ 17 วัน และเดือนที่มีจำนวนวันฝนตกน้อยที่สุดคือเดือนธันวาคม และเดือนมกราคม ไม่มีวันฝนตก

สภาพปริมาณน้ำทำในพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม (กรมชลประทาน, 2554) พอสรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำทำรายปีต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝนของลุ่มน้ำยาม ลุ่มน้ำห้วยน้ำออน และลุ่มน้ำสงครามตอนบน-ล่าง อยู่ในช่วงพิสัย 10.15 - 90.31 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร

### 1.3 สภาพธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา

สภาพธรณีวิทยาส่วนใหญ่ของพื้นที่โครงการรองรับด้วยชั้นหินแข็ง (Consolidated Rocks) ที่ระดับดิน หินแข็งส่วนใหญ่เป็นหินแข็งประเภทหินชั้น ประกอบด้วย หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน และหินกรวดมนของกลุ่มหินโคราชในมหายุคมีโซโซอิก (อายุระหว่าง 65 - 240 ล้านปี) ยกเว้นขอบที่ราบสูงโคราชด้านตะวันตกตั้งแต่บริเวณจังหวัดเลยต่อเนื่องลงมาจนถึงด้านตะวันตกของจังหวัดหนองบัวลำภูและจังหวัดขอนแก่น และบริเวณขอบที่ราบสูงโคราชด้านตะวันตกเฉียงใต้บริเวณอำเภอปากช่องเป็นหินแข็งจำพวกหินปูน หินดินดาน และหินโคลนของกลุ่มหินในมหายุคพาเลโอโซอิกตอนบน (อายุระหว่าง 230 - 360 ล้านปี) ชั้นหินยุคเก่าในบริเวณจังหวัดเลย และอำเภอปากช่องเป็นชั้นหินที่แผ่กระจายต่อเนื่องจากเทือกเขาเพชรบูรณ์และเทือกเขาแดงพระยาเข็นตามลำดับ ส่วนบริเวณกลางแอ่งของลุ่มน้ำสายสำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะปกคลุมด้วยหินทรายและหินดินดานที่มีอายุอ่อนกว่ากลุ่มหินโคราชเป็นหินในมหายุคซีโนโซอิก (อายุตั้งแต่ปัจจุบันจนถึง 40 ล้านปี) นอกจากนี้ขอบภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้านทิศใต้บริเวณพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดสุรินทร์พบชั้นหินภูเขาไฟกระจายตัวเป็นหย่อมๆ หินดังกล่าวเป็นหินบะซอลท์ (Basalt) ในยุคควอเทอร์นารีถึงยุคเทอร์เทียรี

อุทกธรณีวิทยาของกลุ่มน้ำยาม ห้วยน้ำออน และแม่น้ำสงครามตอนบน-ล่าง ครอบคลุมพื้นที่ 6 จังหวัด คือ จังหวัดหนองคาย จังหวัดอุดรธานี จังหวัดนครพนม จังหวัดสกลนคร จังหวัดบึงกาฬ และจังหวัดกาฬสินธุ์ ชั้นหินให้น้ำที่สำคัญ ได้แก่ ชั้นหินให้น้ำหินชุดมหาสารคาม ชั้นหินให้น้ำหินชุดโลกกรวด ชั้นหินให้น้ำหินชุดพระวิหาร ชั้นหินให้น้ำหินชุดเสาข้าว และชั้นหินให้น้ำหินชุดภูกระดึง ทั้งนี้พื้นที่ส่วนใหญ่รองรับด้วยหินตะกอน จากข้อมูลการเจาะบ่อน้ำบาดาลพบว่า ประมาณร้อยละ 90 ของบ่อน้ำบาดาลได้น้ำจากชั้นหินแข็ง ที่เหลือร้อยละ 10 ได้น้ำจากชั้นกรวดทราย แหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง ได้แก่ น้ำบาดาลที่กักเก็บตามรอยแตกของหินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน ของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงไทรแอสซิก (Triassic) ถึงครีเทเชียส (Cretaceous) และกลุ่มหินที่วางตัวเหนือกลุ่มหินโคราช ซึ่งประกอบด้วย หมวดหินมหาสารคามและหมวดหินภูทอก ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคครีเทเชียสถึงเทอร์เชียรี (Tertiary) สำหรับแหล่งหินร่วนมักพบเป็นแนวแคบ ๆ วางตัวยาวขนานตามลำน้ำสำคัญๆ เท่านั้น

#### 1.4 สภาพแหล่งน้ำบาดาล

ผลจากการเจาะบ่อน้ำบาดาลของหน่วยงานต่าง ๆ และข้อมูลจากแผนที่อุทกธรณีวิทยาในกลุ่มน้ำยาม ห้วยน้ำออนและแม่น้ำสงครามตอนบน-ล่าง สามารถประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ได้ โดยได้ทำการพิจารณาอัตราการสูบน้ำแยกตามประเภทของบ่อน้ำบาดาล โดยแบ่งเป็นบ่อน้ำบาดาลส่วนตัวและบ่อน้ำบาดาลสาธารณะ ข้อมูลที่ใช้ประเมินอ้างอิงจากฐานข้อมูล กชช. 2 ค. พ.ศ. 2546 ดังนี้

บ่อน้ำบาดาลส่วนตัว หมายถึง บ่อน้ำบาดาลขนาด 2 หรือ 4 นิ้ว ที่ราษฎรว่าจ้างเอกชนเจาะใช้ภายในครัวเรือน ในอดีตติดตั้งสูบน้ำมือโยก ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นเครื่องสูบบั๊มซัค (Suction Pump) ซึ่งจะทำงานได้ดีถ้าระดับน้ำลึกไม่เกิน 7 เมตร สูบน้ำใช้ในครัวเรือนในอัตราการ 1 - 3 ลบ.ม.ต่อวัน

บ่อน้ำบาดาลสาธารณะ หมายถึง บ่อน้ำบาดาลที่ทางราชการเจาะให้ราษฎร ใช้ภายในหมู่บ้านหรือเจาะโดยวิธีจ้างเหมา ขนาดบ่อ 4 หรือ 6 นิ้ว จำนวน 2 - 4 บ่อต่อหมู่บ้าน ในอดีตติดตั้งสูบน้ำมือโยก ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า และบางแห่งจัดทำเป็นระบบประปาหมู่บ้าน หมู่บ้านละ 1 - 2 แห่ง หรือประมาณร้อยละ 70 ของบ่อทั้งหมด มีอัตราการสูบน้ำอยู่ที่ 3 - 5 ลบ.ม./ชั่วโมง หรือประมาณ 20 - 30 ลบ.ม.ต่อวัน

## 1.5 คุณภาพน้ำ

จากผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำผิวดินของกรมควบคุมมลพิษในลำน้ำสายหลัก ได้แก่ แม่น้ำสงคราม และแม่น้ำอูน เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) สามารถสรุปประเมินประเภทคุณภาพน้ำผิวดินของแหล่งน้ำเหล่านี้ได้ดังนี้

1) แม่น้ำสงคราม (ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงครามตอนล่าง) โดยรวมแล้วยังมีคุณภาพดี และไม่มีเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา คือ มีคุณภาพไม่เกินประเภทที่ 3 สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงตามปกติก่อน รวมทั้งเพื่อการอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำ กีฬาทางน้ำ และเพื่อการเกษตร

2) แม่น้ำอูน (ลุ่มน้ำสาขาห้วยน้ำอูน) คุณภาพน้ำในน้ำอูนยังจัดว่าค่อนข้างดี และในฤดูฝนจะมีคุณภาพดีกว่าในฤดูแล้งเล็กน้อย คุณภาพน้ำระหว่างปีมีแนวโน้มดีขึ้น สรุปอยู่ในมาตรฐานค่อนข้างไปทางประเภท 2 สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงตามปกติก่อน รวมทั้งเพื่อการอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำ กีฬาทางน้ำ และเพื่อการเกษตร

## 1.6 ทรัพยากรดิน

จากการศึกษาทบทวนข้อมูลของ กรมพัฒนาที่ดิน (พ.ศ. 2548) ในรายงานลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าพื้นที่โครงการ ปกคลุมด้วยกลุ่มชุดดินจำนวน 34 กลุ่ม โดยจำแนกเป็นกลุ่มดินนา 18 กลุ่ม (กลุ่มชุดดินที่ 2 3 4 5 6 7 9 11 13 16 17 18 20 21 22 24 25 และ 59) และกลุ่มดินดอน 16 กลุ่ม (กลุ่มชุดดินที่ 31 33 35 36 38 40 41 44 47 48 49 55 61 56 61 และ 62)

ทั้งนี้ดินที่พบบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพาพบอยู่เป็นบริเวณแคบ ๆ ระหว่างแม่น้ำโขง มีความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแข็งจนถึงดินเหนียว สำหรับบริเวณที่ราบระหว่างที่ราบตะกอนน้ำพา กับพื้นผิวของการกลี้งผิวแผ่นดินหรือพื้นที่เกือบราบ (Denudation Surface or Peneplain) ลักษณะดินที่พบส่วนใหญ่มีเนื้อดินค่อนข้างเป็น



ทราย เป็นดินลึกลับที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินค่อนข้างเป็นกรด และพบชั้นดินที่มีความไม่ต่อเนื่องทางธรณี (Lithologic Discontinuity) ตั้งแต่ 50 เซนติเมตรจากผิวดินลงไป ทำให้พบชั้นกรวดลูกรังในบางพื้นที่ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ บางบริเวณมีปูนในดินล่างซึ่งมีฟอสฟอรัสและจุลธาตุบางอย่างอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยในบริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการทำนา ซึ่งเป็นนาดอนและบางส่วนใช้ในการปลูกพืชไร่ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด เป็นต้น ดังนั้นช่วงที่ฝนทิ้งช่วงพืชจะขาดน้ำได้ง่าย

บริเวณที่เป็นภูเขาส่วนใหญ่จะเป็นภูเขาที่เกิดจากหินทรายซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ยกเว้นบริเวณด้านทิศใต้ มีภูเขาที่เกิดจากหินบะซอลต์แทรกอยู่ สำหรับด้านทิศตะวันตกจะพบหินอัคนี หินปูน หินดินดาน และหินฟิลาไลต์อยู่ตามแนวขอบของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ความเหมาะสมของทรัพยากรดินในพื้นที่ ส่วนใหญ่มีลักษณะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปลูกพืชมากนัก เนื่องจากมีองค์ประกอบและสมบัติที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชน้อย มีเพียงดินที่พบในบริเวณที่ราบลุ่มที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ปลูกข้าว พืชไร่ ไม้ผล ไม้ยืนต้น และพืชผัก

### 1.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม จากข้อมูลการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2549 พบว่า ร้อยละ 64.92 เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ประกอบด้วย ข้าว พืชไร่ ไม้ผล ไม้ยืนต้น ปศุสัตว์ และพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนใหญ่เป็นนาข้าว ส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่อยู่อาศัย (ร้อยละ 3.81) ป่าไม้ (ร้อยละ 21.58) แหล่งน้ำ (ร้อยละ 4.15) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ที่รกร้างและที่ลุ่มชื้นแฉะ (ร้อยละ 5.53) สรุปรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2

## ตารางที่ 2 แสดงการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม

ลำดับที่	ประเภท	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
1	เกษตรกรรม	7,595.97	64.92
2	ป่าไม้	2,525.49	21.58
3	เบ็ดเตล็ด	647.43	5.53
4	ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	446.33	3.82
5	แหล่งน้ำ	485.71	4.15
รวม		11,700.92	100.00

### 1.8 การคมนาคม

การคมนาคมขนส่งใช้เส้นทางรถยนต์เป็นหลัก โดยมีระบบโครงข่ายถนนภายในพื้นที่โครงการเชื่อมต่อกับจังหวัดใกล้เคียงได้อย่างสะดวก ทางหลวงแผ่นดินสายหลัก ได้แก่ ทางหลวงหมายเลข 2 และ 22 และหมายเลข 222 ทางหลวงหมายเลข 2281 2280 2281 2307 2094 เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโครงข่ายถนนท้องถิ่นเชื่อมติดต่อระหว่างหมู่บ้านต่าง ๆ กระจายทั่วไปอยู่ในพื้นที่

การคมนาคมทางรถไฟ จากกรุงเทพฯ ไปหนองคาย โดยไปแยกที่นครราชสีมาเพื่อไปขอนแก่น อุดรธานี หนองคาย สำหรับการคมนาคมทางอากาศมีสนามบินอยู่หลายแห่ง เช่น ขอนแก่น อุดรธานี นครพนม และสกลนคร

### 1.9 การเกษตรและการเลี้ยงสัตว์

การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรมีพื้นที่ร้อยละ 64.92 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ แบ่งเป็นเขตชลประทาน 12.58% และนอกเขตชลประทาน 87.42% ซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่การเกษตรเป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ปลูกพืชไร่ พื้นที่ปลูกไม้ยืน พื้นที่ปลูกไม้ พื้นที่ปลูกพืชผัก พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และพื้นที่ปศุสัตว์ พืชเศรษฐกิจหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่ได้จากการทบทวนเอกสารจากสำนักงานเกษตรจังหวัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง มีข้าว (ทั้งข้าวเหนียว และข้าวเจ้า) มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อย ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วเขียว พืชผักต่าง ๆ และไม้ผลไม้ยืนต้น ไม้ผลไม้ยืนต้นที่สำคัญมี มะม่วง มะขาม ยูคาลิปตัส สุน กระถินณรงค์ และหม่อน พืชผักที่สำคัญมีผักต่างๆ ได้แก่

คะน้ำ กวางตุ้ง พริก มะเขือเทศกินผล และมะเขือเทศโรงงาน ส่วนใหญ่ปลูกในที่ลุ่มในฤดูแล้ง หลังเก็บเกี่ยวข้าวเสร็จแล้ว ส่วนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ดอนในฤดูฝน และมีปลูกบ้างในพื้นที่นาข้าวในฤดูแล้ง

พื้นที่เกษตรชลประทาน: ปัจจุบันพื้นที่การเกษตรที่ได้รับการพัฒนาเป็นระบบชลประทานในฤดูฝนยังคงปลูกข้าวเป็นพืชหลัก ส่วนในฤดูแล้งพบว่าการปลูกข้าวนาปรัง พืชไร่ พืชผัก ไม้ผล และบ่อเลี้ยงปลา เป็นต้น ในพื้นที่ชลประทานดังกล่าว เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ย ยาปราบศัตรูพืช ยาฆ่าแมลงอยู่ในระดับที่ต่ำ สาเหตุสำคัญเพราะสารเคมีดังกล่าวมีราคาแพง เมื่อเทียบกับราคาที่เกษตรกรขายได้ ถึงแม้ว่าทางภาครัฐจะได้พยายามหาทางสนับสนุนด้านราคา แต่ก็ทำได้ในขอบเขตจำกัด อย่างไรก็ตามผลผลิตในเขตเกษตรชลประทานจะสูงกว่าพื้นที่เกษตรน้ำฝนหรือพื้นที่เกษตรล้าหลัง เนื่องจากพื้นที่เกษตรชลประทาน เกษตรกรจะได้รับน้ำใช้เพื่อการเพาะปลูกตามปริมาณและเวลาที่ต้องการมากน้อยตามสภาพของโครงการ ดังนั้น เกษตรกรจึงไม่ต้องเสี่ยงต่อความเสียหายเนื่องจากภัยธรรมชาติ ได้แก่ การขาดแคลนน้ำในช่วงฝนทิ้งช่วงหรือน้ำท่วม ทำให้สามารถพัฒนาพื้นที่เพื่อให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

พื้นที่เกษตรน้ำฝน : พื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำจะเป็นพื้นที่เกษตรน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ชนบท ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ประสิทธิภาพการผลิตโดยทั่วไปต่ำ เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกพืชได้เพียงครั้งเดียว โดยเฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น เนื่องจากขาดแคลนน้ำและเสี่ยงต่อภัยธรรมชาติมาก วิธีการทำการเกษตรยังล้าสมัย มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการปลูกพืชไม่มากนัก เกษตรกรโดยทั่วไปมีฐานะต่ำรายได้ไม่เพียงพอต่อการดำรงชีวิต พืชที่ปลูกเป็นพืชหลัก ได้แก่ ข้าว พืชไร่ ได้แก่ ถั่วลิสง มันสำปะหลัง อ้อยโรงงาน พืชผัก ได้แก่ พริก แตงโม ข้าวโพดหวาน และข้าวโพดฝักสด และไม้ผล ได้แก่ มะขาม มะม่วง และยางพารา ซึ่งจะพบว่าการปลูกในบริเวณใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติ

การเลี้ยงปศุสัตว์ เกษตรกรในพื้นที่ลุ่มโดยรวมเลี้ยงปศุสัตว์ควบคู่ไปกับการเพาะปลูกพืช แต่ความสำคัญทางเศรษฐกิจอยู่ในสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับรายได้ที่ได้จากการผลิตพืช สัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญ ๆ มี โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่ และเป็ด การเลี้ยงสัตว์มีทั้งเลี้ยงเพื่อการบริโภคภายในครัวเรือนเป็นหลัก และถ้าหากเหลือจากบริโภคจึงจำหน่ายเป็นรายได้เสริม รวมทั้งที่เลี้ยงเป็นเชิงพาณิชย์ ปริมาณการเลี้ยงปศุสัตว์แต่ละปีจะผันแปรตลอดเวลาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคาเป็นหลัก ซึ่งเป็นตัวกำหนดปริมาณในการเลี้ยง กล่าวคือ ถ้าหากราคาดีเกษตรกรจะเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้น

ในทางตรงข้าม หากราคาไม่ดีปริมาณในการเลี้ยงจะลดลงสภาพการเลี้ยงโคและกระบือโดยทั่วไปจะเลี้ยงแบบปล่อยหากินตามธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ มักไม่มีแปลงหญ้าอาหารสัตว์เป็นของตนเอง ในปัจจุบันปริมาณการเลี้ยงมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากพื้นที่มีจำกัด อีกทั้งพื้นที่แปลงหญ้าสาธารณะลดน้อยลงในขณะที่อาหารสัตว์สำเร็จรูปต่าง ๆ มีราคาแพงขึ้น โดยเฉพาะกระบือพบว่ามีการเลี้ยงลดลงมาก เนื่องจากการผสมพันธุ์ติดยาก มีการใช้เครื่องจักรเพื่อการเกษตรแทนแรงงานสัตว์มากขึ้น และสืบเนื่องเหตุผลอื่นดังกล่าวแล้ว โคนเนื้อที่เลี้ยงมีทั้งพันธุ์ลูกผสมอเมริกันบรามันท์กับพันธุ์พื้นเมือง ส่วนกระบือที่เลี้ยงส่วนใหญ่เป็นพันธุ์พื้นเมือง โคนเนื้อและกระบือที่เลี้ยงมีปัญหาโรคพยาธิ โรคปากเท้าเปื่อย และโรคคอบวม ซึ่งเป็นปัญหาในการเลี้ยงโคและกระบือ และปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นประจำ คือ ขาดแคลนหญ้าอาหารสัตว์ในฤดูแล้ง เนื่องจากมีการใช้พื้นที่เพื่อกิจกรรมอื่น ๆ และการจัดการต่าง ๆ ในการเลี้ยงไม่ดี สำหรับโคนมมีปริมาณการเลี้ยงค่อนข้างน้อยมากทั้ง ๆ ที่มีความต้องการของตลาดค่อนข้างสูง การเลี้ยงสัตว์ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำมีการเลี้ยงสัตว์กันทั่วไป ส่วนใหญ่เป็นสัตว์ที่เลี้ยงไว้ใช้แรงงาน ได้แก่ โคน และกระบือ นอกจากนั้นเป็นสัตว์ที่เลี้ยงเพื่อการบริโภคและขายเป็นรายได้ ได้แก่ สุกร เป็ด และไก่ เป็นต้น

การประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การประมงส่วนใหญ่ใช้เพื่อบริโภคภายในครัวเรือนเป็นหลัก ที่เหลือจะนำไปจำหน่ายเป็นรายได้เสริม โดยมากมักพบตามแหล่งน้ำธรรมชาติ ปลาที่จับ ได้แก่ ปลานิล ปลาใน และปลาดตะเพียน เป็นต้น

#### 1.10 สภาพการเกิดอุทกภัย

สาเหตุของน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมที่พัดมาจากอ่าวตังเกี๋ย ทำให้มีปริมาณฝนตกมากกว่าจังหวัดอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดหนองคายระดับน้ำในแม่น้ำโขงสูงในฤดูฝนเอ่อล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ที่อยู่ริมแม่น้ำโขง เช่น จังหวัดหนองคาย และจังหวัดนครพนม เป็นต้น ส่วนพื้นที่ในเขตลุ่มน้ำสงครามสาเหตุของปัญหาน้ำท่วมมาจากเกิดฝนตกหนักบริเวณต้นน้ำ น้ำจะไหลลงมาอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความลาดชันของลำน้ำในช่วงต้นน้ำมีมาก ต่อจากนั้นลำน้ำสงครามมีความลาดชันน้อยประมาณ 3 - 4 ซม./กม. อีกทั้งในเวลาเดียวกันระดับน้ำในแม่น้ำโขงก็สูงจึงทำให้ไม่สามารถระบายลงสู่แม่น้ำโขงได้ รวมทั้งน้ำโขงบางส่วนยังเอ่อหนุนเข้ามาตามลำน้ำสงครามอีกด้วย ปริมาณน้ำเหล่านี้จึงเอ่อเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามเป็นบริเวณกว้างในทุกๆ ปี และจากสภาพทางกายภาพในลุ่มน้ำ เช่น พื้นที่ป่าต้นน้ำตอนบนถูกทำลาย การขาดแคลนแหล่งน้ำขนาดใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนเพื่อช่วยการชะลอน้ำหลาก ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำ

ไม่เพียงพอเนื่องจากต้นทุนเงินหรือถูกบงกช มีการก่อสร้างสิ่งกีดขวางทางน้ำ การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน เป็นต้น

สำหรับสภาพการเกิดอุทกภัยในลุ่มน้ำ แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ อุทกภัยที่เกิดในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนและลำน้ำสาขาต่างๆ ซึ่งจะเกิดจากฝนตกหนักและน้ำป่าไหลหลากจากต้นน้ำลงมาจนลำน้ำสายหลักไม่สามารถระบายน้ำได้ทัน ส่วนในลักษณะที่สอง คือ อุทกภัยในพื้นที่ราบลุ่ม มักจะเกิดน้ำท่วมขังเป็นประจำเนื่องจากปริมาณน้ำหลากเกิดขึ้นในขณะเดียวกันกับระดับน้ำในแม่น้ำโขงมีระดับสูง จึงทำให้ไม่สามารถระบายน้ำจากที่ลุ่มออกสู่มแม่น้ำโขงได้ เช่น อำเภอโซ่พิสัย อำเภอพรเจริญ อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย อำเภอนาหว้า อำเภอโพนสวรรค์ อำเภอปลาปาก จังหวัดนครพนม เป็นต้น

## 2. น้ำจากฟ้า (Precipitation)

น้ำจากฟ้า หรือ น้ำจากอากาศ หมายถึง การที่ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศได้รับความเย็น และกลั่นตัวรวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้น และน้ำหนักมากขึ้นจนไม่สามารถลอยอยู่ได้ในบรรยากาศ จึงตกลงสู่พื้นดิน น้ำจากอากาศดังกล่าวจะตกลงมาสู่พื้นดินในลักษณะต่างๆ ทั้งของเหลว เช่น ฝน ของแข็ง เช่น ลูกเห็บ และผลึก เช่น หิมะ เป็นต้น(หลักอุทกวิทยา, 2533)

การที่ไอน้ำจากอากาศตกลงมาจะต้องมีการกลั่นตัวของไอน้ำ และการที่ไอน้ำจะกลั่นตัวได้อุณหภูมิของมวลอากาศร้อนที่อุ้มไอน้ำไว้จะต้องลดต่ำลงจนถึงจุดน้ำค้าง ดังนั้น ชนิดของน้ำจากอากาศอาจจะแบ่งออกตามลักษณะการลอยตัวซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิลดลงและเกิดน้ำจากอากาศตกลงมา ได้ดังนี้

### 2.1 ฝนพายุหมุน (Cyclonic Rain)

เกิดจากการลอยตัวของมวลอากาศ เมื่อมวลอากาศเหล่านั้นเคลื่อนตัวมารวมกันในบริเวณความกดอากาศต่ำหรือไซโคลน โดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นในที่ราบ ตกเป็นบริเวณกว้าง

## 2.2 ฝนจากการพาความร้อน (Convective Rain)

เกิดจากการลอยตัวของมวลอากาศร้อนที่เบากว่าอากาศเย็นรอบ ๆ ความแตกต่างของอุณหภูมิอาจจะเกิดจากสาเหตุ เช่น การที่พื้นโลกได้รับความร้อนไม่เท่ากัน การเย็นลงไม่เท่ากันของชั้นอากาศที่อยู่ตอนบน และจากกลศาสตร์ของการยกตัว เมื่อมวลอากาศถูกบังคับให้ลอยเข้ามามวลอากาศที่เย็นกว่าหรือลอยเข้ามาหุบเขาที่กีดขวางฝนแบบนี้จะเกิดเป็นหย่อมๆและมีความเข้มของฝนแบบปรอยๆจนถึงแบบพายุฝน ลักษณะของเมฆที่เกิดจากการลอยตัวประเภทนี้จะมีฐานกว้างและมียอดเป็นลำสูงหลายยอด ก่อนฝนตกมักจะมีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง เกิดขึ้นเสมอ

## 2.3 ฝนแบบปะทะภูเขา (Orographic Rain)

เกิดจากมวลอากาศที่อุ้มน้ำพัดไปปะทะภูเขาหรือพื้นโลกที่มีความลาดชันสูงก็จะยกตัวขึ้นไปตามไหล่เขา ทำให้เกิดเมฆเป็นชั้น ๆ ทางด้านหน้าเขาที่รับลม เมื่ออุณหภูมิของมวลอากาศที่ลอยตัวสูงขึ้นไปเย็นลงถึงจุดน้ำค้างไอน้ำก็จะกลั่นตัวตกลงมาเป็นฝน โดยมากจะตกทางด้านหน้าเขามากกว่าทางด้านหลังเขาการเกิดน้ำจากอากาศในธรรมชาติ อาจเกิดจากชนิดของลักษณะการลอยตัวหนึ่งในสี่ชนิด หรือเกิดร่วมกันได้

โดยสรุปไอน้ำหรือความชื้นในอากาศ (Atmospheric Moisture) เกิดมาจากการระเหยและการคายน้ำแหล่งใหญ่ของไอน้ำ คือ ทะเล มหาสมุทรเมื่อความชื้นในอากาศเย็นลงก็จะกลั่นตัวเป็นละอองน้ำและจับกันเป็นก้อนโตขึ้นจนในที่สุดก็ตกลงสู่พื้นดินในรูปของน้ำจากอากาศเมื่อพิจารณาจากอากาศในรูปของฝนจากสถิติข้อมูลปริมาณฝนที่ได้มีการบันทึกไว้ ถือเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการศึกษาในด้านอุทกวิทยา หรือวิชาที่กล่าวถึงการเกิด การเคลื่อนที่ การหมุนเวียน และการแผ่กระจายของน้ำบนแผ่นดิน

## 3. ลุ่มน้ำ

ลุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่นั้น จะไหลออกสู่จุดออก ได้แก่ ปากแม่น้ำ หรือจุดที่สนใจ (Point of Concentration) ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่กล่าวถึงพื้นที่ลุ่มน้ำ ต้องระบุให้ชัดเจนว่าเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเหนือจุดใด เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำปิงเหนือเขื่อนภูมิพล มีพื้นที่เท่ากับ 26,386 ตารางกิโลเมตร เป็นต้น ดังนั้นพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับลำน้ำ

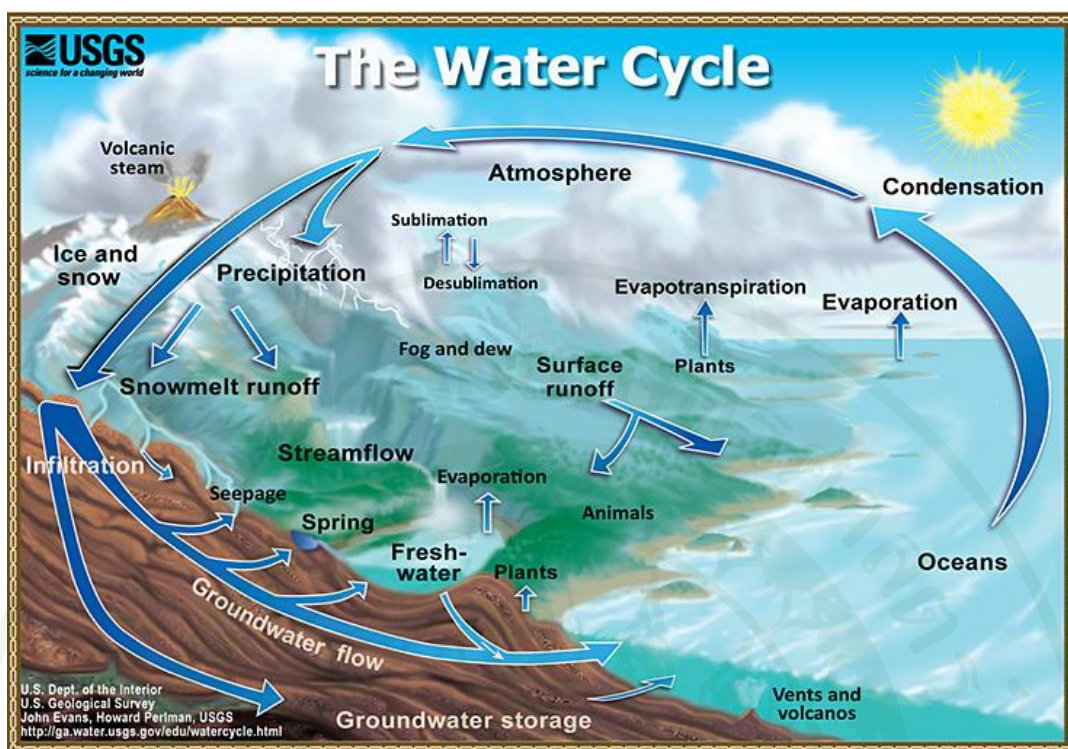
หรือแม่น้ำใดๆจะมีขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อจุดออกหรือตำแหน่งที่พิจารณาในลำน้ำเคลื่อนไปทางด้านท้ายน้ำเส้นแบ่งเขตลุ่มน้ำ เรียกว่า สันปันน้ำ เป็นเส้นที่วิ่งไปตามแนวสูงสุดของพื้นที่ ฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ที่อยู่นอกสันปันน้ำจะไหลลงไปสู่ลุ่มน้ำอื่น

#### 4. ขบวนการเกิดน้ำท่า

เมื่อฝนตกลงมาสู่ผิวโลกนั้น น้ำฝนบางส่วนที่ตกลงในป่าจะถูกพืชกักไว้บางส่วนตามใบหรือลำต้น เรียกว่า Interception ซึ่งบางส่วนจะระเหยกลับสู่บรรยากาศ บางส่วนถูกกักไว้โดยอาคารชลศาสตร์ต่างๆ และบางส่วนจะหยดต่อลงสู่พื้นดิน (อุทกวิทยาประยุกต์, 2531) ดังแสดงในภาพที่ 2

น้ำฝนส่วนที่ตกถึงพื้นดินจะเริ่มซึมลงดินด้วยแรงดึงดูดของเม็ดดินในลักษณะที่เรียกว่า การซึมสู่ผิวดินหรือการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) และจะกลายเป็นน้ำที่ไหลในดินเรียกว่า Subsurface Runoff ในกรณีที่เม็ดดินมีความชื้นเดิมน้อยมาก หรือแห้ง อัตราการซึมลงดินในลักษณะนี้จะสูงมากแต่เมื่อดินอิ่มตัวก็จะลดลงทันทีทันใดเช่นกันน้ำส่วนที่ซึมลงไปอิ่มตัวอยู่ในดินจะถูกแรงดึงดูดของโลกดูดให้ซึมลึกลงไปอีกเรียกว่า Percolation ซึ่งจะซึมต่อลงไปถึงระดับน้ำใต้ดินที่มีน้ำอิ่มตัวขังอยู่เป็นน้ำใต้ดิน เรียกว่า Groundwater น้ำใต้ดินนี้มีหลายระดับชั้นจะค่อยๆ ไหลตามความลาดเทของชั้นดิน ไปสู่ที่ต่ำอาจเป็นแหล่งขังน้ำใต้ดินอยู่หรืออาจไหลออกสู่แม่น้ำลำธารที่อยู่ต่ำกว่าหรือออกสู่ทะเลโดยตรงก็มี แต่หากบางส่วนที่ซึมลงดินไปแล้วเกิดมีชั้นดินแน่นที่บว้างอยู่ น้ำส่วนนี้จะไหลไปตามความลาดเทใต้ผิวดินและขนานไปกับชั้นดินแน่นที่บดบังกล่าว เรียกว่า Interflow ซึ่งจะไหลออกสู่ผิวดินอีก เป็นลักษณะของน้ำซบค่อยไหลซึมออกไป น้ำที่ซึมลงดินตามชั้นตอนต่างๆนั้นอาจถูกรากพืชดูดเอาไปใช้ แล้วคายออกทางใบเรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration) ซึ่งจะเป็นจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

น้ำฝนส่วนที่เหลือจากการซึมลงดินเมื่ออัตราฝนตกมีค่าสูงกว่าอัตราการซึมลงดิน ก็จะเกิดขึ้นนองอยู่ตามพื้นดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำกว่า เรียกว่า Overland Flow บางส่วนอาจไปรวมตัวอยู่ในที่ลุ่มบริเวณเล็กๆเรียกว่า Surface Storage แต่ส่วนใหญ่จะรวมตัวกันมีปริมาณมากขึ้นมีแรงเซาะดินให้เป็นร่องน้ำ ลำธาร และแม่น้ำ ตามลำดับ น้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำลำธารเรียกว่า น้ำท่า (Surface Runoff) ตลอดเวลาที่น้ำอยู่ในชั้นตอนต่างๆ เหล่านี้จะเกิดการระเหยเรียกว่า Evaporation คือ น้ำเปลี่ยนสภาพเป็นไอน้ำขึ้นไปสู่บรรยากาศตลอดเวลา



ภาพที่ 2 วัฏจักรของน้ำ

ที่มา: Evans (n.d.)

การไหลของน้ำท่าในลำน้ำ แบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

4.1 การไหลของน้ำบนผิวดิน (Surface Runoff หรือ Overland Flow)

เกิดขึ้นเมื่ออัตราการตกของฝนมากกว่าอัตราการซึมลงดิน การไหลของน้ำท่าจะไหลบนผิวของพื้นที่ลุ่มน้ำลงไปสู่ที่ต่ำกว่าด้วยทางน้ำเล็ก ๆ จนในที่สุดจะไหลออกสู่ลำน้ำเป็นน้ำในลำน้ำ หลังจากหักการสูญเสียเริ่มแรกออก ซึ่งได้แก่ การซึมลงดินและการเก็บกักที่ผิวดิน การไหลของน้ำท่าบนผิวดิน จะมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่าในลำน้ำโดยตรง และผันแปรไปตลอดช่วงที่มีฝนตกจนกระทั่งฝนหยุดตก หรือหลังจากฝนหยุดตกเล็กน้อย



#### 4.2 การไหลของน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface Runoff หรือ Interflow)

เกิดขึ้นเมื่อน้ำฝนซึมลงดินไปแล้ว เกิดมีชั้นดินแน่นที่บางอยู่ น้ำส่วนนี้ก็จะไหลไปตามความลาดเทใต้ผิวดินและขนานไปกับชั้นดินแน่นที่บาง น้ำจะมีการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ และมักเป็นการเคลื่อนที่แบบด้านข้าง เป็นลักษณะของน้ำซึบค่อยไหลซึมออกสู่ลำน้ำจะเกิดในระหว่างพายุฝนหรือหลังจากเกิดพายุฝน

#### 4.3 การไหลของน้ำใต้ดิน (Base Flow)

เกิดขึ้นเมื่อน้ำฝนซึมลงดินไปถึงชั้นดินตอนล่างตามแนวตั้ง และไหลลงสู่แหล่งเก็บกักน้ำใต้ดิน (Groundwater) ซึ่งไหลไปตามความลาดเทของชั้นดินไปสู่ที่ต่ำกว่าหรือออกสู่ทะเลโดยตรงก็มี เป็นน้ำที่ค่อยๆ หล่อเลี้ยงลำน้ำให้มีน้ำตลอดปี ถ้าระดับน้ำใต้ดินอยู่ระดับเดียวกับระดับน้ำในลำน้ำแล้ว การไหลของน้ำในลำน้ำจะมีตลอดเวลา โดยธรรมชาติแล้วการให้น้ำในลำน้ำจากน้ำใต้ดินนั้น ไม่ทำให้ระดับน้ำในลำน้ำขึ้นลงอย่างรวดเร็ว เพราะมีการไหลช้ามากโดยสรุปการไหลของน้ำท่าในลำน้ำแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ Direct Runoff คือ น้ำท่าที่ไหลบนผิวดินทั้งหมดรวมกับน้ำที่ไหลใต้ผิวดินที่เคลื่อนตัวสู่ลำน้ำเร็วพอสมควร และ Base Flow คือ น้ำใต้ดิน และน้ำที่ไหลใต้ผิวดิน ซึ่งมีอัตราเร็วในการเคลื่อนตัวสู่ลำน้ำช้ากว่า

### 5. การเคลื่อนที่ของน้ำท่า (Flow Routing)

การเคลื่อนที่ของน้ำท่า (Flow Routing) เป็นวิธีการในการคำนวณหาขนาดและเวลาของกราฟน้ำท่า ณ จุดใด ๆ บนทางน้ำจากกราฟน้ำท่าที่ทราบค่า หรือที่สมมติขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งหรือหลายๆ จุดทางด้านเหนือน้ำ ในกรณีน้ำท่าหมายถึง น้ำท่วมแล้ว วิธีการดังกล่าวจะเรียกว่า การเคลื่อนที่ของน้ำหลาก (Flood Routing) ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำท่านั้นสามารถทำได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ วิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบลัมพ์ (Lumped System Routing) และวิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบดิสตริบิวท์ (Distributed System Routing) (นุชนารถ, 2545)

5.1 วิธีการเคลื่อนที่ของระบบลัมพ์ โดยแบบจำลองของระบบลัมพ์นั้น น้ำท่าจะถูกคำนวณให้เป็นฟังก์ชันของเวลาอย่างเดียว ณ จุดที่พิจารณาและวิธีการเคลื่อนที่ของน้ำท่าโดยวิธีการของระบบแบบลัมพ์นั้น โดยทั่วไปหมายถึงการเคลื่อนที่ทางอุทกวิทยา (Hydrologic Routing) โดย

แบบจำลองของระบบลัมพีมีพื้นฐานของสมการต่อเนื่องและสมการการเก็บกัก โดยสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) แสดงไว้ดังนี้

$$dS / dt = I(t) - Q(t) \quad (1)$$

ในกรณีที่กราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลเข้า  $I(t)$  เป็นตัวที่ทราบค่า แต่ยังไม่สามารถแก้สมการต่อเนื่องเพื่อคำนวณหากราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลออก  $Q(t)$  ได้โดยตรงเนื่องจากทั้ง  $Q(t)$  และ  $S(t)$  เป็นตัวที่ไม่ทราบค่า ดังนั้นจึงต้องใช้สมการต่อเนื่องร่วมกับฟังก์ชันปริมาณการเก็บกัก (Storage Function) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง  $S$ ,  $I$  และ  $Q$  ดังสมการ

$$S = f(I, dI/dt, d^2I/dt^2, \dots, Q, dQ/dt, d^2Q/dt^2, \dots) \quad (2)$$

5.2 วิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบสตรีมิวท์ โดยแบบจำลองของระบบแบบสตรีมิวท์นั้น น้ำท่าจะถูกคำนวณให้เป็นฟังก์ชันของเวลา (Time) และสถานที่ (Space) ซึ่งวิธีการเคลื่อนที่ของน้ำท่าโดยวิธีการของระบบแบบสตรีมิวท์นั้น หมายถึงการเคลื่อนที่ทางชลศาสตร์ (Hydraulic Routing) โดยแบบจำลองของระบบแบบสตรีมิวท์มีพื้นฐานของสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม หรือที่เรียกว่าสมการ Saint Venant ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4) ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial y}{\partial x} - S_o + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (4)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) กำหนดให้  $A$  และ  $Q$  เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables) และ  $t$  เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables)

โดยที่  $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดขวางที่เปียกน้ำ (Wetted Cross -Area)

$Q$  คือ อัตราการไหล  $x$  คือระยะทางในแนวระนาบซึ่งมีค่าเป็นบวกไปทางท้ายน้ำ

$t$  คือ เวลา

$S_o$  และ  $S_f$  คือ ความลาดชันของพื่นคลอง และของ Energy Gradient ตามลำดับ

$S_e$  คือ Eddy Loss Slope  $K_e$  คือสัมประสิทธิ์ของการขยายขนาด (Expansion) หรือการลดขนาด (Contraction) ของทางน้ำ

$y$  คือ ความลึกของการไหล

$g$  คือ ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง (Gravitational Acceleration)

$q$  คือ อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow Rate)

$v_x$  คือ ความเร็วในแนวแกน  $x$

$\beta$  คือสัมประสิทธิ์การกระจายความเร็วโบสสิเนส (Boussinesq Velocity Distribution Coefficient)

$W_f$  คือ แฟกเตอร์ของแรงเฉือนเนื่องจากลม (Wind Shear Factor)

$B$  คือ ความกว้างส่วนบน (Top Width) ของทางน้ำ (นุชนารถ, 2545)

## 6. แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำสงคราม

แบบจำลอง MIKE11

ชุดของแบบจำลอง MIKE 11 ในการพยากรณ์น้ำท่วมของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยน้ำยาม ห้วยน้ำอูน และแม่น้ำสงคราม โดยจะแสดงผลการพยากรณ์น้ำท่วมในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ซึ่งประกอบด้วย Module ต่างๆดังนี้

- MIKE11-RR Rainfall-Runoff Module ใช้แปลงข้อมูลน้ำฝนเป็นน้ำท่าหรือคำนวณการไหลของน้ำผิวดิน

- MIKE11-HD Hydrodynamic Module ใช้คำนวณการไหลของน้ำในลำน้ำ และทุ่งน้ำท่วม

- MIKE11-DA Flood Forecasting Module ใช้พยากรณ์น้ำท่วมโดยมีขั้นตอนปรับค่าให้ทันสมัยด้วยข้อมูลตรวจวัดปัจจุบัน (Update Process)

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) และ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module) สามารถที่จะเพิ่มเติมและปรับแก้ให้สอดคล้องกับสภาพกายภาพที่เปลี่ยนแปลง เช่น การก่อสร้างสถานีสูบน้ำ การลดหรือเพิ่มพื้นที่ของบึงรับน้ำ การก่อสร้างคันกั้นน้ำ

โดยไม่ต้องมีการปรับแก้การสอบเทียบที่ทำไว้แต่เดิมมากนัก เป็นแบบจำลองที่ได้รับการปรับเทียบ และตรวจพิสูจน์ให้ครอบคลุมสภาพน้ำท่วมในอดีตที่มีลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาที่ ต่างๆหลายสภาวะ ได้แก่

- สภาพระน้ำท่วมมากจนถึงน้อย
- ช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี ตลอดจนสภาพแวดล้อมและเงื่อนไขที่แตกต่างกันของระดับน้ำ ในแม่น้ำสงคราม ห้วยน้ำยาม และห้วยน้ำอูน
- ความเข้มของฝน ปริมาณ และช่วงเวลารวมทั้งทิศทางการเคลื่อนที่ของฝนและพายุ
- การบริหารจัดการน้ำที่แตกต่างกัน

สำหรับรายละเอียดในแต่ละส่วนของแบบจำลอง MIKE11 ประกอบด้วย

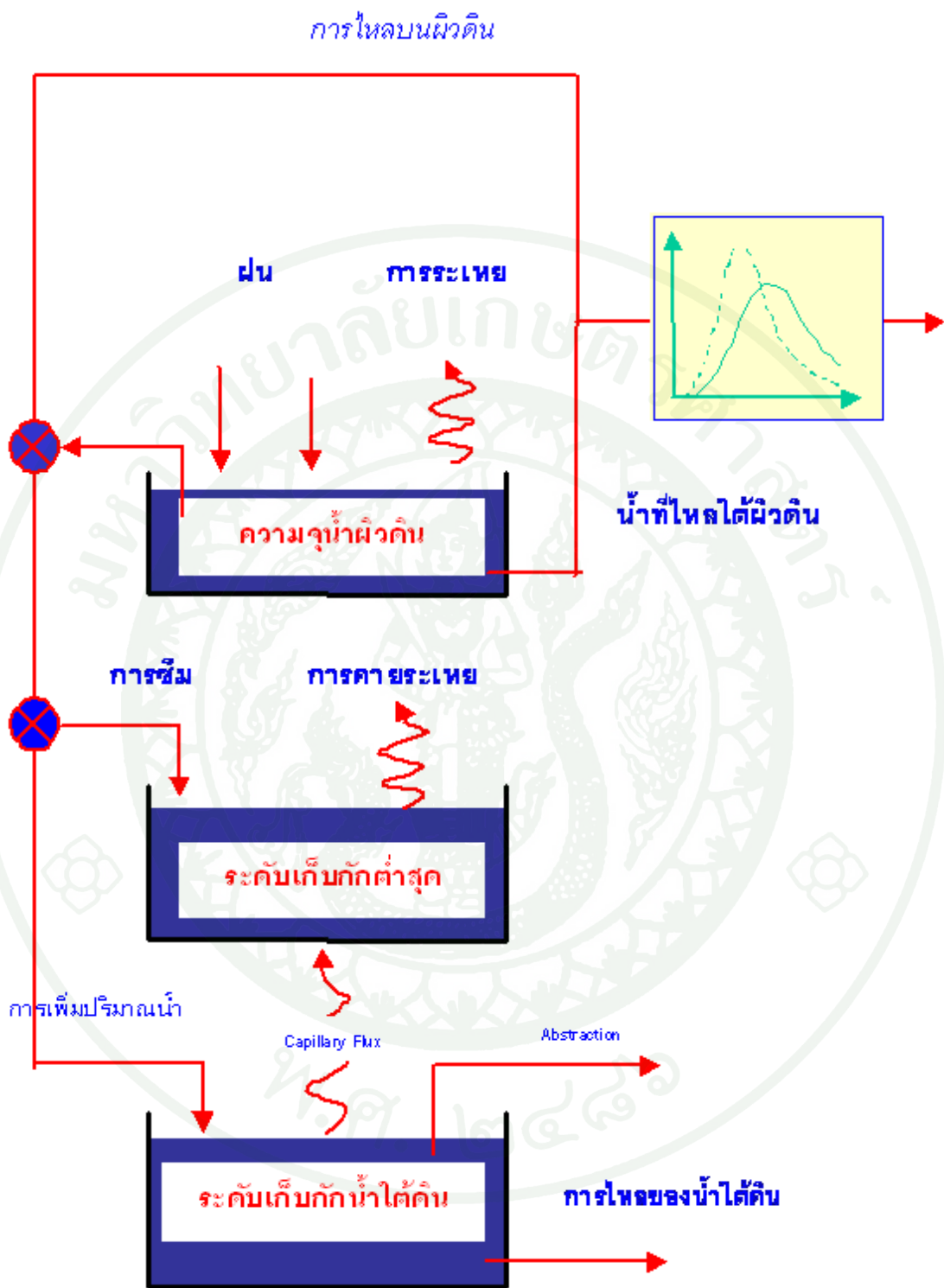
6.1 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า MIKE11-RR (Rainfall-Runoff Module) แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า จะเป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (NAM Model) การพยากรณ์น้ำหลากจะแบ่งพื้นที่ออกเป็น พื้นที่ย่อยโดยใช้คลอง ถนน ทางรถไฟ เป็นต้น ในแต่ละพื้นที่ย่อยจะมีการคำนวณปริมาณน้ำท่าตาม เวลา

การคำนวณน้ำฝน-น้ำท่า จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลเริ่มต้น การไหลของแต่ละพื้นที่ย่อยจะไหลลงสู่แม่น้ำสงครามและลำน้ำสาขา โดยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ได้อย่างอัตโนมัติกับแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model) โดยจำลอง สภาพน้ำท่าอย่างต่อเนื่องเริ่มจากปริมาณน้ำฝนที่กลายเป็นน้ำท่า (Direct Effective Rainfall) รวมถึง การพิจารณาการระเหยในพื้นที่น้ำท่วม

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (NAM Model) ใช้จำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่า โดยแบ่งเป็น 4 ส่วน ตามความชื้น (Moisture Content) เพื่อแทนลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 3

- Snow Layer : การไหลของน้ำจากการละลายของหิมะ  
(ไม่ได้นำมาใช้กับพื้นที่ศึกษา)
- Surface Zone : การไหลของน้ำผิวดิน
- Root Zone : การไหลของน้ำในชั้นรากพืชถึงระดับที่พืชดึง  
น้ำมาใช้ได้
- Ground Water : การไหลของน้ำใต้ดิน

สำหรับแต่ละพื้นที่ย่อย แบบจำลองจะคำนวณน้ำท่าตามเวลาจากข้อมูลน้ำฝนและการระเหย โดยแบบจำลองสามารถอธิบายความต่อเนื่องของพารามิเตอร์ต่างๆ ตามเงื่อนไขทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำรวมถึงปริมาณน้ำของการเก็บกักทั้ง 4 ส่วนข้างต้น และแบบจำลองสามารถพยากรณ์น้ำรวมทั้งเหตุการณ์ในอนาคต



ภาพที่ 3 โครงสร้างของแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า

ที่มา: กรมชลประทาน (2554)

6.2 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11-HD (Hydrodynamic Module) บริษัทจะทำการจำลองสภาพการไหลในแม่น้ำสงคราม แม่น้ำยาม และแม่น้ำอุบล ทั้งสภาพการไหลล้น (Overtopping) ข้ามคันกันน้ำและการรั่วของแนวป้องกันน้ำท่วมที่ตำแหน่งต่าง ๆ แบบจำลอง MIKE 11 สามารถจำลองการสูบน้ำและโครงสร้างการควบคุมแบบถาวรและแบบชั่วคราว เช่น ฝาย ท่อลอด และปฏิบัติการควบคุมการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับน้ำและการไหลในแม่น้ำ หรือข้อมูลการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำในอดีต

การจำลองพื้นที่ลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 จะสามารถแทนสภาพกายภาพจริงได้ทั้งหมดด้วยวิธีการหลายๆ วิธี อันจะช่วยให้สามารถคำนวณและให้ผลที่ถูกต้อง ในการคำนวณแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า โดยเฉพาะการจำลองน้ำท่วมมีสาเหตุมาจากฝนที่ตกในพื้นที่และการระบายน้ำในพื้นที่ไม่เพียงพอ โดยข้อมูลที่ต้องใช้ประกอบด้วย

- ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำและโครงข่ายแม่น้ำจากผลการสำรวจ
- ข้อมูลอาคารชลศาสตร์ (เขื่อน ประตูระบายน้ำ สถานีสูบน้ำ)
- ข้อมูลระบบป้องกันน้ำท่วมและระบบระบายน้ำในปัจจุบัน
- ข้อมูลระบบแผนป้องกันน้ำท่วมของโครงการต่างๆ
- ข้อมูลสภาพพื้นที่น้ำท่วม
- ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายและความเดือดร้อนจากอุทกภัย
- ข้อมูลบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการเตือนภัยน้ำท่วม

แบบจำลอง MIKE 11 ออกแบบโดยเน้นค่าความน่าเชื่อถือของตัวเลข อย่างไรก็ตามในการจำลองเหตุการณ์จำเป็นต้องให้ความสำคัญในการกำหนดเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างที่ใส่ในแบบจำลอง เนื่องจากจะมีผลต่อความมีเสถียรภาพหรือความน่าเชื่อถือของแบบจำลองต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ รวมถึงการทดสอบโดยใช้เหตุการณ์น้ำท่วมที่รอบปีการเกิดสูง

แบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ใช้ Finite Difference Method แบบ Implicit โดยวิธีของ Abbott ชนิด 6 จุด ในการคำนวณสภาพการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) ในลำน้ำและบริเวณปากแม่น้ำ โดยแบบจำลองทางพลศาสตร์สามารถอธิบายสภาพการไหลได้ทั้งการไหลแบบต่ำกว่าวิกฤต (Sub-Critical Flow) และการไหลแบบเหนือวิกฤต (Super-Critical Flow) รวมทั้งสามารถคำนวณการไหล

ในระบบลำน้ำที่มีการไหลเข้าด้านข้างและแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time) และสถานที่ (Space) ดังมีรายละเอียดดังนี้

$$\text{สมการการไหลต่อเนื่อง} \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (5)$$

$$\text{สมการโมเมนตัม} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (6)$$

โดยที่	Q	=	อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /s)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m <sup>2</sup> )
	q	=	อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (m <sup>3</sup> /s/m)
	h	=	ความลึกของน้ำ (m)
	$\alpha$	=	ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้โมเมนตัม
	C	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy
	g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
	x	=	ระยะทาง (m)
	t	=	เวลา (s)

แบบจำลอง MIKE11-HD จะทำการแบ่งแม่น้ำออกเป็นช่วงๆ โดยที่ข้อมูลหน้าตัดของแม่น้ำจะใช้ข้อมูลจริงที่ได้จากการวัดในภาคสนาม รวมทั้งจะต่อขยายหน้าตัดแม่น้ำออกไปจนถึงส่วนที่เป็นพื้นที่น้ำท่วมบางส่วนด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4





ภาพที่ 4 การจำลองระบบแม่น้ำของแบบจำลอง MIKE11-HD

6.3 ความต้านทานที่ท้องน้ำของแบบจำลองนี้จะทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหล เนื่องจากความเสียดทานที่ท้องน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการของ Chezy หรือ Manning สำหรับสมการ Chezy แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 7

$$Q = AC\sqrt{RS} \quad (7)$$

- เมื่อ
- Q คือ อัตราการไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
  - A คือ พื้นที่หน้าตัด ( $\text{m}^2$ )
  - R คือ รัศมีชลศาสตร์ (m)
  - C คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy

สำหรับสมการ Manning แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = MAR^{2/3} S^{1/2} \quad (8)$$

เมื่อ  $n$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Manning

$M$  คือ Manning number ซึ่งมีค่าสมมูลกับสัมประสิทธิ์ของ Strickler

ค่า  $M$  คือ ส่วนกลับของ Manning Coefficient  $n$  ( $M = 1/n$ ) โดยค่า Manning'  $n$  มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.01 จนถึง 0.10 ดังนั้นค่า  $M$  ที่สอดคล้องกันจะมีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 10

สัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ของ Manning ซึ่งแสดงความสัมพันธ์โดย Cunge *et al.* (1980) แสดงได้ดังสมการที่ 9

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = MR^{1/6} \quad (9)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ( $C, n$  หรือ  $M$ ) นั้นสามารถประเมินได้โดยการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยปรับเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม นอกจากนี้ยังสามารถประเมินค่า Manning'  $n$  ได้จากการประมาณการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไปซึ่งแสดงดังตารางที่ 3

#### 6.4 สภาพเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

เงื่อนไขขอบเขตที่ต้องกำหนดในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (HD Module) แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขขอบเขต คือ

6.4.1 ขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูล

- อัตราการไหลคงที่จากอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อน
- อัตราการไหลของกราฟน้ำท่าจากเหตุการณ์ต่างๆ

6.4.2 ขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลอง โดยอาศัยข้อมูล

- ระดับน้ำคงที่ เช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ
- ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ระดับการขึ้น-ลงของน้ำทะเล
- โค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับและอัตราการไหล (Rating curve)

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องน้ำของทางน้ำเปิด

ชนิดทางน้ำเปิด	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน
	Manning'n
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides	
- Concrete	0.020
- mortared stone	0.023
- riprap	0.033
Natural stream channels	
Clean, straight stream	0.030
Clean, winding stream	0.040
Winding with weeds and pools	0.050
With heavy brush and timber	0.100
Flood Plain	
Pasture	0.035
Field crop	0.040
Light brush and weeds	0.050
Dense brush	0.070
Dense trees	0.100

ที่มา: Chow (1959)

6.5 แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA (Data Assimilation) แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ จะทำหน้าที่คำนวณค่าที่แตกต่างจากการพยากรณ์น้ำที่ผ่านมา และค่าจริงจากการตรวจวัดที่เป็น ข้อมูลปัจจุบัน (Update Process) ทั้งในแง่ความผิดพลาดของค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำ (Amplitude Error) และความแตกต่างของเวลา (Phase Error) แล้วนำไปปรับแก้การพยากรณ์น้ำในเวลาข้างหน้าต่อไป ทำให้สามารถพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ใกล้เคียงมากที่สุด การดำเนินการนี้จะทำอย่าง อัตโนมัติโดยวิธี Kalman Filter ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการดังนี้

- ความผิดพลาดจากการคาดการณ์น้ำฝน
- ความผิดจากการตรวจวัดฝนในสนาม รวมทั้งการไม่ทำงานของสถานีตรวจวัดฝน
- ความผิดพลาดในการแปลงน้ำฝนเป็นน้ำท่าที่มีขบวนการที่ยู่ยากซับซ้อน

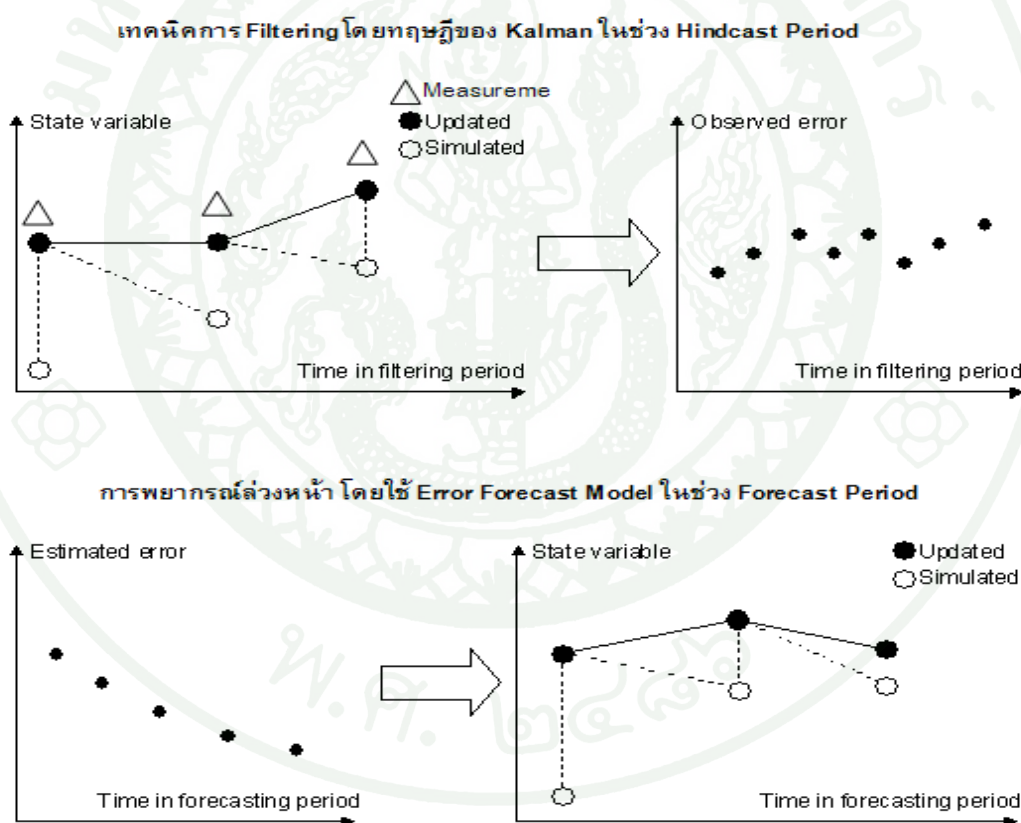
การปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะทำให้สถานีที่มีการตรวจวัดน้ำต่างๆที่มีการเชื่อม ข้อมูลปัจจุบันเข้ามาในระบบ ตัวอย่างการปรับแก้ค่าระดับน้ำหรืออัตราการไหล (Update Process) ก่อนที่ทำการพยากรณ์น้ำดังแสดงในภาพที่ 5

สำหรับทุกขั้นตอนของการพยากรณ์ที่พัฒนาเพิ่มเติมขึ้นมาใหม่นี้ (MIKE11-DA) สามารถประยุกต์ใช้ได้ทันที โดยที่ไม่ต้องการปรับเทียบตัวแปร (Parameter) ใด ๆ เหมือนกับวิธีการ พยากรณ์ในแบบ MIKE11-FF โดยผู้ใช้งานเพียงกำหนดช่วงเวลาในการพยากรณ์ (TOF; Time of Forecast) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาที่จะต้องจัดเตรียมข้อมูล Real-time ซึ่งเก็บอยู่ในฐานข้อมูล ของแบบจำลอง และทำการพยากรณ์น้ำในแต่ละครั้ง หรือเรียกว่า Runtime โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยยึดเวลา TOF เป็นตัวแบ่ง ได้แก่

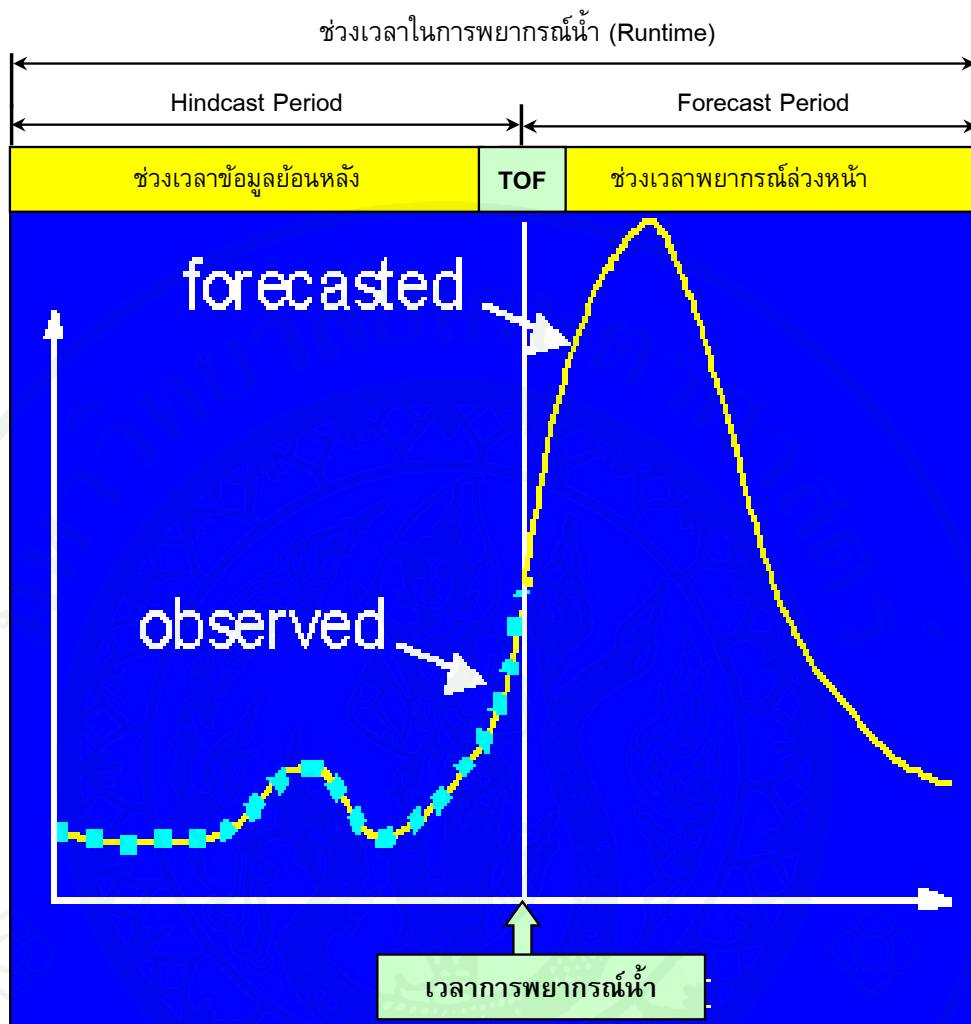
6.5.1 Hindcast Period หรือช่วงเวลาย้อนหลังเวลา TOF (เป็นค่าที่กำหนดไว้ใน FLOOD WATCH configuration) เป็นช่วงเวลามีข้อมูลปริมาณน้ำฝน และระดับน้ำที่ตรวจสอบแล้วจากทุก สถานีของระบบโทรมาตร (Measurement Data) ซึ่งถ้าข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมาก ก็จะทำให้ผลของการพยากรณ์น้ำในช่วง Forecast Period มีความถูกต้องตามไปด้วย

6.5.2 Forecast Period หรือช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำล้นหน้า TOF (เวลาพยากรณ์น้ำล้นหน้า เป็นค่าที่กำหนดไว้ใน FLOODWATCH Configuration) เป็นช่วงเวลาที่เป็นแบบจำลอง จะประมาณค่าขอบเขต ซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำ และการปล่อยน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์ ในช่วงพยากรณ์น้ำล้นหน้า ซึ่งแบบจำลองจะนำไปใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

โดยสรุปช่วงเวลาทั้ง Hindcast Period และ Forecast Period จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาในการคำนวณแบบจำลอง MIKE11- DA ในแต่ละครั้ง (Runtime) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้เองตามสถานการณ์ และเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ได้ผลการพยากรณ์ที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด



ภาพที่ 5 การปรับแก้ค่าระดับน้ำก่อนการพยากรณ์น้ำ



ภาพที่ 6 ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Runtime) ของแบบจำลอง MIKE 11- DA

## 7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไพรัตน์ (2536) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการศึกษาปริมาณน้ำท่ารายวันของกลุ่มน้ำสวย ซึ่งเป็นกลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำโขง กลุ่มน้ำสวยมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,250 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากพื้นที่ของลำน้ำสวยโดยส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลของการเกิดน้ำเพื่อ (Backwater Effect) จากแม่น้ำโขง ดังนั้นในการเลือกข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM นั้น จึงได้เลือกสถานีที่ไม่ได้รับผลกระทบของการเกิดน้ำเพื่อคือที่สถานีบ้านสมสะอาด ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำ 170 ตารางกิโลเมตร ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่วัดได้มีความสอดคล้องกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจึงใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำได้

ยุพิน (2541) ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในกลุ่มน้ำบางปะกง โดยในการจำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่าได้ใช้แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อยจำนวน 5 สถานี พบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.76 ถึง 0.97 โดยบางปีค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากมีสถานีวัดน้ำฝนกระจายตัวไม่ทั่วพื้นที่กลุ่มน้ำ กล่าวคือบางกลุ่มน้ำย่อยใช้ข้อมูลปริมาณฝนเพียงสถานีเดียวเป็นตัวแทนของปริมาณฝนทั้งกลุ่มน้ำย่อย

กานดา (2545) ได้ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง NAM สำหรับกลุ่มน้ำน่าน โดยสถานีวัดน้ำท่าที่ได้ทำการศึกษามี 11 สถานี ซึ่งแต่ละสถานีมีพื้นที่รับน้ำฝนอยู่ในช่วง 35 - 4,840 ตารางกิโลเมตร และจากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงที่ได้มีการแนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง NAM ซึ่งผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัดมีความใกล้เคียงกัน คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.57 ถึง 0.98 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 และค่ายกกำลังสองของค่าความแตกต่างมีค่าอยู่ระหว่าง 12.76 ถึง 219.67 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 111.59 ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ในการศึกษาค่าความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้น ได้พิจารณาที่สถานีวัดน้ำท่า N.17 โดยพิจารณาที่อัตราการไหลสูงๆ และอัตราการไหลต่ำๆ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลง

พารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำท่าด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ตลอดจนมีความไวที่แตกต่างกันต่ออัตราการไหลสูงและอัตราการไหลต่ำ

วิษุวัตต์ (2546) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา 2 แบบจำลอง ได้แก่แบบจำลอง NAM และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองซึ่งพัฒนาโดย วิระพล (2545) ซึ่งใช้วิธีคำนวณจากพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า โดยทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสองในการคาดคะเนปริมาณน้ำนองสูงสุด ที่เกิดจากพายุฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองชุมพรซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 2,227 และ 521 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ พบว่าทั้งแบบจำลอง NAM และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำทั้งสองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดได้ดี แต่แบบจำลอง NAM จะให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดได้ดีกว่าแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองเป็นส่วนใหญ่

เชวงศักดิ์ (2547) ได้ศึกษาสภาพน้ำท่วมและการบรรเทาอุทกภัยสำหรับลุ่มน้ำลำตะโคง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองย่อย 2 แบบจำลอง คือ จำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลอง UHM (Unit Hydrograph Module) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อคำนวณปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง และการคำนวณปริมาณการสูญเสียด้วยวิธี SCS เพื่อประเมินกราฟน้ำหลากของปริมาณการไหลเข้าด้านข้างระหว่างจุดควบคุมด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ และแบบจำลอง MIKE11 - HD เพื่อจำลองแบบสภาพการเกิดน้ำท่วมในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วม

ศิริกัญญา (2547) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 13 สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 45 ถึง 3,853 ตร.กม. ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM นั้น ข้อมูลด้านเข้า คือ ปริมาณฝนรายวัน การระเหยรายวัน ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น และพารามิเตอร์ของแบบจำลองจำนวน 15 พารามิเตอร์ ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่า โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงที่ได้แนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง และในการตรวจสอบประสิทธิภาพการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของแบบจำลองทั้งสองได้พิจารณาเงื่อนไขความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่า 4 ประการ คือ 1) สมดุลน้ำ 2) กราฟน้ำท่าโดยรวม 3) ปริมาณการไหลสูงๆ และ 4) ปริมาณการไหลต่ำๆ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า 37 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการประเมินน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องกว่าแบบจำลอง NAM ในด้านของสมดุลน้ำ



กราฟน้ำท่าโดยรวม และ ปริมาณการไหลสูงๆ ในทางตรงกันข้ามสำหรับปริมาณการไหลต่ำ ๆ แบบจำลอง NAM ให้ผลที่ดีกว่า

วิษุวัตต์ (2554) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองพยากรณ์น้ำในลุ่มน้ำชีตอนบนด้วยการประยุกต์ใช้ชุดของแบบจำลอง MIKE11-NAM/HD/DA แล้วเลือกใช้เหตุการณ์อุทกภัยในอดีตช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2547 - 2550 ส่วนแบบจำลองพยากรณ์น้ำ DA ได้ถูกทดสอบประสิทธิภาพโดยเลือกเหตุการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่ที่สุดที่เคยเกิดขึ้นในช่วงเดือนตุลาคมปี พ.ศ. 2549 โดยตั้งค่าช่วง Hindcast Period เท่ากับ 3 วันย้อนหลัง และค่าช่วง Forecast Period เท่ากับ 3 วันล่วงหน้า และทำการพยากรณ์ระดับน้ำต่อเนื่องทุกๆ 2 วัน โดยเริ่มต้นพยากรณ์ในวันที่ 2 จนถึงวันที่ 30 ตุลาคม 2549 ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง DA ให้ผลการพยากรณ์กราฟของระดับน้ำได้ใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำท่าทั้งสามแห่งในแม่น้ำชีได้แก่ สถานี E.23 สถานี E.21 และสถานี E.9 อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการพยากรณ์ระดับน้ำในช่วงหนึ่งวันล่วงหน้า, ช่วงสองวันล่วงหน้า และช่วงสามวันล่วงหน้า จะมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 98.85, 97.68, และ 96.34 ตามลำดับ

จากการที่ได้รวบรวมข้อมูลและทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาแล้วนั้น ทางผู้วิจัยได้เลือกที่จะใช้ชุดของแบบจำลอง MIKE11 - NAM/HD/DA เพื่อวัตถุประสงค์ในการพยากรณ์น้ำในลุ่มน้ำสงคราม โดยมุ่งหวังผลของการพยากรณ์ไว้ว่าน่าจะพยากรณ์น้ำในลุ่มน้ำสงครามล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ

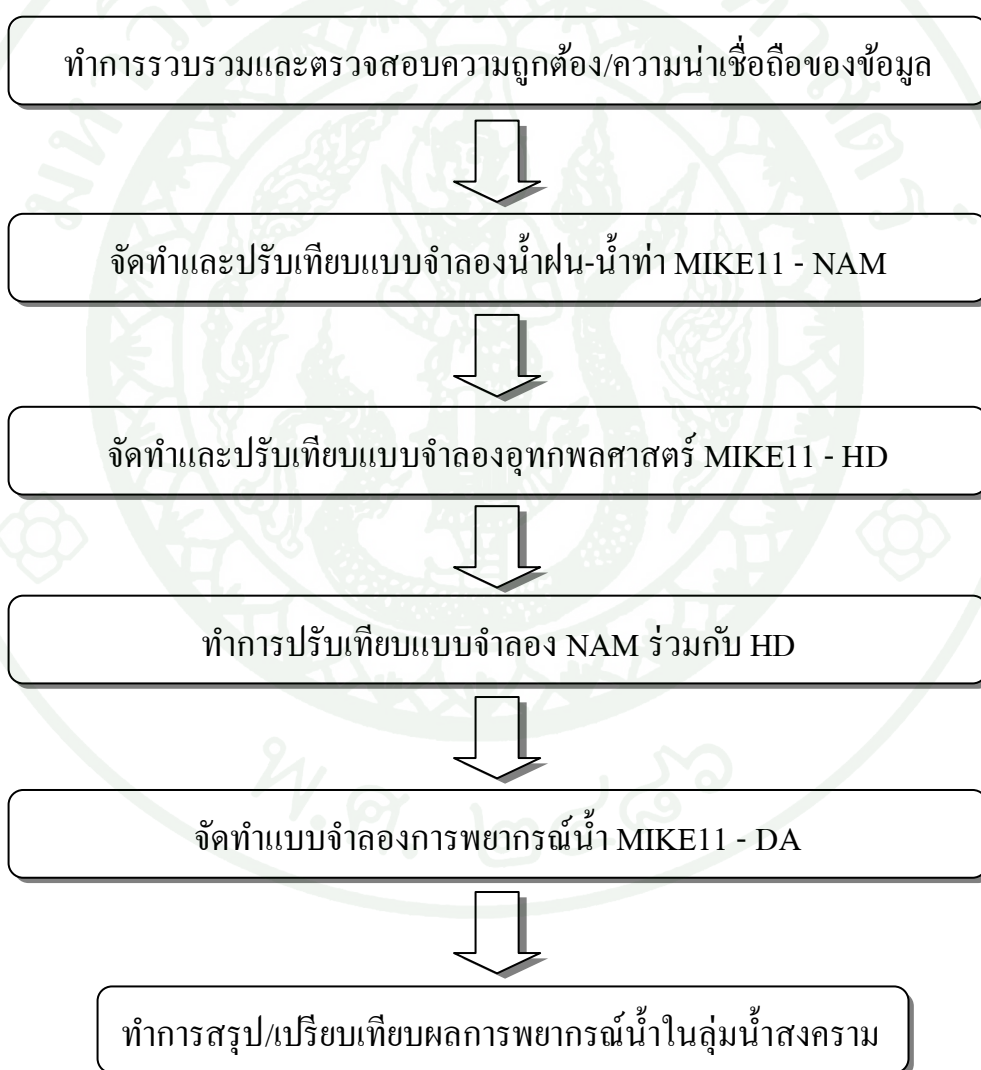
## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. โปรแกรมแบบจำลอง MIKE 11 ประกอบด้วยแบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลอง NAM, Hydrodynamic และ Data Assimilation พร้อมคู่มือ
3. โปรแกรมจัดการเอกสาร MS-Word, MS-Excel และ MS-PowerPoint
4. โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS)
5. แผนที่ภูมิประเทศบริเวณลุ่มน้ำสงคราม มาตรฐาน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร
6. ข้อมูลอุตุ-อุทกนิยมหาวิทยาลัยที่มีการบันทึกไว้ของกลุ่มน้ำสงครามและบริเวณลุ่มน้ำใกล้เคียง ซึ่งได้แก่ ข้อมูลน้ำฝนรายวัน ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือน ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมง และรายวัน ข้อมูลปริมาณการระเหยจากถาดรายวัน ปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปี และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves)
7. รูปตัดขวางของลำน้ำ รวบรวมจากผลสำรวจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

## วิธีการ

การศึกษาครั้งนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนการศึกษาทั้งสิ้น 6 ส่วน ได้แก่ 1) ทำการรวบรวมและตรวจสอบความถูกต้อง/ความน่าเชื่อถือของข้อมูล 2) จัดทำและปรับเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า MIKE11 - NAM 3) จัดทำและปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11 - HD 4) ทำการปรับเทียบแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD 5) จัดทำแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11 - DA และ 6) ทำการสรุป/เปรียบเทียบผลการพยากรณ์น้ำในกลุ่มน้ำสงคราม



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการศึกษา

โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนการศึกษาดังนี้

### 1. ทำการรวบรวมและตรวจสอบความถูกต้อง/ความน่าเชื่อถือของข้อมูล

1.1 การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ขอบเขตการปกครอง ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่ตั้งของสถานีตรวจวัดข้อมูลด้านอุตุนิยมิวิทยา-อุทกวิทยา ตลอดจนที่ตั้งของอาคารชลศาสตร์ต่างๆในลำน้ำของกลุ่มน้ำสงคราม และบริเวณลุ่มน้ำข้างเคียง จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมแผนที่ทหาร กรมทรัพยากรน้ำและกรมอุตุนิยมิวิทยา

### 1.2 การรวบรวมข้อมูลด้านอุตุนิยมิวิทยา-อุทกวิทยา

จากการรวบรวมข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แบ่งตามชนิดของข้อมูล ได้ดังนี้

#### 1.2.1 ข้อมูลภูมิอากาศ

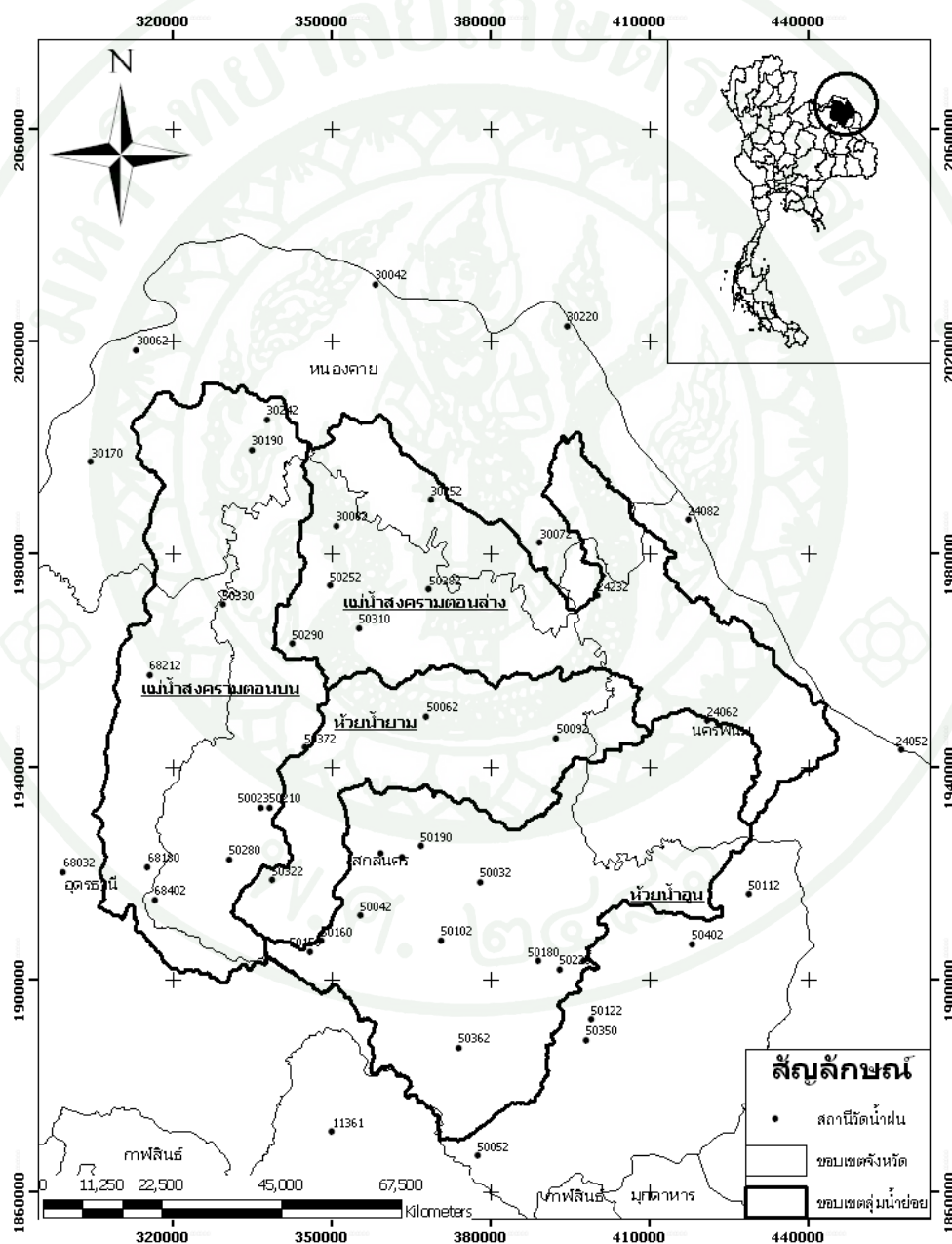
ข้อมูลภูมิอากาศ ได้แก่ ข้อมูลการระเหย ซึ่งรวบรวมจากสถานีตรวจอากาศประจำจังหวัดของกรมอุตุนิยมิวิทยา ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามและบริเวณใกล้เคียง โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สถานีตรวจอากาศในพื้นที่ศึกษา

ลำดับที่	จังหวัดที่ตั้ง	รหัสสถานี	ช่วงปีที่มีข้อมูล
1	หนองคาย	352201	2545 - 2554
2	อุดรธานี	354201	2545 - 2554
3	สกลนคร	356201	2545 - 2554
4	นครพนม	357201	2545 - 2554

1.2.2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

รวบรวมจากสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม จำนวน 34 สถานี และบริเวณลุ่มน้ำข้างเคียง 13 สถานี รวมทั้งสิ้น 47 สถานี ดังแสดงรายละเอียดสถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยดังในตารางผนวก ก1 และภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนทั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามและพื้นที่ใกล้เคียง

### 1.2.3 ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

ใช้ข้อมูลสถานีที่มีการวัดทั้งระดับน้ำและปริมาณน้ำในกลุ่มสงคราม ซึ่งได้นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย จำนวน 17 สถานี ซึ่งเป็นข้อมูลรายเดือนและรายวัน โดยเป็นสถานีของกรมชลประทานและกรมทรัพยากรน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 5 ตารางผนวกที่ ก3 และภาพที่ 9

### 1.2.4 ข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุด

ข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุด ได้รวบรวมจากสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในกลุ่มน้ำสงครามจำนวนทั้งสิ้น 9 สถานี รายชื่อสถานีและสถิติปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6

### 1.2.5 ข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves)

ข้อมูล Rating Curves ดังแสดงในตารางผนวก ก4 – ก8 ใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดจริง (Actual Rating Curves) จากสถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ ในช่วงปี พ.ศ. 2543 - 2552 จำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานี Kh.98 022601 022701 022801 และ 022901

### 1.2.6 ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ (Cross section)

รวบรวมได้จากผลสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อปี พ.ศ. 2552 และพ.ศ. 2555 รวมทั้งสิ้น 418 รูปตัด โดยแบ่งเป็น 5 แม่น้ำ คือ 1) แม่น้ำสงคราม จำนวน 158 รูปตัด โดยคิดเป็นระยะทางตามลำน้ำประมาณ 418.529 กิโลเมตร 2) แม่น้ำอูน ช่วงตั้งแต่จุดออกเขื่อนน้ำอูนบ้านหนองไผ่ จังหวัดสกลนคร ถึงจุดบรรจบแม่น้ำสงคราม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม จำนวน 105 รูปตัด โดยคิดเป็นระยะทางตามลำน้ำประมาณ 203.955 กิโลเมตร 3) แม่น้ำยามจำนวน 86 รูปตัด โดยคิดเป็นระยะทางตามลำน้ำประมาณ 175.555 กม. 4) ห้วยคอง จำนวน 37 รูปตัด โดยคิดเป็นระยะทางตามลำน้ำประมาณ 65.23 กิโลเมตร 5) ห้วยอี จำนวน 32 รูปตัด โดยคิดเป็นระยะทางตามลำน้ำประมาณ 82.162 กิโลเมตร

ตารางที่ 5 รายละเอียดสถานที่ตั้งต้นน้ำทำ

ลำดับ	รหัสสถานที่	จุดน้ำ	พื้นที่รับน้ำ		พิกัด	
			(ตร.กม)	(ตร.กม)	UTM_X	UTM_Y
1	Kh.60	แม่น้ำสงครามตอนบน	1,216	331518	1946116	
2	Kh.74	แม่น้ำสงครามตอนบน	2,182	329498	1970635	
3	Kh.93	แม่น้ำสงครามตอนบน	782	324262	1941619	
4	Kh.56	แม่น้ำสงครามตอนล่าง	5,667	390198	1965437	
5	Kh.22	แม่น้ำสงครามตอนล่าง	13,297	443366	1951265	
6	Kh.98	แม่น้ำสงครามตอนล่าง	5,089	370863	1975080	
7	Kh.55	แม่น้ำสงครามตอนล่าง	12,328	420557	1949926	
8	Kh.52	ห้วยอี	565	386791	1981345	
9	Kh.20C	ห้วยน้ำอุน	1,118	367919	1913967	
10	Kh.20	ห้วยน้ำอุน	1,199	378040	1918141	
11	Kh.54	ห้วยน้ำอุน	3,182	405951	1934102	
12	022502	แม่น้ำสงครามตอนล่าง	5,051	371547	1982512	

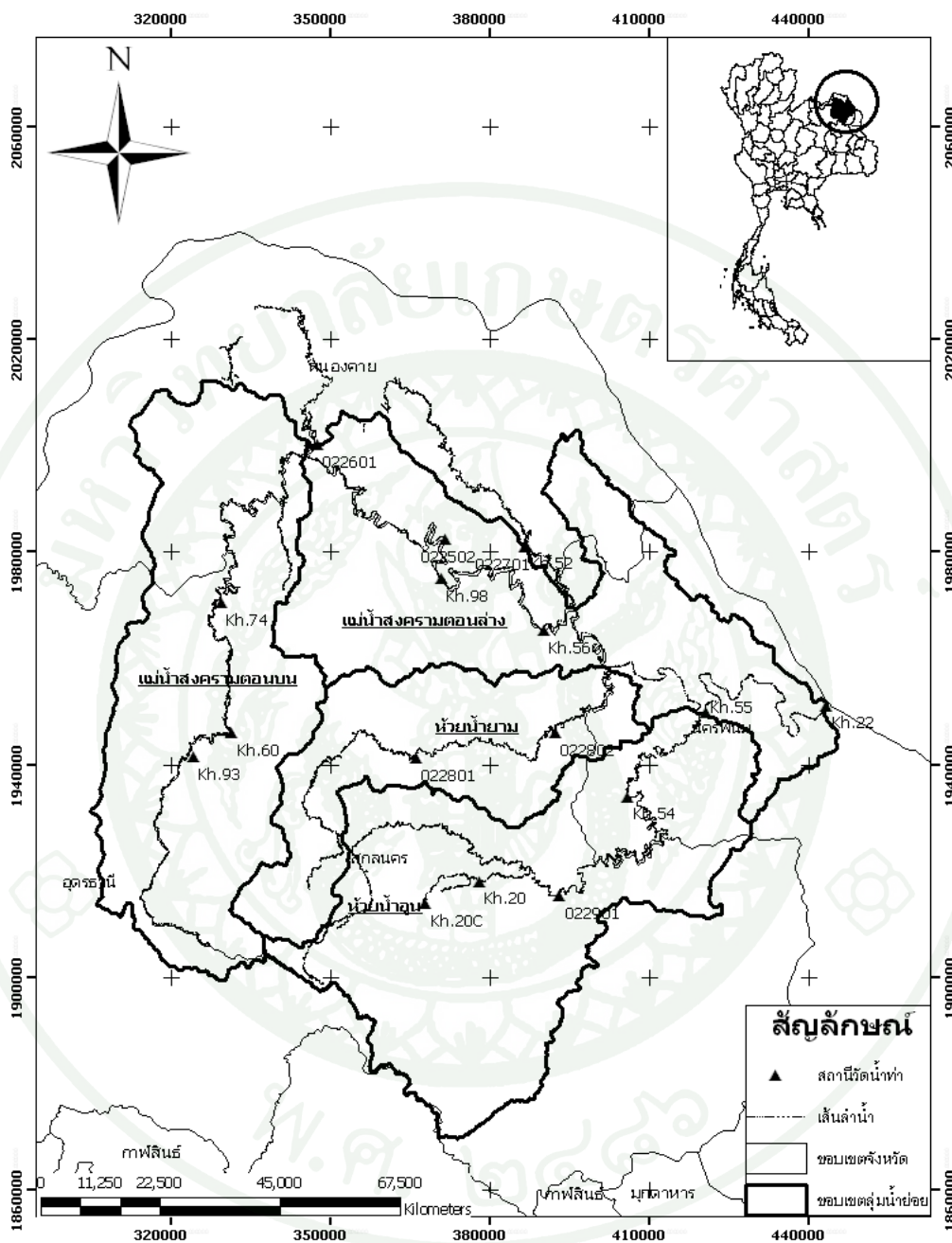
ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ	รหัสสถานที่	ผู้นำ	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม)	พิกัด	
				UTM_X	UTM_Y
13	022601	ห้วยคอง	715	347536	2000422
14	022701	ห้วยสี	724	386578	1981136
15	022802	ห้วยน้ำยาม	1,410	392320	1946063
16	022801	ห้วยน้ำยาม	799	366186	1941297
17	022901	ห้วยน้ำอุน	2,346	393114	1915446



ตารางที่ 6 รายชื่อสถานีและสถิติปริมาณน้ำของสูงสุดรายปี

ลำดับ	รหัสสถานี	ลุ่มน้ำ	หน่วยงาน	พิกัด		พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำของสูงสุด รายปี(ลบ.ม.วิ)		
				UTM_X	UTM_Y		เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
1	Kh.20	ห้วยน้ำอูน	กรมชลประทาน	378040	1918141	1,199	73.78	91	59
2	Kh.20C	ห้วยน้ำอูน	กรมชลประทาน	367919	1913967	1,118	208.48	573	52.48
3	Kh.54	ห้วยน้ำอูน	กรมชลประทาน	405951	1934102	3,182	263.2	330.8	154.8
4	Kh.74	แม่น้ำสงครามตอนบน	กรมชลประทาน	329498	1970635	2,182	305.05	630.4	88.15
5	Kh.93	แม่น้ำสงครามตอนบน	กรมชลประทาน	324262	1941619	782	226.19	482.2	81.05
6	022601	ห้วยคอง	กรมชลประทาน	347536	2000422	715	189.32	383	109
7	022701	ห้วยฮี	กรมชลประทาน	386578	1981136	724	174.66	252	99.6
8	022801	ห้วยน้ำยาม	กรมทรัพยากรน้ำ	366186	1941297	799	121.33	261	65
9	022901	ห้วยน้ำอูน	กรมทรัพยากรน้ำ	393114	1915446	2,346	129.85	439	82.3



ภาพที่ 9 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่า

## 2. จัดทำและปรับเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า MIKE11- NAM

### 2.1 การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM มีขั้นตอนประกอบด้วย

2.1.1 ทำการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11- NAM โดยใช้วิธีการปรับเทียบแบบอัตโนมัติ (Auto - Calibration) ซึ่งจะช่วยในการ Trial and Error เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นแบบจำลอง MIKE11- NAM มีพารามิเตอร์จำนวน 15 พารามิเตอร์ แต่ที่สำคัญที่สุดมี 3 พารามิเตอร์ คือ  $L_{max}$   $U_{max}$  และ CQOF ซึ่งมีรายละเอียดของพารามิเตอร์ แต่ละตัวมีดังนี้

1)  $L_{max}$  เป็นค่าความชื้นสูงสุดของดินในชั้นรากพืช มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 100 - 250 มิลลิเมตร ค่า  $L_{max}$  จะมีค่าสูงในดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว และมีค่าต่ำในดินทรายการเพิ่มค่า  $L_{max}$  จะทำให้ค่าปริมาณน้ำลดลง มีการไหลซึม และการระเหยสูงขึ้น

2)  $U_{max}$  เป็นค่าความชื้นสูงสุดของดินชั้นผิวดิน มีค่าโดยประมาณ 10 - 20 มิลลิเมตร หรือ 10% ของ  $L_{max}$  การเพิ่มค่า  $U_{max}$  จะทำให้ค่า Overland Flow และ Infiltration น้อยลง โดยเฉพาะในช่วงเริ่มฤดูฝน แต่จะทำให้การระเหย และ Interflow สูงขึ้น

3) CQOF เป็นค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำผิวดิน มีค่าระหว่าง 0 - 1 การให้ค่า CQOF น้อยจะทำให้ Overland Flow มีค่าต่ำ โดยเฉพาะค่า Peak แต่ค่า Infiltration จะสูง

4) CKIF เป็นช่วงเวลาการเกิด Interflow มีค่าประมาณ 500 - 1,000 ชั่วโมง การเพิ่มค่า CKIF จะทำให้ได้ Interflow ลดลง

5) TOF เป็นค่าเริ่มต้นของความชื้นสัมพัทธ์ของดินชั้นรากพืช ( $L/L_{max}$ ) ที่เริ่มยอมให้เกิด Overland Flow ถ้า TOF มาก จะเกิด Overland Flow ช้าลง

6) TIF เป็นค่าเริ่มต้นของความชื้นสัมพัทธ์ของดินชั้นรากพืช ( $L/L_{max}$ ) ที่เริ่มยอมให้เกิด Interflow ถ้า TIF มาก จะเกิด Interflow ช้าลง

7) TG เป็นค่าเริ่มต้นของความชื้นสัมพัทธ์ของดินชั้นรากพืช ( $L/L_{max}$ ) ที่เริ่มยอมให้เกิด Groundwater Recharge ถ้า TG มาก จะเกิด Groundwater Recharge ซ้ำลง

8) CK1 เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำท่าในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CK1 จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูง และฐานเวลาสั้น

9) CK2 เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของ Overland Flow และ Interflow ในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CK2 จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูง และมีฐานเวลาสั้น ปกติจะกำหนดให้  $CK1 = CK2$

10) CKBF เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของ Base Flow ในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CKBF จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูงขึ้นและฐานเวลาสั้นลง ปกติ CKBF มากกว่า CK1 และ CK2

11) Sy เป็นค่า Specific Yield ของชั้นน้ำใต้ดิน ปกติจะกำหนดให้มีค่า = 0.1

12) GWLBF0 เป็นค่าความลึกสูงสุดของชั้นน้ำใต้ดินที่ทำให้เกิด Base Flow ปกติกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 เมตร

13) GWLmin เป็นระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด ปกติเท่ากับ 0 เมตร

14) GWLFL1 เป็นความลึกของน้ำใต้ดิน ที่จะทำให้เกิดการไหลซึมขึ้น (Capillary Flux) หนึ่งหน่วย (1 มิลลิเมตรต่อวัน) จากชั้นน้ำใต้ดิน ปกติกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 เมตร

15) CAREA เป็นอัตราส่วนระหว่าง พื้นที่รับน้ำของชั้นน้ำใต้ดิน ต่อพื้นที่รับน้ำฝน โดยปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

2.1.2 ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้น

2.1.3 ทำการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11- NAM ขั้นสุดท้าย โดยประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบมาได้ กับกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ

## 2.2 ดัชนีทางสถิติที่ใช้เลือกผลการปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM เลือกใช้สถานีวัดน้ำท่า Kh.74 และ 022701 โดยการปรับเทียบจะใช้ข้อมูลช่วงปี 2545 - 2547 และการตรวจพิสูจน์ใช้ข้อมูลช่วงปี 2549 - 2552 โดยกำหนดเกณฑ์ในการประเมินผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ซึ่งจะใช้ค่าดัชนีทางสถิติ 4 ตัว ดังแสดงในสมการ (10) (11) (12) และ (13) ดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือ correlation coefficient (r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o) \times (Q_{ci} - \bar{Q}_c)}{\left[ \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \times \sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2 \right]^{0.5}} \quad (10)$$

2) ค่าระดับสมดุลน้ำ หรือ Water Balance Level (WBL)

$$WBL = \frac{\text{Volume}(m^3)_{sim} - \text{Volume}(m^3)_{obs}}{\text{Volume}(m^3)_{obs}} \quad (11)$$

3) ค่า Efficiency index (EI)

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 - \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \times 100\% \quad (12)$$

4) ค่า root mean square error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Q_{oi} - Q_{ci}]^2} \quad (13)$$

เมื่อ  $Q_i$  คือ ปริมาณการไหลหรือระดับน้ำ ที่เวลา  $i$  ส่วน  $\bar{Q}$  คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณการไหลหรือระดับน้ำ โดยที่ subscript O กับ C คือ ค่าที่ตรวจวัดได้และค่าที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง ตามลำดับ และ  $N$  คือ จำนวนของข้อมูล ส่วน  $Volume_{sim}$  คือ ปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง  $Volume_{obs}$  คือ ปริมาณน้ำที่ได้จากการตรวจวัด ในหน่วย ลบ.ม./วินาที

ค่า  $r$  มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า  $r$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมาก ค่า water balance level (WBL) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 0 จะยิ่งดี แสดงว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากการตรวจวัด โดย  $\pm 10\%$  คือค่าที่ยอมรับได้ ส่วนค่า Efficiency index (EI) ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับที่ได้จากการตรวจวัดทุกข้อมูล ส่วนค่า root mean square error (RMSE) ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งดี แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลตรวจวัดน้อย

การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า หรือ MIKE11- NAM โดยคัดเลือกสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 2 สถานี ได้แก่ 1) สถานี Kh.74 ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสงครามมีพื้นที่รับน้ำ 2,147 ตร.กม. และ 2) สถานี 022701 ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำห้วยอีมีพื้นที่รับน้ำ 565 ตร.กม. โดยมีรายละเอียดการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์ (Model Calibration and Verification) แสดงได้ดังนี้ พิจารณาเลือกช่วงปีของข้อมูลน้ำฝน น้ำท่า และการระเหยมาใช้ในการเปรียบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM ในช่วงปี พ.ศ. 2545 - 2552 สำหรับข้อมูลน้ำฝนได้พิจารณาใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม และลุ่มน้ำข้างเคียง จำนวน 16 สถานี แสดงดังภาพที่ 10 และรายละเอียดในตารางที่ 7

### การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11-NAM ที่สถานี Kh.74

สถานี Kh.74 เป็นสถานีตรวจวัดระดับน้ำในแม่น้ำสงครามตอนบน มีพื้นที่รับน้ำ 966 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ทางตอนบนของกลุ่มน้ำสงคราม ในพื้นที่รับน้ำของสถานี Kh.74 มีสถานีตรวจวัดน้ำฝนจำนวน 12 สถานี คือ สถานีรหัส 50023 50150 50210 50280 50290 50322 50330 50372 68032 68180 68212 และ 68402 โดยค่าแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนทั้งสิ้นสองแห่งมีค่าเท่ากับ 0.021 0.013 0.092 0.075 0.028 0.089 0.088 0.005 0.150 0.227 และ 0.116 ตามลำดับ ส่วนค่าการระเหยจากภาคพิจารณาใช้สถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ดังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำและรูปเหลี่ยมทียเอสเซน (Thiessen Polygon) สำหรับคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ Kh.74 ได้ดังภาพที่ 11

### การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11 - NAM ที่สถานี 022701

สถานี 022701 เป็นสถานีตรวจวัดระดับน้ำในห้วยอี ที่บ้านหนองยาง อ.เซกา จ.บึงกาฬ มีพื้นที่รับน้ำ 565 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ทางตอนล่างของกลุ่มน้ำห้วยอี ในพื้นที่รับน้ำของสถานี 022701 มีสถานีตรวจวัดน้ำฝนจำนวน 4 สถานี คือ สถานีรหัส 30042 30072 30220 และ 30252 โดยค่าแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนทั้งสิ้นมีค่าเท่ากับ 0.096 0.181 0.024 และ 0.699 ตามลำดับ ส่วนค่าการระเหยจากภาคพิจารณาใช้สถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ดังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำและรูปเหลี่ยมทียเอสเซน (Thiessen Polygon) สำหรับคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ 022701 ได้ดังภาพที่ 12

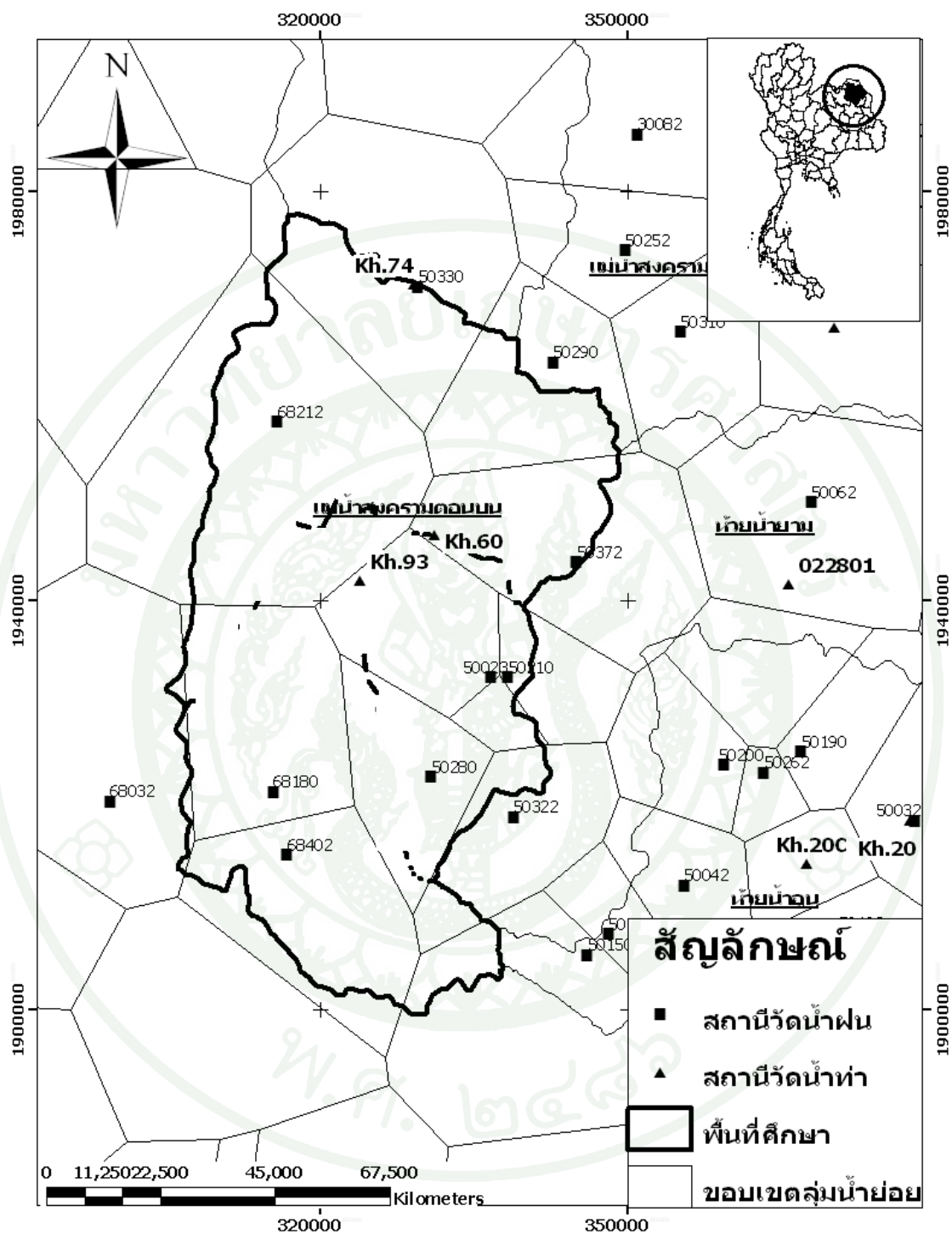


ภาพที่ 10 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าและสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11- NAM

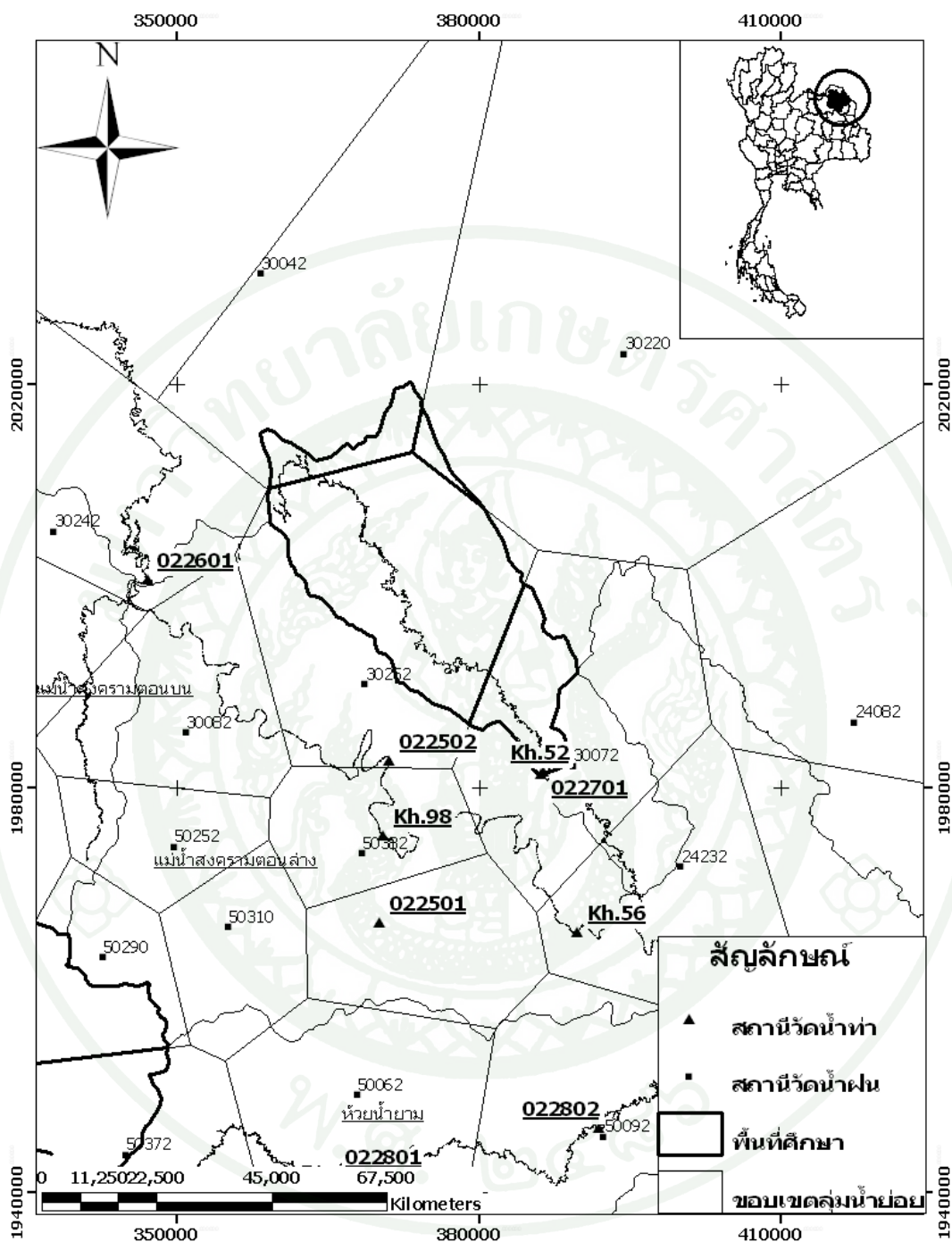


ตารางที่ 7 รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้เปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM

ลำดับ	รหัส	ที่ตั้ง	จังหวัด	พิกัด(UTM)	
				UTM_E	UTM_N
1	30220	ห้วยสหาย (TNK.138)	หนองคาย	394431	2023038
2	30072	ที่ว่าการอำเภอเซกา	หนองคาย	389338	1982227
3	30252	ที่ว่าการอำเภอพรเจริญ	หนองคาย	368739	1990309
4	30042	ที่ว่าการอำเภอบึงกาฬ	หนองคาย	358342	2030960
5	50330	บ้านท่าห้วยหลวง (Kh.74)	สกลนคร	329498	1970635
6	50280	ห้วยกานหลวง (TNK.132)	สกลนคร	330791	1922728
7	68032	สำนักงานเกษตรอำเภอหนองหาน	อุดรธานี	299421	1920301
8	50322	ที่ว่าการอำเภอส่องดาว	สกลนคร	338835	1918756
9	50372	ที่ว่าการอำเภอเจริญศิลป์	สกลนคร	344977	1943695
10	50023	ที่ว่าการอำเภอสว่างแดนดิน	สกลนคร	336607	1932418
11	68180	หนองบัว (TNK.80)	อุดรธานี	315371	1921224
12	50210	ห้วยไทรแสง (TNK.70)	สกลนคร	338306	1932438
13	68212	ที่ว่าการอำเภอบ้านดุง	อุดรธานี	315808	1957410
14	50290	ห้วยขาม (TNK.133)	สกลนคร	342689	1963266
15	50150	เหนือห้วยปลาห้าง(TNK.151)	สกลนคร	346066	1905267
16	68402	ที่ว่าการอำเภอไชยวาน	สกลนคร	316697	1915103



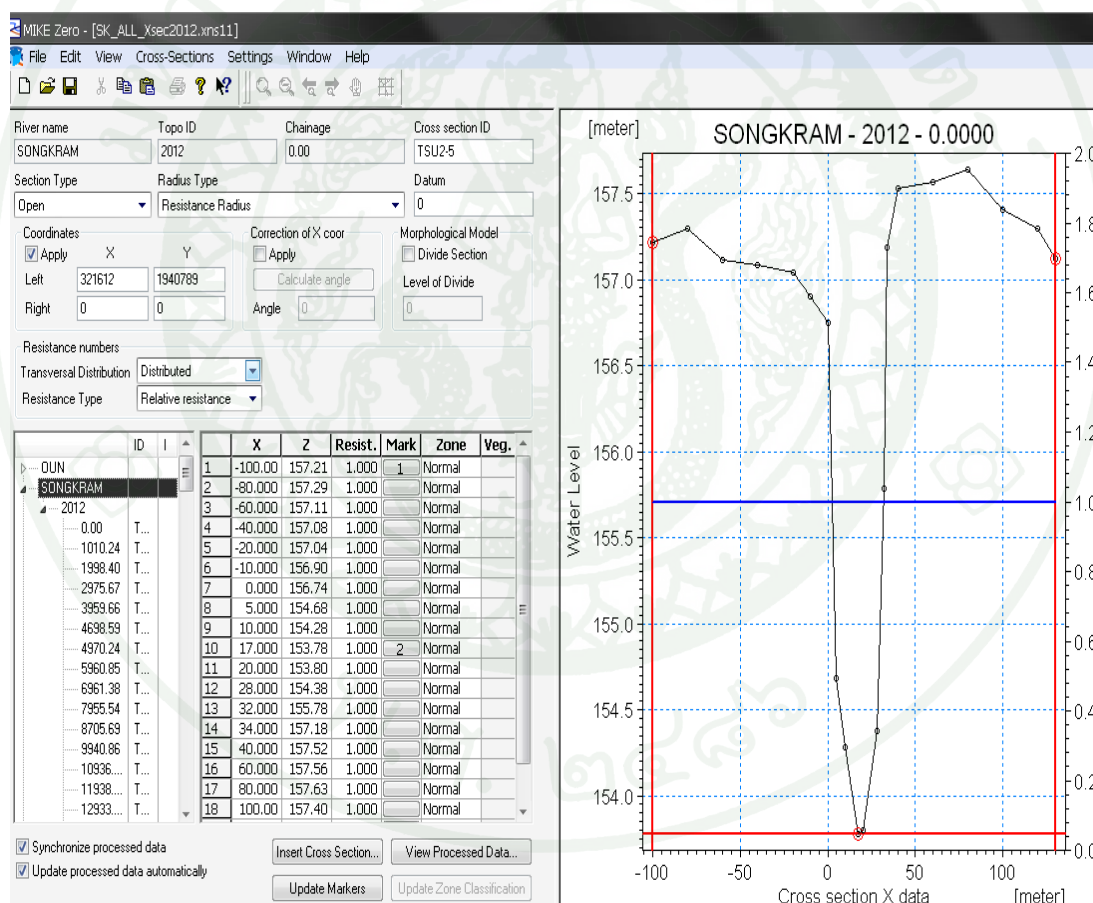
ภาพที่ 11 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำสถานี Kh.74 และรูปเหลี่ยม Thiessen Polygon



ภาพที่ 12 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำสถานี 022701 และรูปเหลี่ยม Thiessen Polygon

### 3. จัดทำและปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11- HD

การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- HD ในลุ่มน้ำสงคราม จำเป็นต้องใช้รูปตัดลำน้ำ (ภาพที่ 13) โดยปรับแบบ Trial and Error เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ Manning'n ที่เหมาะสม จากนั้นจะนำค่าที่ได้ไปพล็อตลงใน Rating Curves ที่ตั้งห้าสถานี (Kh.98 022801 022901 022601 และ 022701) เพื่อเปรียบเทียบผล โดยจะปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning Number) จนกว่าจะทำให้ค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองฯ เข้ากันดีกับ Rating Curves จึงจะเป็นผลที่ยอมรับได้



ภาพที่ 13 หน้าตัดรูปตัดลำน้ำของแม่น้ำสงครามในแบบจำลอง MIKE11- HD

รายละเอียดข้อมูลและขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล ก่อนที่จะนำข้อมูลนั้นเข้าสู่ฐานข้อมูลของแบบจำลองในการจัดทำแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11- HD ประกอบด้วย

### 3.1 ข้อมูลรูปตัดขวางของแม่น้ำทั้งหมดที่ใช้ศึกษา

โดยมีรูปตัดขวางรวมทั้งสิ้น 418 รูปตัด ดังแสดงตำแหน่งในภาพที่ 14 โดยแบ่งเป็น 5 แม่น้ำ คือ 1) แม่น้ำสงคราม จำนวน 158 รูปตัด รวมระยะทาง 418.529 กิโลเมตร 2) แม่น้ำอูน จำนวน 105 รูปตัด รวมระยะทาง 203.955 กิโลเมตร 3) แม่น้ำยามจำนวน 86 รูปตัด รวมระยะทาง 175.555 กม. 4) ห้วยคอง จำนวน 37 รูปตัด รวมระยะทาง 65.23 กิโลเมตร 5) ห้วยฮี จำนวน 32 รูปตัด รวมระยะทาง 82.162 กิโลเมตร

### 3.2 ข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves)

ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณการไหลของน้ำที่สถานีวัดน้ำท่า ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสงคราม โดยทำการตรวจวัดปริมาณน้ำในสนาม เพื่อนำมาหา Rating Curves โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ จำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานี Kh.98 ช่วงปี พ.ศ. 2543 - 2545 ,สถานี 022601 ช่วงปี พ.ศ. 2551 - 2552 ,สถานี 022701 ช่วงปี พ.ศ. 2547 - 2551 , สถานี 022801 ช่วงปี พ.ศ. 2548 - 2552 และสถานี 022901 ช่วงปี พ.ศ. 2548 - 2552

### 3.3 ขอบเขตแบบจำลอง (Boundary)

การกำหนดขอบเขตแบบจำลองจะต้องทำการกำหนดขอบเขต ด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) และขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำที่ต้นของแม่น้ำสงคราม (Kh.93) ใช้ช่วงระหว่าง 5 - 1,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนในแม่น้ำยาม ใช้ช่วงระหว่าง 5 - 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ด้านในแม่น้ำอูน ใช้ช่วงระหว่าง 5 - 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และขอบเขตด้านท้ายน้ำที่แม่น้ำสงคราม ยาม และอูน กำหนดให้เป็น Rating Curves ที่สถานีวัดน้ำท่า Kh.22 ส่วนในห้วยคอง ใช้ช่วงระหว่าง 5 - 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และในห้วยฮี ใช้ช่วงระหว่าง 5 - 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Lower Boundary) ที่ห้วยคองและห้วยฮีที่จุดบรรจบแม่น้ำสงคราม กำหนดให้เป็นระดับน้ำคงที่

การเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE 11- HD มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE 11- HD คือ ค่า Manning'n ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ Manning'n จะแสดงถึงความเสียดทานต่อการไหลของน้ำ ในทางน้ำเปิด โดยค่า Manning'n ในทางน้ำเปิดของทางน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02 - 0.05 และค่า Manning'n ในคลองส่งน้ำลาดคอนกรีตจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.013 - 0.015 การเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE 11- HD เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ Manning'n นั้น จะทำการปรับค่า Manning'n ในลำน้ำสายหลักเพื่อให้กราฟน้ำท่า หรือระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (Calculation) มีความใกล้เคียงมากที่สุดกับข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curve) ที่บันทึก (Observe) ได้จากสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการพิจารณา โดยการศึกษาครั้งนี้ จะพิจารณาเปรียบเทียบที่สถานี Kh.98 022601 022701 022801 และ 022901 ตามลำดับ

### 3.4 ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD

ขั้นตอนการศึกษาจะเริ่มจากการจัดทำแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ NAM/HD ขึ้นมาก่อน โดยจะครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามทั้งหมด คิดเป็นพื้นที่ 13,146 ตร.กม. จากต้นน้ำลงไปจนถึงสถานีวัดน้ำท่า Kh.22 จุดบรรจบแม่น้ำโขง บ้านไชยบุรี อำเภอน้ำอูเทิน จังหวัดนครพนม ซึ่งถือเป็นขอบเขตด้านท้ายน้ำของแบบจำลอง โดยคิดเป็นระยะทางตามแนวลำน้ำตั้งแต่ขอบเขตด้านเหนือน้ำลงมาถึงด้านท้ายน้ำรวมทั้งสิ้น 341.987 กิโลเมตร ดังแสดงในแผนภูมิแสดงระบบการไหลของน้ำในลุ่มน้ำสงคราม ดังภาพที่ 15

โดยมีรายละเอียดข้อมูลและขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล ก่อนที่จะนำข้อมูลนั้นเข้าสู่ฐานข้อมูลของแบบจำลองในการจัดทำแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD ประกอบด้วย

#### 1) ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ

การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำสงครามจากการพิจารณาลักษณะภูมิประเทศ จุดบรรจบของลำน้ำย่อย และสถานีวัดน้ำที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำ ทำการแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำสงคราม โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 19 ลุ่มน้ำย่อย ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 16 และตารางที่ 8

## 2) ข้อมูลปริมาณฝน

ข้อมูลปริมาณฝนได้พิจารณาใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณาและสถานีวัดน้ำฝนบริเวณใกล้เคียง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยาโดยมีสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนแต่ละสถานีที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา โดยปริมาณฝนตามพื้นที่นั้น สามารถคำนวณได้โดยวิธี Thiessen Polygon ดังแสดงในภาพที่ 17 โดยสัดส่วนของค่าการถ่วงน้ำหนักของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนนั้นได้แสดงไว้ในตารางผนวกที่ ก2

## 3) ข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลการระเหยจากภาคใต้การระเหย ใช้ข้อมูลการระเหย จากสถานีตรวจอากาศประจำจังหวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามและบริเวณใกล้เคียงจำนวน 4 สถานี ได้แก่ หอนอกค่าย, อุดรธานี, สกลนคร และนครพนม ซึ่งมีช่วงข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 - 2553 โดยนำมาหาค่าเฉลี่ยรายวัน จากข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน เพื่อใช้เป็นค่าการระเหยเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ของลุ่มน้ำสงคราม

## 4) ข้อมูลปริมาณการไหล

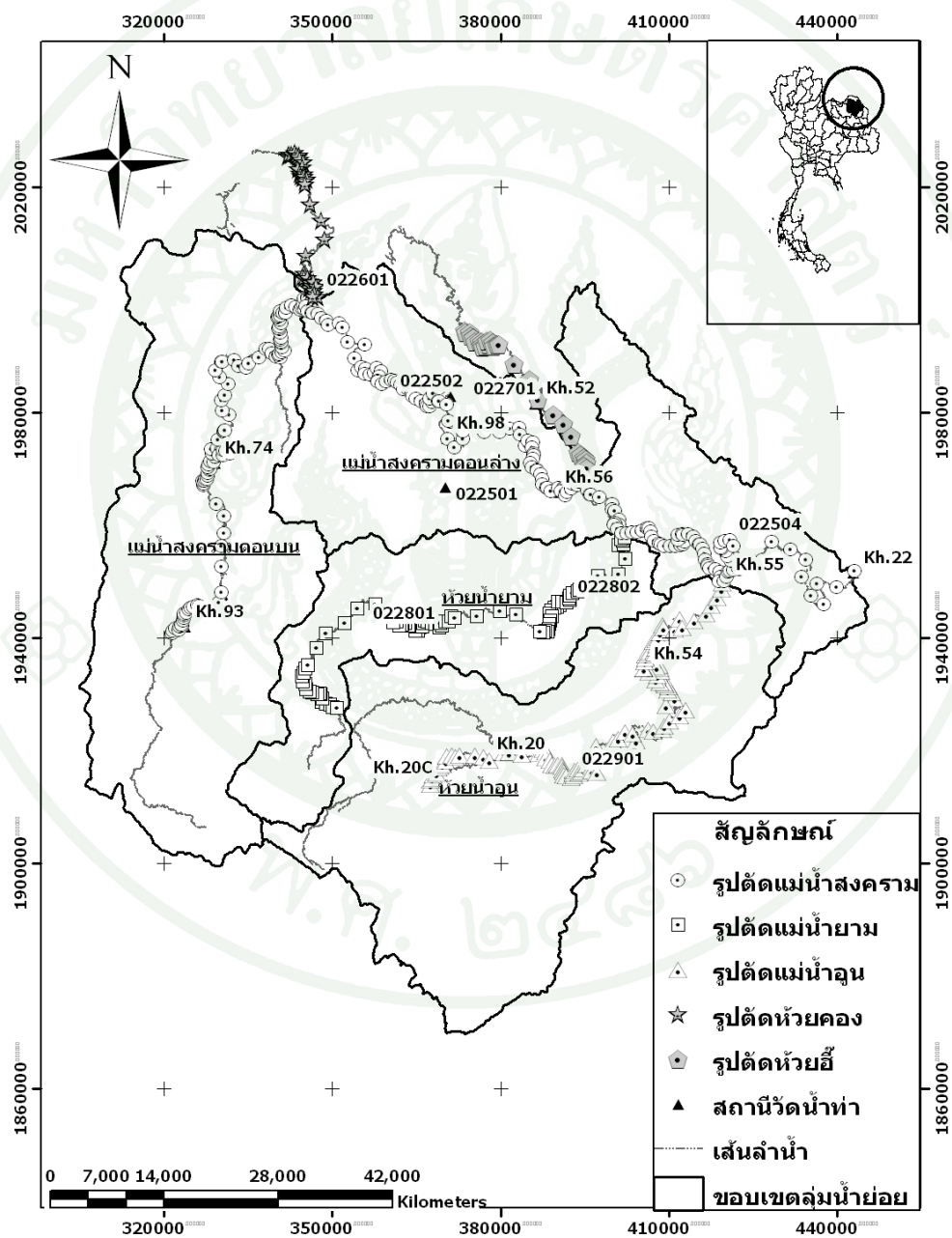
เป็นข้อมูลปริมาณการไหลรายวันที่ได้จากสถานีวัดน้ำท่าซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสงคราม โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ

การเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD โดยหลังจากได้ทำการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM และ HD แยกส่วนกันแล้ว จะประยุกต์ใช้แบบจำลองย่อยทั้งสองในการจำลองสภาพการเกิดอุทกภัยในช่วงปี พ.ศ. 2547 - 2549 โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของระบบลุ่มน้ำสงคราม แสดงได้ดังนี้ (ภาพที่ 15)

- ขอบเขตด้านเหนือน้ำ กำหนดให้ใช้ สำหรับแม่น้ำสงครามใช้ปริมาณการไหลรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า Kh.93 และสำหรับแม่น้ำอุ่ม ใช้ปริมาณการไหลรายวันที่สถานี Kh.20C

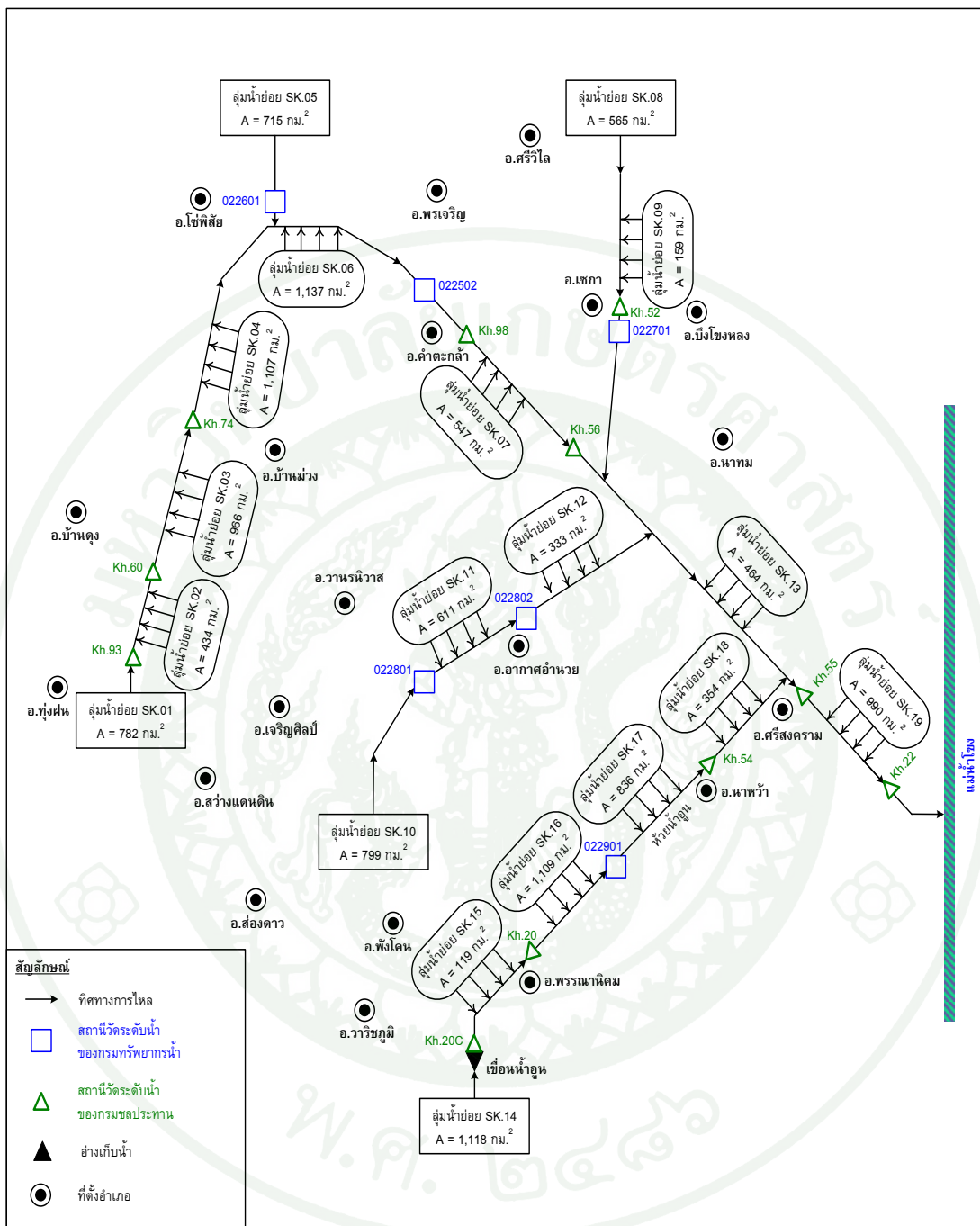
- ขอบเขตด้านท้ายน้ำ กำหนดให้ใช้โค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล หรือ Rating Curves ที่สถานี Kh.74 และ Kh.54

- ปริมาณการไหลเข้าด้านข้างของกลุ่มน้ำที่ กำหนดให้ใช้ปริมาณการไหลที่ประเมินได้จากแบบจำลอง NAM

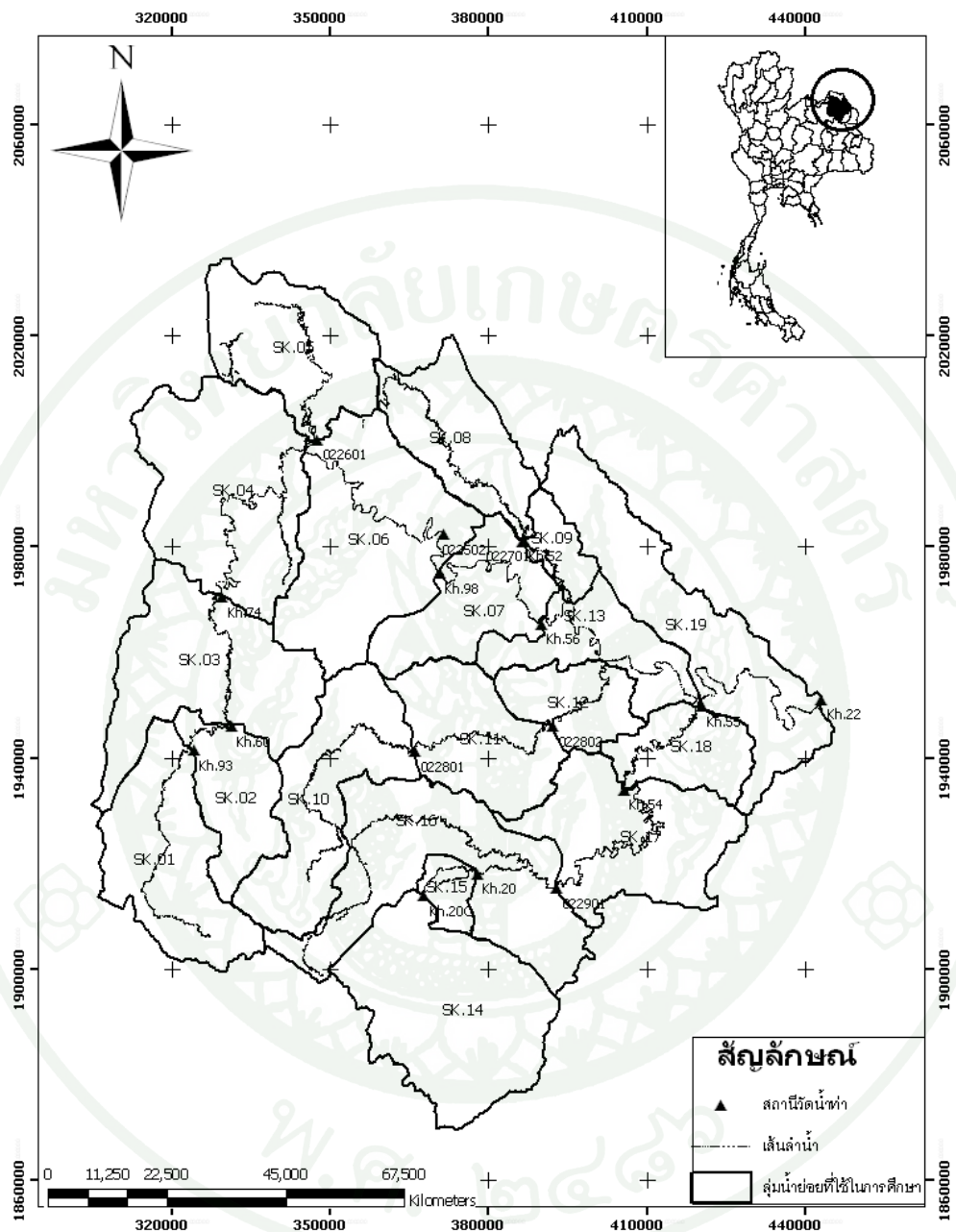


ภาพที่ 14 ตำแหน่งรูปตัดขวางลำน้ำทั้งหมดในกลุ่มน้ำสงคราม





ภาพที่ 15 แผนภูมิแสดงระบบการไหลของน้ำในกลุ่มน้ำสงคราม (พื้นที่กลุ่มน้ำรวม 13,146 ตร.กม.)



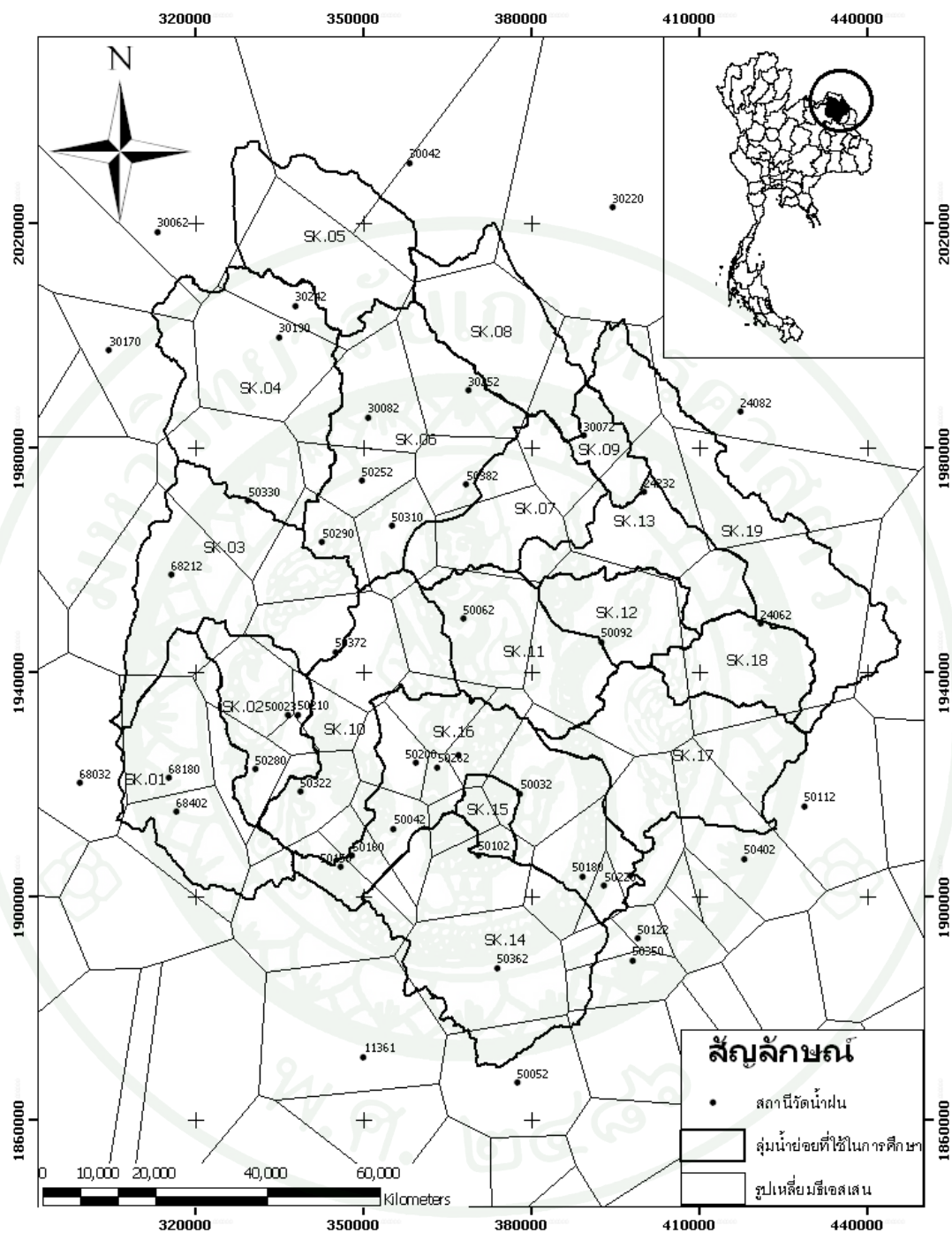
ภาพที่ 16 แสดงการแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำสงคราม

ตารางที่ 8 รายชื่อกลุ่มน้ำย่อยของระบบลุ่มน้ำสงคราม

รหัส ลุ่มน้ำ	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
SK.01	ลุ่มน้ำแม่น้ำสงครามตอนบน ต้นน้ำถึงสถานี Kh.93	782
SK.02	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงแม่น้ำสงครามตอนบน ระหว่างสถานี Kh.93 ถึง Kh.60	434
SK.03	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงแม่น้ำสงครามตอนบน ระหว่างสถานี Kh.60 ถึง Kh.74	966
SK.04	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงแม่น้ำสงครามตอนบน ระหว่างสถานี Kh.74 ถึง 022601	1,107
SK.05	ลุ่มน้ำห้วยคอง ต้นน้ำถึงสถานี 022601	715
SK.06	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงแม่น้ำสงครามตอนบน-ตอนล่างระหว่างสถานี 022601 ถึง Kh.98	1,137
SK.07	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงแม่น้ำสงครามตอนล่างระหว่างสถานี Kh.98 ถึง Kh.56	547
SK.08	ลุ่มน้ำห้วยอี ต้นน้ำถึงสถานี Kh.52	565
SK.09	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงห้วยอี ระหว่างสถานี Kh.52 ถึงจุดบรรจบแม่น้ำสงครามตอนล่าง	159
SK.10	ลุ่มน้ำห้วยน้ำยาม ต้นน้ำถึงสถานี 022801	799
SK.11	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงห้วยน้ำยาม ระหว่างสถานี 022801 ถึง 022802	611
SK.12	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงห้วยน้ำยาม ระหว่างสถานี 022802 ถึงจุดบรรจบแม่น้ำสงคราม	333
SK.13	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงแม่น้ำสงครามตอนล่างระหว่างสถานี Kh.56 ถึง Kh.55	464
SK.14	ลุ่มน้ำห้วยน้ำอูน ต้นน้ำถึงสถานี Kh.20C เชื้อนห้วยน้ำอูน	1,118
SK.15	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงห้วยน้ำอูน ระหว่างสถานี Kh.20C ถึง Kh.20	119

ตารางที่ 8 (ต่อ)

รหัส ลุ่มน้ำ	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
SK.16	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงห้วยน้ำอูน ระหว่างสถานี Kh.20 ถึง 022901	1,109
SK.17	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงห้วยน้ำอูน ระหว่างสถานี 022901 ถึง Kh.54	836
SK.18	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงห้วยน้ำอูน ระหว่างสถานี Kh.54 ถึงจุดบรรจบ แม่น้ำสงคราม	354
SK.19	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลงแม่น้ำสงครามตอนล่างระหว่างสถานี Kh.55 ถึง Kh.22	990
<b>พื้นที่ลุ่มน้ำรวมของลุ่มน้ำสงคราม</b>		<b>13,146</b>



ภาพที่ 17 รูปเหลี่ยมสี่เหลี่ยมของโครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำสงคราม

## 5) จัดทำแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11 - DA

นำแบบจำลอง NAM และ HD ที่ผ่านการปรับเทียบร่วมกันมาแล้ว มาประยุกต์ใช้โดยทดสอบ ในการปรับเทียบผลการพยากรณ์น้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE11- DA นั้น จะมีการพิจารณากำหนดจุดและชนิดของข้อมูลที่จะทำการพยากรณ์น้ำ จำนวนทั้งสิ้น 2 จุดใน แม่น้ำสงครามและแม่น้ำอูน โดยทุกจุดจะเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำมาทำการ Update กับผลการรัน ของแบบจำลอง ได้แก่

- (1) สถานี Kh.98 ตั้งอยู่ในแม่น้ำสงคราม ที่บ้านท่ากกแดง อ.เซกา จ.หนองคาย
- (2) สถานี Kh.54 ตั้งอยู่ในแม่น้ำอูน ที่บ้านนาหว้า อ.นาหว้า จ.นครพนม

โดยมีการตั้งค่าแบบจำลอง MIKE11 - DA ดังแสดงในภาพที่ 18 และจากการพิจารณาเหตุการณ์น้ำหลากในอดีตช่วงปี 2547 - 2549 พบว่าลุ่มน้ำสงครามและแม่น้ำอูน จะประสบกับปัญหาอุทกภัยสูงสุดในปี พ.ศ. 2547 โดยที่สถานี Kh.98 และ Kh.54 มีปริมาณ การไหลสูงสุดเท่ากับ 667.345 (ณ วันที่ 27 ก.ย.), และ 320 (ณ วันที่ 12 ก.ย.) ลบ.ม.ต่อวินาที ตามลำดับ การทดสอบรันโดยตั้งค่าช่วง Hindcast Period เท่ากับ 3 วันย้อนหลัง และค่าช่วง Forecast Period เท่ากับ 3 วันล่วงหน้า และทำการพยากรณ์น้ำต่อเนื่องทุกๆ 3 วัน โดยผลการพยากรณ์น้ำ ที่สถานีวัดน้ำท่าทั้งสองแห่งได้แก่ สถานี Kh.98 ในแม่น้ำสงครามและสถานี Kh.54 ในแม่น้ำอูน จะถูกตรวจสอบค่าความแม่นยำในรูปของค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จริงกับ ค่าระดับน้ำที่แบบจำลองพยากรณ์น้ำล่วงหน้าออกไปตั้งแต่ 1 ถึง 3 วัน จากสมการที่ (14) ดังนี้

$$\epsilon = \left| \frac{WL_{obs} - WL_{sim}}{WL_{obs}} \right| \times 100 \quad (14)$$

เมื่อ  $\epsilon$  = ค่าความคลาดเคลื่อน (หน่วยเป็น ร้อยละ)

$WL_{obs}$  = ค่าระดับน้ำรายวันที่ตรวจวัดได้จริง (หน่วยเป็น เมตร)

$WL_{sim}$  = ค่าระดับน้ำรายวันที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลอง  
(หน่วยเป็น เมตร)

หมายเหตุ ค่าระดับน้ำนั้นวัดจากความลึกที่องน้ำขึ้นมาถึงผิวน้ำ

เมื่อได้ผลจากการรันของแบบจำลองมาครบแล้วจะนำมาเปรียบเทียบ/ตรวจสอบ ผลว่าค่าความแม่นยำของแบบจำลองมีมากหรือน้อยเพียงไร อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่โดยใช้

สมการต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว และจะทำการสรุปผลเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงในสนามว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองคือผลการพยากรณ์น้ำนั้นจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงหรือไม่

The screenshot displays the MIKE Zero software interface for a measurement location. The main window is titled "MIKE Zero - [SK2012\_DA.da11]". The interface is divided into several panels:

- General Panel:**
  - Module Selection:  Measurement update,  Kalman filter,  Weighting function,  Uncertainty prediction
  - Basic Parameters: Ensemble size: 1, First filtering time step: 3
  - Forecast: Time of forecast: 9/1/2004, Forecast type:  Deterministic,  Stochastic
- Measurement Location Panel:**
  - Branch name: SONGKRAM
  - Chainage: 247557.641
  - Variable type: Water level
  - Component number: 0
  - File: [Browse]
  - Weighting Function: Type: Triangular, Amplitude: 1, Lower chainage: 240147.11, Upper chainage: 250756.98, Fade up: 24
- Standard Deviation Panel:**
  - Type: Constant
  - Value/File: [Browse]
  - Lower limit: 0
  - Upper limit: 0
  - Error Forecast Model:  Apply error forecast, AR1
- Table:**

	Branch na	Chainage
1	SONGKRAM	247557.64
2	OUN	149214
- Equation Editor Panel:**
  - Name: AR1, Equation:  $a^*E(-1)$
  - Estimation period from: -72 to 0 relative to time of forecast
  - Parameter Definition: Name: a, Type: Value, Value: 0, Minimum: 0, Maximum: 0.9999, Variable type: Water level, Component number: 0, River name: [Empty], Chainage: 0
- Overview of Error Forecast Model Equations Table:**

	Name	Equation	From	To
1	AR1	$a^*E(-1)$	-72	0
- Overview of Equation Parameters Table:**

	Name	Type
1	a	Value

ภาพที่ 18 การตั้งค่าต่างๆในแบบจำลอง MIKE11 - DA

## ผลและวิจารณ์

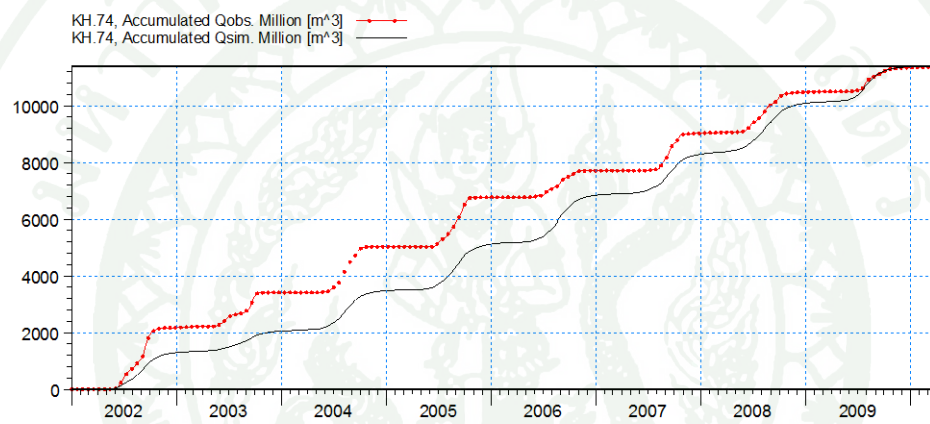
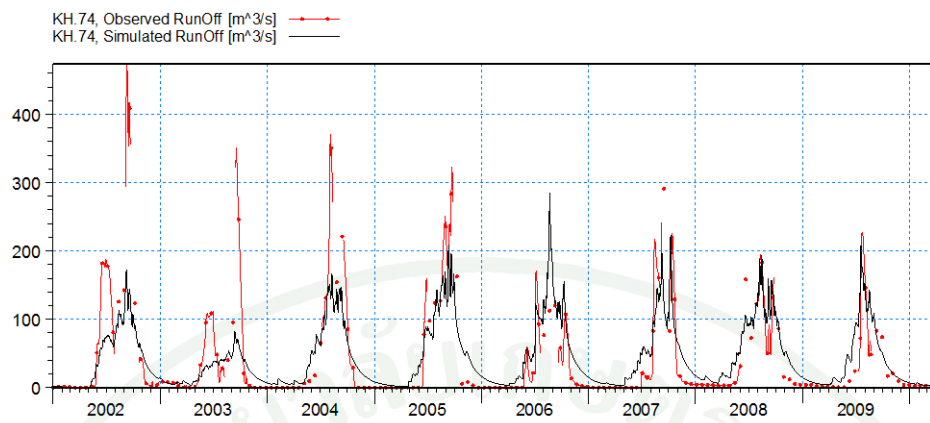
### ผล

#### 1. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า MIKE11 - NAM

สถานี Kh. 74 มีผลการเปรียบเทียบและผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองแสดงได้ดังภาพที่ 19 โดยจากรูปส่วนแรกด้านบนจะแสดงการพล็อตกราฟระหว่างค่าปริมาณการไหลที่ตรวจวัดได้จริงที่สถานี Kh. 74 (เส้นประ) กับค่าปริมาณการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลองฯ (เส้นทึบ) ส่วนกราฟตรงกลางถัดลงมาเป็นค่าปริมาณน้ำท่าสะสม (หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร) ซึ่งคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟด้านบนระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยสามารถสรุปค่าทางสถิติที่สำคัญได้แก่ ค่า  $R^2 = 0.604$  และค่า WBL (Water Balance Level) เท่ากับ  $-0.4\%$  ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11 - NAM ดังตารางที่ 10


สถานี 022701 มีผลการเปรียบเทียบและผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองแสดงได้ดังภาพที่ 20 โดยจากรูปส่วนแรกด้านบนจะแสดงการพล็อตกราฟระหว่างค่าปริมาณการไหลที่ตรวจวัดได้จริงที่สถานี 022701 (เส้นประ) กับค่าปริมาณการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลองฯ (เส้นทึบ) ส่วนกราฟตรงกลางถัดลงมาเป็นค่าปริมาณน้ำท่าสะสม (หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร) ซึ่งคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟด้านบนระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยสามารถสรุปค่าทางสถิติที่สำคัญได้แก่ ค่า  $R^2 = 0.674$  และค่า WBL (Water Balance Level) เท่ากับ  $8.8\%$  ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11 - NAM ดังตารางที่ 11



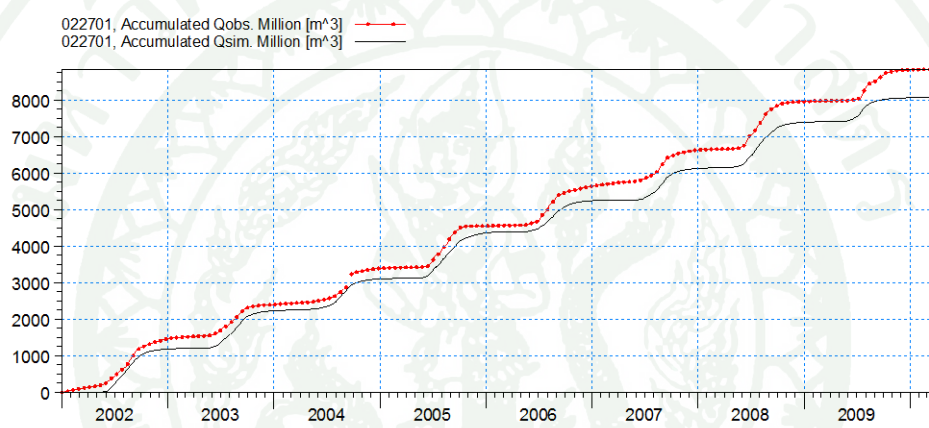
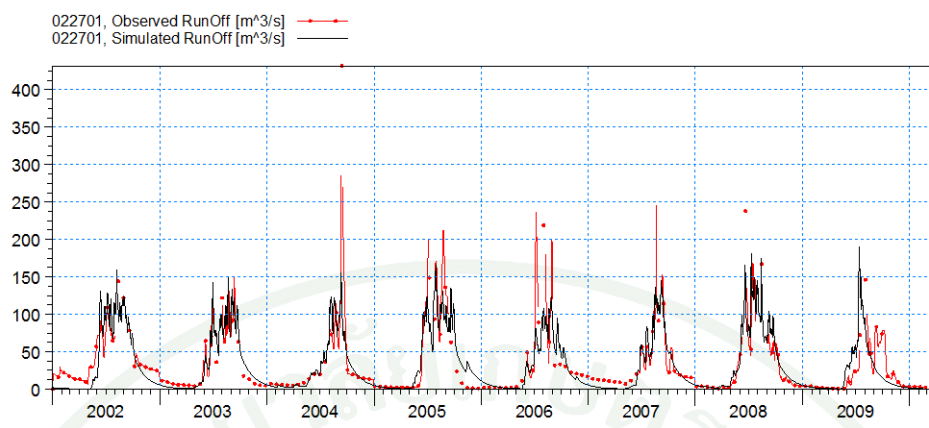


D:\THESES\_TAOMIKE\_11\RR\_parameter\RR\_KH74\RRcalibration\KH74.dfo

D:\THESES\_TAOMIKE\_11\RR\_parameter\RR\_KH74\RRcalibration\KH74.dfo


		Client:	NAM autocalibration	MIKEZero
		Project:	Results	
Parameterfile	Date:	R2=0.604, WBL= -0.4% (obs=1428mm/y, sim=1433mm/y)		Drawing no.
RR_Kh74.rr11	28/ 1/2013 14: 1			
	Init:			

ภาพที่ 19 ผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM ที่สถานี Kh.74



D:\\_THESIS\_TAOMIKE\_11RR\_parameterRR\_022701RRcalibration022701.dwg

D:\\_THESIS\_TAOMIKE\_11RR\_parameterRR\_022701RRcalibration022701.dwg

		Client: NAM autocalibration		MIKEZero
		Project: Results		
Parameterfile RR_022701.rr11	Date: 28/ 1/2013 14:15	R2=0.674, WBL= 8.8% (obs=1898mm/y, sim=1731mm/y)	Drawing no.	
	Init:			

ภาพที่ 20 ผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM ที่สถานี 022701

โดยผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM สรุปออกมาเป็นค่าดัชนีทางสถิติ ได้ดังในตารางที่ 9 โดยค่า  $r$  มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.701 - 0.930 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ตารางที่ 9 ค่าทางสถิติที่ได้จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM

ช่วง พ.ศ.	สถานีวัดน้ำทำในลุ่มน้ำสงคราม					
	Kh.74	022701	Kh.74	022701	Kh.74	022701
	ค่า $r$		ค่า EI (%)		ค่า RMSE (cms)	
พ.ศ.2547	0.892	0.738	68.55	52.55	45.83	38.11
พ.ศ.2548	0.930	0.892	76.71	77.70	41.19	25.66
พ.ศ.2549	0.845	0.819	16.60	60.62	38.75	29.88
พ.ศ.2550	0.845	0.891	66.53	79.24	42.68	17.78
พ.ศ.2551	0.913	0.905	79.73	80.84	25.11	24.15
พ.ศ.2552	0.819	0.701	55.49	47.05	30.52	33.29

ตารางที่ 10 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11-NAM ของ  
สถานี Kh. 74

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ
Umax	18.9
Lmax	146
CQOF	0.205
CKIF	219.8
CK1,2	49.5
TOF	0.778
TIF	0.983
TG	0.215
CKBF	1071
Carea	1
Sy	0.1
GWLBF0	10
GWLBF1	0
Cqlow	0
Cklow	1747.95

ตารางที่ 11 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11- NAM ของ  
สถานี 022701

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ
Umax	11.6
Lmax	101
CQOF	0.355
CKIF	211.4
CK1,2	45.8
TOF	0.952
TIF	0.569
TG	0.0742
CKBF	1031
Carea	1
Sy	0.1
GWLBF0	10
GWLBF1	0
Cqlow	0
Cklow	4479.96

## 2. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ หรือ MIKE11 - HD

การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ หรือ MIKE11 - HD นั้นมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบฯเพียงตัวเดียว คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ หรือ Manning'n ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ Manning'n จะแสดงถึงความเสียดทานต่อการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด โดยการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11 - HD จะใช้การไหลแบบ Steady State ซึ่งดำเนินการโดยการพิจารณาที่สถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลำน้ำสายหลัก แม่น้ำสงครามเป็นลำน้ำสายหลัก โดยมีลำน้ำอื่นๆมาบรรจบ เช่น ห้วยคองไหลมาบรรจบที่ กม. 174+07 ห้วยอีไหลมาบรรจบที่กม. 305+583 แม่น้ำยามไหลมาบรรจบที่กม. 333+531 และแม่น้ำอุบลไหลมาบรรจบที่ กม. 359+151 โดยที่แม่น้ำสงครามมีจุดบรรจบแม่น้ำโขงที่กม. 418+530 โดยมีข้อมูลตำแหน่งรูปตัดขวางลำน้ำทั้งหมดในกลุ่มน้ำสงครามจำนวน 418 รูปตัด และมีลักษณะของแม่น้ำต่างๆดังแสดงในภาพที่ 21 -25

ซึ่งผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11 - HD ในรูปของโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับระดับน้ำ (Rating Curves) จากการสมมุติให้มีการไหลแบบ Steady State สำหรับสถานีวัดน้ำท่าทั้งห้าแห่งในดังแสดงในภาพที่ 26 เรื่อยไปจนถึงภาพที่ 30 ตามลำดับ ทั้งนี้สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง HD ซึ่งได้จากการลองผิดลองถูกจนได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ที่เหมาะสมและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning'n) ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง HD

ชื่อลำน้ำ	ตำแหน่ง	ช่วงลำน้ำ	Manning'n
แม่น้ำสงคราม	ในลำน้ำ	สถานี Kh.93 - จุดบรรจบแม่น้ำโขง	0.067
แม่น้ำยาม	ในลำน้ำ	ต้นน้ำ - จุดบรรจบแม่น้ำสงคราม	0.033
แม่น้ำอุบล	ในลำน้ำ	ท้ายเขื่อนน้ำอุบล - สถานี Kh.54	0.050
ห้วยคอง	ในลำน้ำ	ต้นน้ำ - จุดบรรจบแม่น้ำสงคราม	0.033
ห้วยอี	ในลำน้ำ	ต้นน้ำ - จุดบรรจบแม่น้ำสงคราม	0.033

หลังจากนั้นได้ทดลองประยุกต์ใช้แบบจำลอง HD ในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาหาระยะเวลาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากที่ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่แตกต่างกันสี่ค่า ได้แก่ 100 500 1,000 และ 1,500 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ โดยจำลองการไหลของน้ำหลากตั้งแต่ต้นน้ำคือสถานี Kh.93 จนถึงจุดบรรจบแม่น้ำโขง รวมระยะทางสะสม 413.831 กิโลเมตร โดยคิดเป็นระยะเวลาการเดินทางของน้ำหลากตั้งแต่ต้นน้ำถึงจุดบรรจบแม่น้ำโขง เป็นเวลาประมาณ 26 วัน 13 ชั่วโมง สำหรับปริมาณการไหลสูงสุดเท่ากับ 100 ลบ.ม./วินาที, 19 วัน 14 ชั่วโมง สำหรับปริมาณการไหลสูงสุดเท่ากับ 500 ลบ.ม./วินาที, 16 วัน 19 ชั่วโมง สำหรับปริมาณการไหลสูงสุดเท่ากับ 1,000 ลบ.ม./วินาที และ 14 วัน 11 ชั่วโมง สำหรับปริมาณการไหลสูงสุดเท่ากับ 1,500 ลบ.ม./วินาที โดยแสดงเป็นแผนภูมิระยะเวลาการเดินทางของน้ำหลากได้ในภาพที่ 31 และ 32



ภาพที่ 21 ลักษณะของแม่น้ำสงครามที่ใช้ในการศึกษา





ภาพที่ 22 ลักษณะของแม่น้ำยามที่ใช้ในการศึกษา



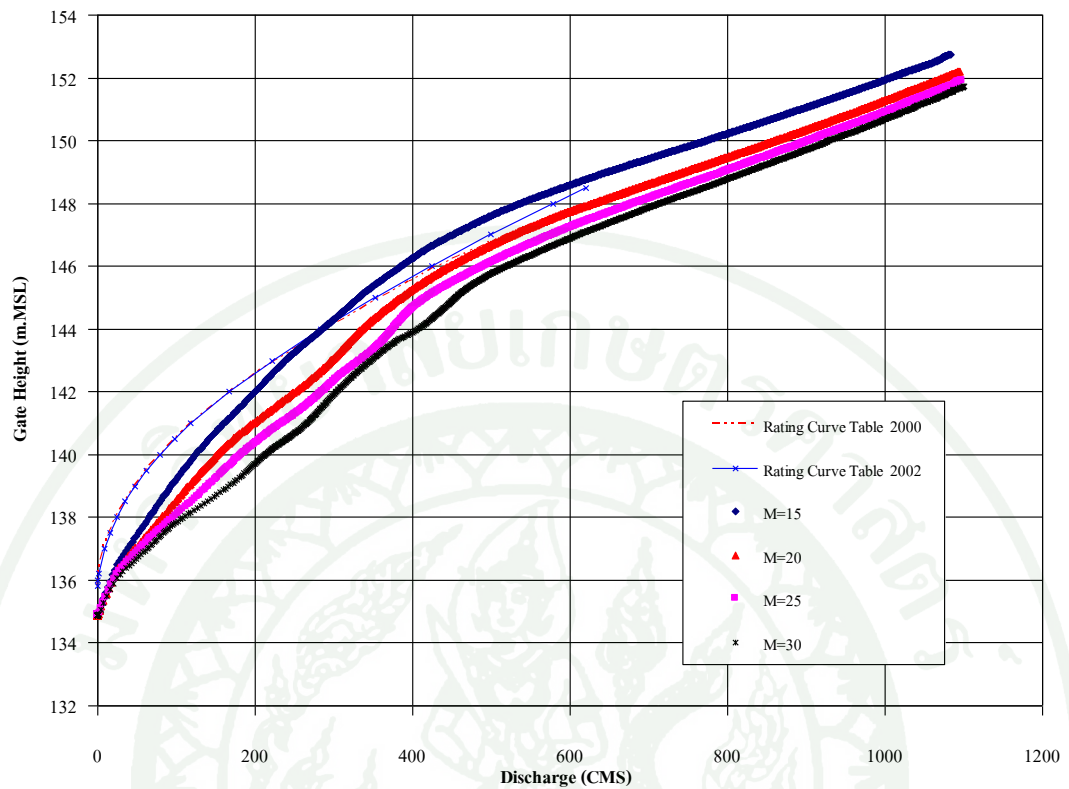
ภาพที่ 23 ลักษณะของแม่น้ำอูนที่ใช้ในการศึกษา



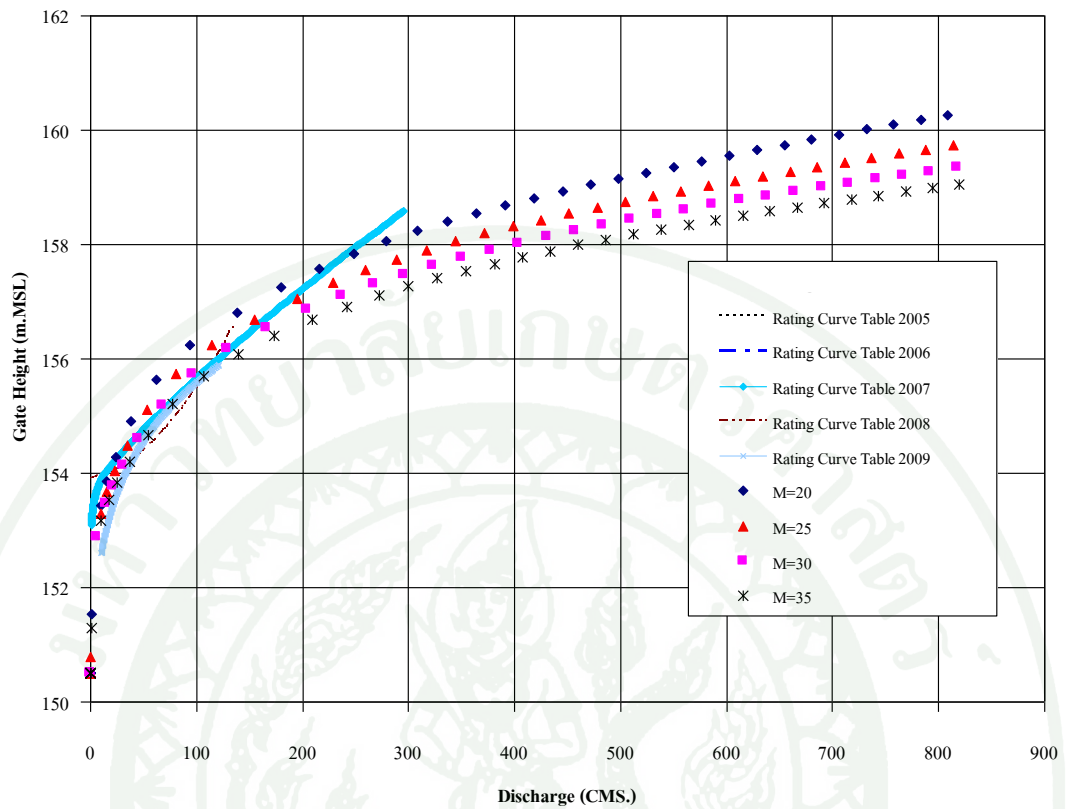
ภาพที่ 24 ลักษณะของห้วยคองที่ใช้ในการศึกษา



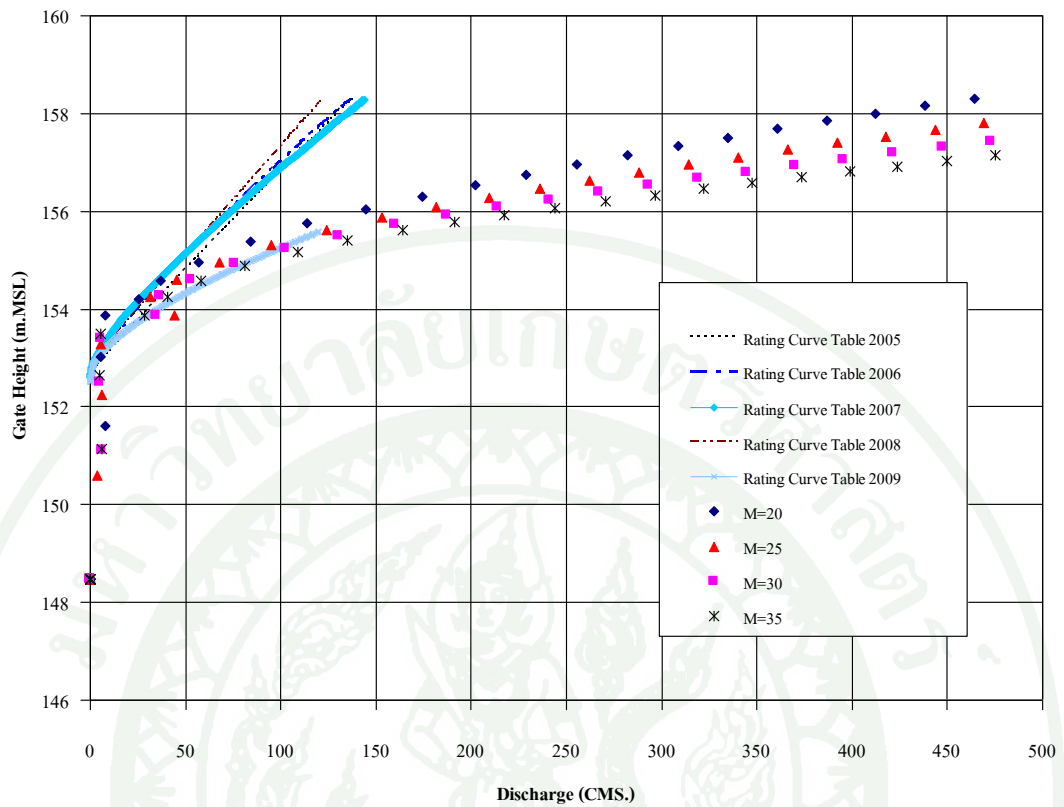
ภาพที่ 25 ลักษณะของห้วยอีที่ใช้ในการศึกษา



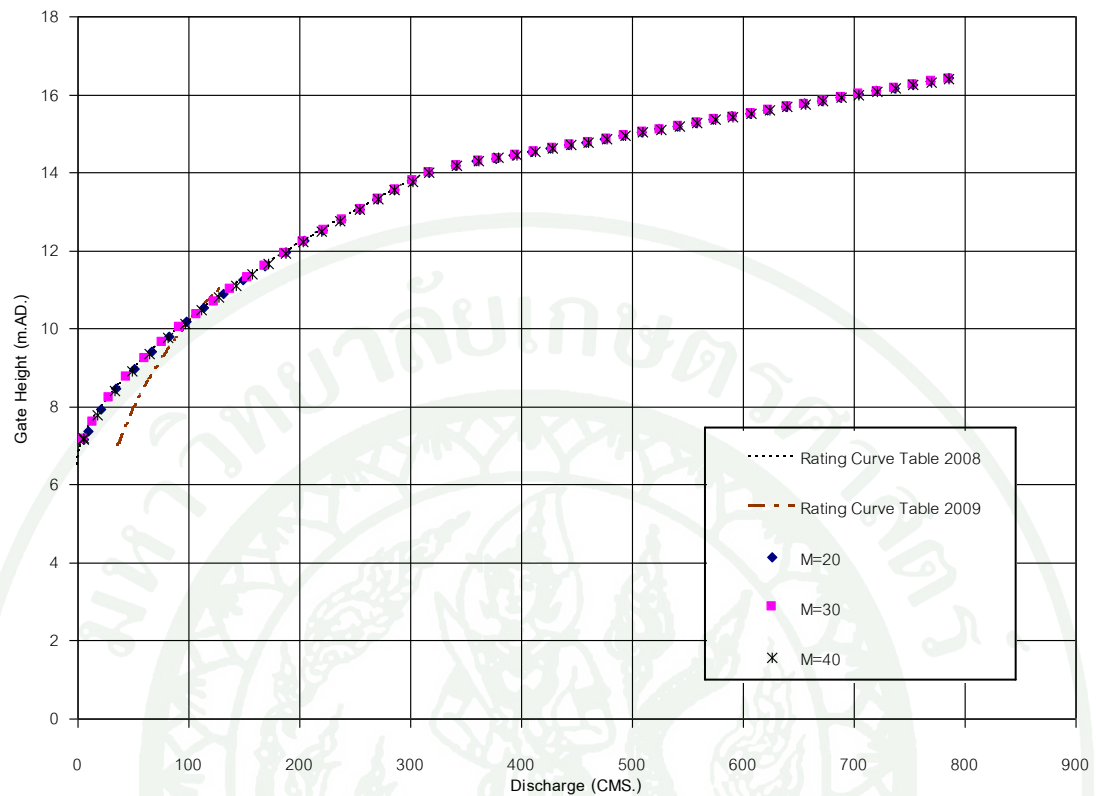
ภาพที่ 26 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในแม่น้ำสงคราม โดยใช้ Rating Curves ที่สถานี Kh.98



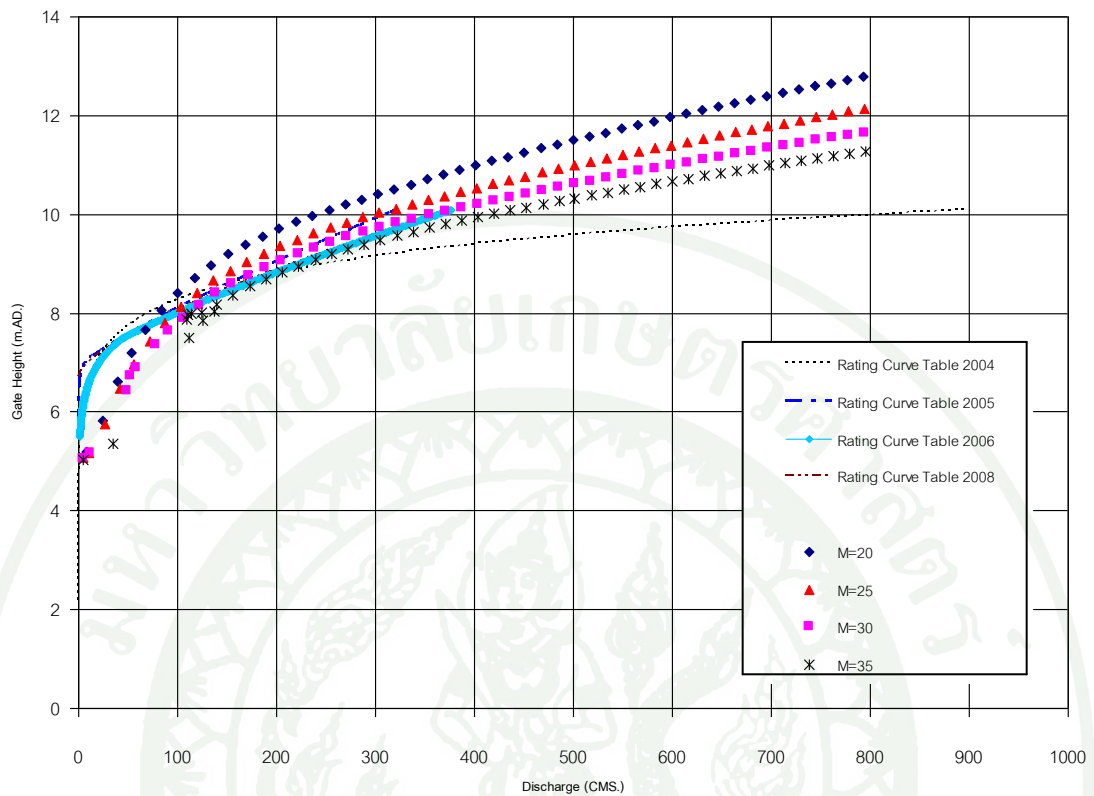
ภาพที่ 27 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในแม่น้ำยาม โดยใช้ Rating Curves ที่สถานี 022801



ภาพที่ 28 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในแม่น้ำอุน โดยใช้ Rating Curves  
ที่สถานี 022901

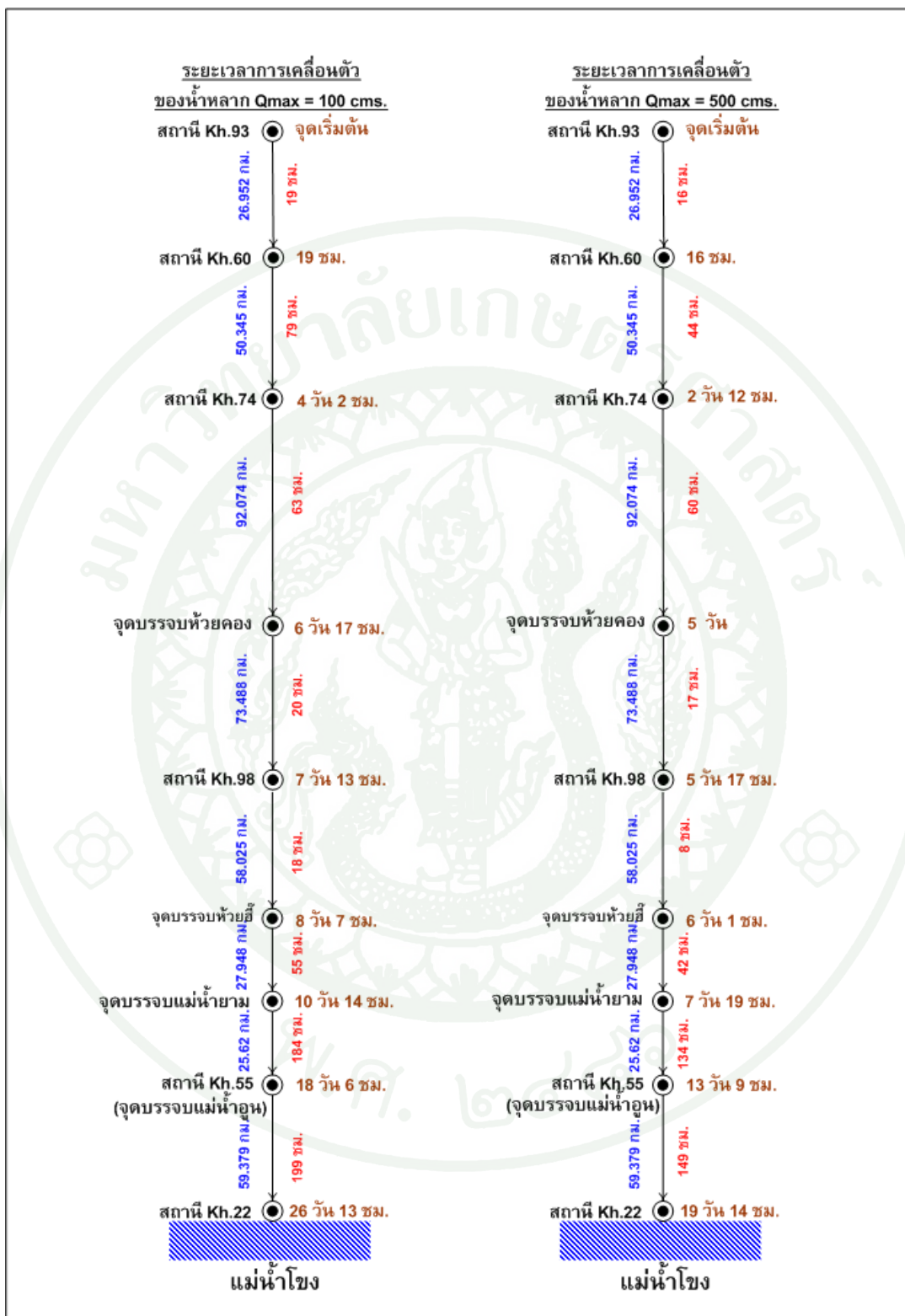


ภาพที่ 29 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในห้วยคอง โดยใช้ Rating Curves  
ที่สถานี 022601

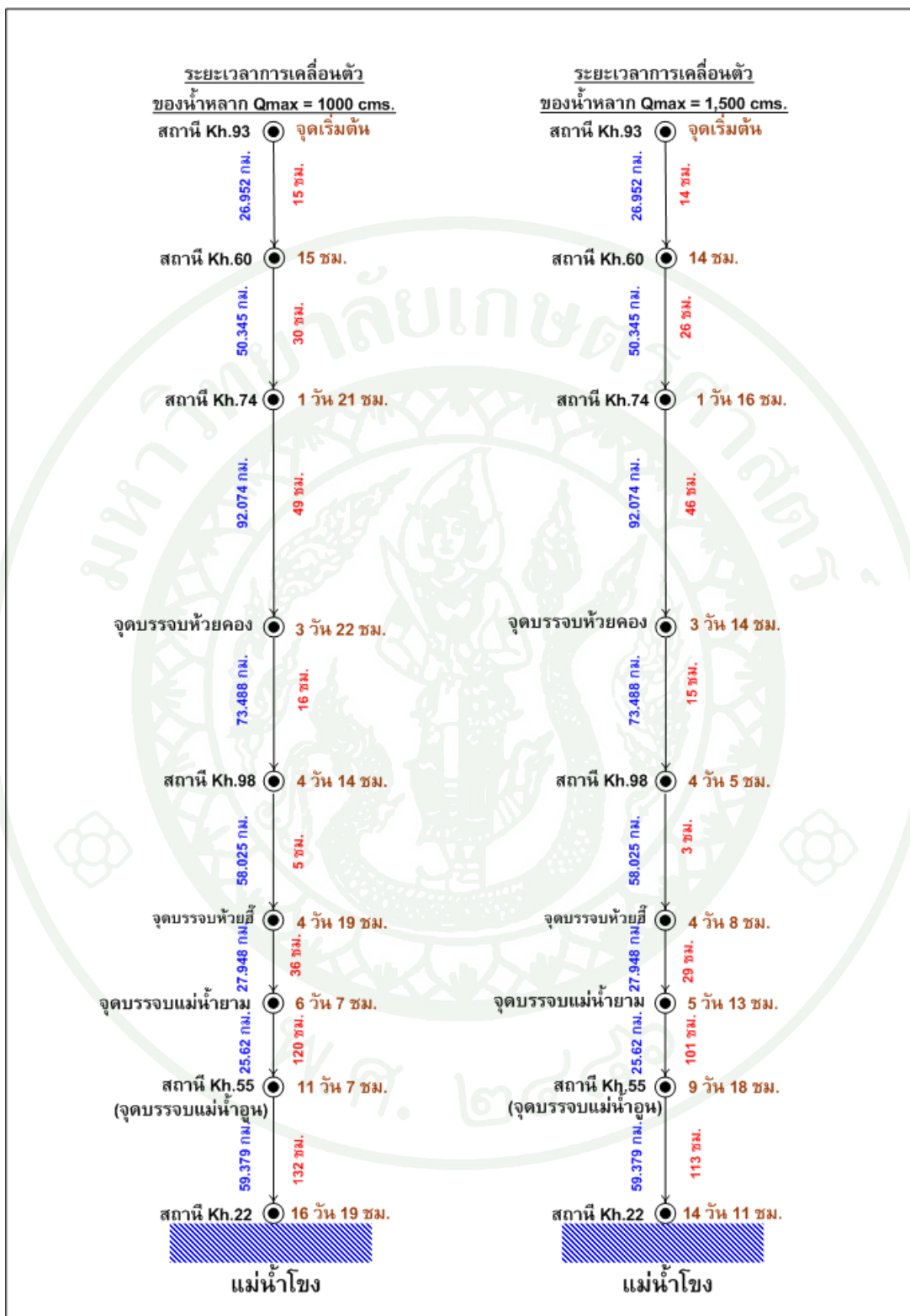


ภาพที่ 30 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ในหัวข้อนี้ โดยใช้ Rating Curves  
ที่สถานี 022701





ภาพที่ 31 ระยะเวลาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากที่ค่าอัตราการไหลสูงสุด 100 cms และ 500 cms



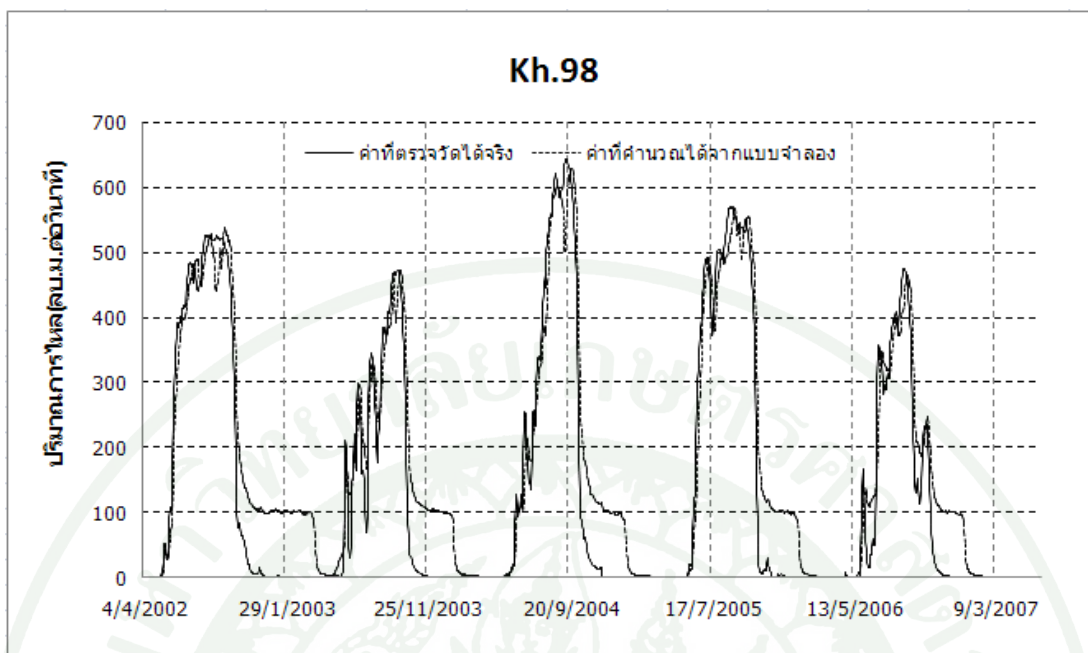
ภาพที่ 32 ระยะเวลาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากที่ค่าอัตราการไหลสูงสุด 1,000 cms และ 1,500 cms

### 3. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD

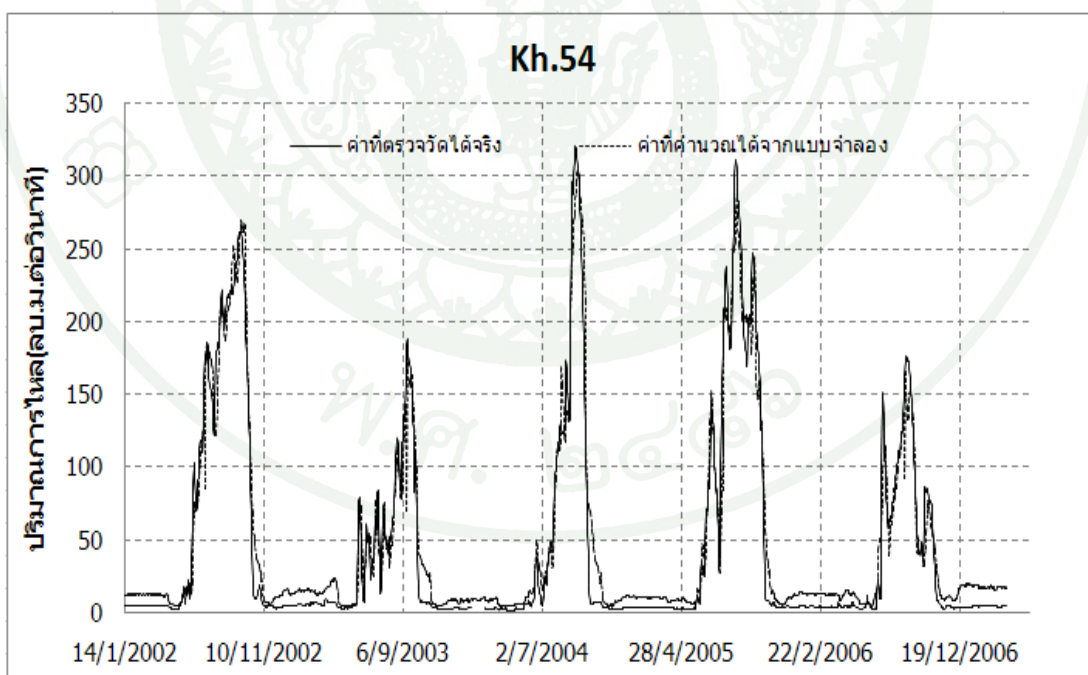
การเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD สำหรับเหตุการณ์อุทกภัยในอดีตจากสถานีวัดน้ำท่า สถานี Kh.98 และสถานี Kh.54 โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณการไหล (Discharge) ของสถานี Kh.98 และสถานี Kh.54 ในช่วงปี พ.ศ. 2545 - 2549 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM/HD สามารถสรุปออกมาเป็นค่าดัชนีทางสถิติได้ดังในตารางที่ 13 และแสดงผลเป็นกราฟปริมาณการไหลของสถานี Kh.98 ดังแสดงในภาพที่ 33 และของสถานี Kh.54 ในภาพที่ 34 โดยกราฟทั้งสองแสดงให้เห็นถึงผลของการคำนวณปริมาณการไหลได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง

ตารางที่ 13 ค่าทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD

ช่วงปี พ.ศ.	สถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำสงคราม					
	Kh.98	Kh.54	Kh.98	Kh.54	Kh.98	Kh.54
	ค่า r		ค่า EI (%)		ค่า RMSE (cms)	
พ.ศ. 2545	0.971	0.985	92.84	96.72	55.23	15.49
พ.ศ. 2546	0.936	0.955	60.81	86.79	79.03	14.26
พ.ศ. 2547	0.964	0.976	89.47	94.20	67.06	18.78
พ.ศ. 2548	0.967	0.983	91.03	95.13	63.67	18.27
พ.ศ. 2549	0.937	0.966	80.89	87.63	61.53	14.09



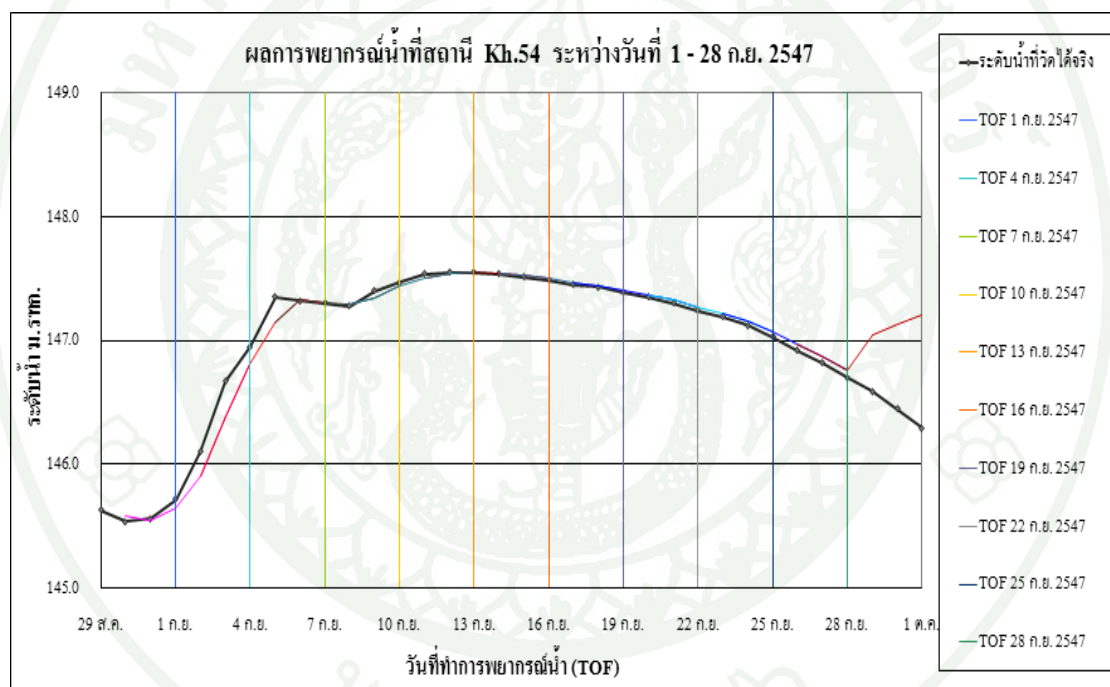
ภาพที่ 33 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการไหลที่สถานี Kh.98



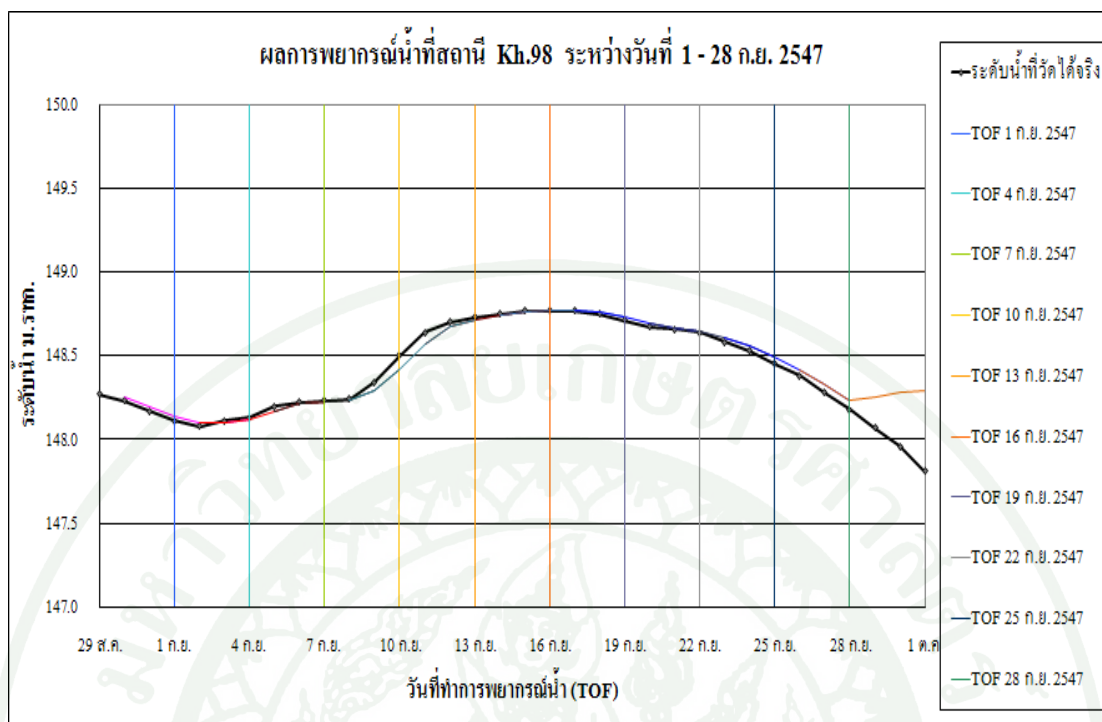
ภาพที่ 34 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการไหลที่สถานี Kh.54

#### 4. ผลการจำลองการพยากรณ์น้ำโดยแบบจำลอง MIKE11- DA

ผลการจำลองการพยากรณ์น้ำโดย MIKE11- DA ได้ผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้าโดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1, 4, 7, ไปเรื่อยๆ ทุกๆ 3 วัน จนถึงสิ้นสุดวันที่ 28 กันยายน 2547 ดังแสดงในตารางผนวก ซึ่งสรุปผลความแม่นยำของผลการพยากรณ์ในรูปของค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้จริงกับค่าที่แบบจำลองพยากรณ์น้ำล่องหน้าออกไปตั้งแต่ 1 ถึง 3 วันในตารางที่ 14 และได้แสดงตัวอย่างกราฟผลการพยากรณ์น้ำของสถานี Kh.54 และสถานี Kh.98 ไว้ในภาพที่ 35 และภาพที่ 36 ตามลำดับ



ภาพที่ 35 ผลการพยากรณ์น้ำที่สถานี Kh.54 ณ TOF ระหว่างวันที่ 1 ถึง 28 กันยายน 2547



ภาพที่ 36 ผลการพยากรณ์น้ำที่สถานี Kh.98 ณ TOF ระหว่างวันที่ 1 ถึง 28 กันยายน 2547

โดยในภาพที่ 35 และภาพที่ 36 เส้นกราฟสีดำคือระดับน้ำที่วัดได้จริง เส้นสีแนวตั้งแต่ละเส้นจะเป็นวันที่ทำการพยากรณ์น้ำ ส่วนเส้นกราฟด้านซ้ายของเส้นสีแนวตั้งนั้นจะแสดงถึง Hindcast Period หรือช่วงเวลาย้อนหลัง ส่วนเส้นกราฟด้านขวาของเส้นสีแนวตั้งนั้นก็คือ Forecast Period หรือช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำล่วงหน้า จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงของการพยากรณ์ในแต่ละช่วงการพยากรณ์น้ำล่วงหน้า จะมีค่าความแม่นยำมาก และจากตารางที่ 14 พบว่า แบบจำลอง DA ให้ผลการพยากรณ์น้ำเป็นที่น่าพอใจในระดับดีมาก โดยผลการพยากรณ์ระดับน้ำในช่วงหนึ่งวันล่วงหน้าของสถานีวัดน้ำท่าทั้งสองแห่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.771 และอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 ถึงร้อยละ 5.906 สำหรับผลการพยากรณ์น้ำในช่วงสองวันล่วงหน้าจะมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.932 และอยู่ในช่วงร้อยละ 0.029 ถึงร้อยละ 9.184 และผลการพยากรณ์น้ำในวันที่สามจะมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.991 และอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 ถึงร้อยละ 9.184

โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนอาจจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อการพยากรณ์น้ำล่วงหน้าออกไปหลายวันขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาแปลงค่าความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดไปเป็นค่าความแม่นยำยกตัวอย่างเช่น ที่สถานี Kh.98 (ตารางที่ 14) ผลการพยากรณ์น้ำล่วงหน้าวันที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.433 หรือคิดเป็นค่าความแม่นยำได้เป็นร้อยละ 99.567 เป็นต้น

ตารางที่ 14 สรุปผลการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11- DA ระหว่างวันที่  
1 ถึง 28 กันยายน 2547

ช่วงเวลาการ พยากรณ์น้ำ (Time of Forecast)	ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าตรวจวัดได้จริง กับค่าที่พยากรณ์น้ำได้ด้วยแบบจำลอง MIKE11-DA					
	สถานี Kh.98			สถานี Kh.54		
	พยากรณ์ วันที่ 1	พยากรณ์ วันที่ 2	พยากรณ์ วันที่ 3	พยากรณ์ วันที่ 1	พยากรณ์ วันที่ 2	พยากรณ์ วันที่ 3
1 ก.ย. 2547	0.090	0.090	0.060	2.665	3.701	3.701
4 ก.ย. 2547	0.210	0.060	0.030	2.387	0.180	0.180
7 ก.ย. 2547	0.030	0.297	0.471	0.120	0.712	0.712
10 ก.ย. 2547	0.408	0.174	0.087	0.408	0.058	0.058
13 ก.ย. 2547	0.058	0.058	0.000	0.058	0.176	0.176
16 ก.ย. 2547	0.000	0.058	0.116	0.236	0.118	0.118
19 ก.ย. 2547	0.116	0.029	0.058	0.239	0.300	0.300
22 ก.ย. 2547	0.176	0.147	0.236	0.304	0.429	0.429
25 ก.ย. 2547	0.207	0.298	0.300	0.692	0.637	0.637
28 ก.ย. 2547	1.123	1.950	2.974	5.906	9.184	9.184
ค่าความ คลาดเคลื่อน มากที่สุด	1.123	1.950	2.974	5.906	9.184	9.184
ค่าความ คลาดเคลื่อน น้อยที่สุด	0.000	0.029	0.000	0.058	0.058	0.058
ค่าความ คลาดเคลื่อน เฉลี่ย	0.242	0.316	0.433	1.301	1.550	1.550

## วิจารณ์ผล

1. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า MIKE11 - NAM มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่ก็ยังนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจาก ข้อจำกัดด้านข้อมูลด้านเข้า คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่นำมาใช้นั้นเป็นข้อมูลรายวัน และในบางสถานีก็ไม่มีข้อมูล

2. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ หรือ MIKE11- HD พบว่า โค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับระดับน้ำ (Rating Curves) ของสถานีวัดน้ำท่า ที่นำมาใช้นั้น ช่วงของข้อมูลในบางปียังไม่ครอบคลุมถึงช่วงที่มีอัตราการไหลสูงๆ และในบางสถานีก็มีข้อมูลที่น้อยเกินไป ซึ่งอาจทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ได้มา มีความคลาดเคลื่อนไป

3. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM ร่วมกับ HD ได้ผลการคำนวณปริมาณการไหลที่ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง โดยเฉพาะในช่วงที่มีปริมาณการไหลสูงๆ ส่วนช่วงที่มีปริมาณน้ำน้อยนั้น ค่าปริมาณการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลองจะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากมีการใช้น้ำของเกษตรกรในช่วงฤดูแล้งจึงทำให้ปริมาณน้ำที่ตรวจวัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่แบบจำลองคำนวณได้

4. ผลของการพยากรณ์น้ำจากแบบจำลอง MIKE11- DA ในช่วงขาลงของกราฟนั้น จะมีความแม่นยำมากกว่าผลของการพยากรณ์ในช่วงขาขึ้นเนื่องจากในช่วงขาลงนั้นค่าระดับน้ำในแม่น้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่ต้นน้ำเพียงอย่างเดียว ไม่ขึ้นกับปริมาณฝนที่ตกในช่วงการพยากรณ์น้ำ

5. ผลการพยากรณ์น้ำจากแบบจำลอง MIKE11- DA จะได้ผลการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงหรือไม่ขึ้น เป็นผลมาจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง NAM และ HD โดยตรง ถ้าค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าวัดจริงมากที่สุดแล้วนั้น จะทำให้ผลพยากรณ์ดีขึ้นมากตามไปด้วย



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

พื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม เป็นลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง ซึ่งเป็นหนึ่งในลุ่มน้ำหลักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นับว่าเป็นลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่และเป็นลุ่มน้ำที่มีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะเกิดอุทกภัยได้ทุกปี โดยสภาพพื้นที่ของตัวลุ่มน้ำเองก็ดี เป็นที่ราบลุ่ม อีกทั้งยังอยู่ติดกับปากแม่น้ำด้วย ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการนำเหตุการณ์อุทกภัยในปี พ.ศ. 2547 มาใช้ในการทดลองกับแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ โดยที่ผลของการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองการพยากรณ์น้ำนั้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก

แบบจำลอง DA ให้ผลการพยากรณ์เป็นกราฟของระดับน้ำที่ใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำท่าทั้งสองแห่งในลุ่มน้ำสงครามซึ่งได้แก่ สถานี Kh.98 และสถานี Kh.54 ได้อย่างแม่นยำ โดยจะสามารถสรุปผลการพยากรณ์ระดับน้ำในช่วงหนึ่งวันล่วงหน้า, ในช่วงสองวันล่วงหน้า และในช่วงสามวันล่วงหน้า ได้ว่ามีค่าความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 99.228, 99.067 และ 99.008 ตามลำดับ

ดังนั้นแบบจำลองดังกล่าวจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบโทรมาตรที่ดำเนินการติดตั้งไว้แล้วได้ เพื่อช่วยแจ้งเตือนภัยให้กับประชาชนและหน่วยงานในพื้นที่ได้ทราบถึงแนวโน้ม และสามารถคาดการณ์ระดับน้ำในลุ่มน้ำสงครามล่วงหน้าได้ ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียเนื่องจากอุทกภัยลงได้

### ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าแบบจำลอง MIKE11- DA จะให้ผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าได้อย่างค่อนข้างแม่นยำ แต่จากการศึกษาครั้งนี้ได้ข้อสังเกตว่า การเลือกใช้ข้อมูลการตรวจวัดที่จะนำมาใช้ update นั้น หากเลือกใช้ข้อมูลปริมาณการไหล แบบจำลองดังกล่าวมักจะไม่สามารถคำนวณค่าปริมาณการไหลได้แม่นยำเมื่อเทียบกับผลการพยากรณ์อื่นที่นำค่าระดับน้ำมาใช้ update

ชุดของแบบจำลอง MIKE11- NAM/HD/DA ก็นับว่าเป็นแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ (River Basin Modelling) และการพยากรณ์น้ำ (Flood Forecasting) ที่มีการแสดงผลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและสามารถแสดงผลทั้งในกราฟ และตาราง รวมทั้งมีความเหมาะสมที่จะนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริงกับระบบโทรมาตร เพื่อช่วยในการการบริหารจัดการน้ำท่วมได้ รวมถึงการแจ้งเตือนให้ประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยให้เตรียมพร้อมรับมือได้ทันเวลา อีกทั้งยังสามารถพัฒนาและนำไปใช้ในลุ่มน้ำอื่นๆต่อไปได้อีกด้วย

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2554. โครงการศึกษาวางระบบและติดตั้งระบบ  
โทรมาตรเพื่อพยากรณ์น้ำและเตือนภัยลุ่มน้ำยม ห้วยน้ำอูน และแม่น้ำสงครามตอนบน-  
ล่าง จังหวัดสกลนคร. โรงพิมพ์กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.
- กานดา คงธรรม. 2545. การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำน่าน.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เชวงศักดิ์ ฤทธิรอด. 2547. การศึกษาสภาพน้ำท่วมและมาตรการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำลำตะโค่ง  
โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2545. เอกสารประกอบวิชาการจำลองสถานะการเกิดน้ำท่วม .ภาควิชา  
วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ไพรัตน์ วิรุฒมเสน. 2536. การพัฒนาแหล่งน้ำในลุ่มน้ำสวาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยุพิน จันดา. 2541. การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำบางปะกง โดยใช้แบบจำลอง MIKE 11.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิษุวัตก์ แต่สมบัติ. 2546. การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดของลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา  
และลุ่มน้ำคลองหุมพร โดยแบบจำลองทางอุทกวิทยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- \_\_\_\_\_. และ กิติพงษ์ ทองเชื้อ. 2554. การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11-  
Data Assimilation เพื่อการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำชีตอนบน. การประชุมวิชาการ  
วิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยมหิดล 18 - 20 พฤษภาคม 2554.

วีระพล แต่สมบัติ. 2531. **อุทกวิทยาประยุกต์**. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2533. **หลักอุทกวิทยา**. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

ศิริกัญญา แสงสว่าง. 2547. การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองทางอุทกวิทยา ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

DHI Water Environment and Health. 2007. **MIKE11-A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual**. DHI, Denmark.

Evans, J.M. n.d. **The Water Cycle**. U.S. Geological Survey. Available Source: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>, March 20, 2012.





ภาคผนวก ก  
ข้อมูลอุตุ – อุทกวิทยาของกลุ่มน้ำสงคราม

ตารางผนวกที่ ก1 สถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ในการศึกษา

ลำดับ	รหัส	ที่ตั้ง	จังหวัด	พิกัด(UTM)	
				UTM_E	UTM_N
1	24062	ที่ว่าการอำเภอศรีสงคราม	นครพนม	420871	1948752
2	24232	ที่ว่าการอำเภอนาทม	นครพนม	400090	1972234
3	30072	ที่ว่าการอำเภอเซกา	หนองคาย	389338	1982227
4	30082	ที่ว่าการอำเภอศรีเชียงใหม่	สกลนคร	350915	1985523
5	30190	ห้วยสาม(TNK.107)	หนองคาย	335043	1999782
6	30242	ที่ว่าการอำเภอโซ่พิสัย	หนองคาย	337842	2005447
7	30252	ที่ว่าการอำเภอพรเจริญ	หนองคาย	368739	1990309
8	50023	ที่ว่าการอำเภอสว่างแดนดิน	สกลนคร	336607	1932418
9	50032	ที่ว่าการอำเภอพรรณานิคม	สกลนคร	378042	1918418
10	50042	ที่ว่าการอำเภอวาริชภูมิ	สกลนคร	355471	1912114
11	50062	ที่ว่าการอำเภอวานรนิวาส	สกลนคร	367939	1949595
12	50092	ที่ว่าการอำเภออากาศอำนวย	สกลนคร	392423	1945477
13	50102	อุทยานแห่งชาติภูพาน อ.เมือง	สกลนคร	370641	1907465
14	50150	เหนือห้วยปลาห้าง(TNK.151)	สกลนคร	346066	1905267
15	50160	ล่างห้วยปลาห้าง(TNK.152)	สกลนคร	348101	1907343
16	50170	ห้วยไทรขมิ้นทร์(TNK.37)	สกลนคร	397624	1903684
17	50180	ภูเพ็ก(TNK.38)	สกลนคร	389118	1903574
18	50190	ห้วยหนองบัว(TNK.39)	สกลนคร	366930	1925192
19	50200	ห้วยโพง(TNK.40)	สกลนคร	359379	1923860
20	50210	ห้วยไทรแสง(TNK.70)	สกลนคร	338306	1932438
21	50220	ห้วยน้ำบ่อ(TNK.105)	สกลนคร	393043	1901993
22	50252	ที่ว่าการอำเภอบ้านม่วง	สกลนคร	349770	1974211
23	50262	ที่ว่าการอำเภอพังโคน	สกลนคร	363304	1923125
24	50280	ห้วยกานหลวง(TNK.132)	สกลนคร	330791	1922728

## ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ลำดับ	รหัส	ที่ตั้ง	จังหวัด	พิกัด(UTM)	
				UTM_E	UTM_N
25	50290	ห้วยขาม(TNK.133)	สกลนคร	342689	1963266
26	50310	ห้วยทรวง(TNK.144)	สกลนคร	355116	1966215
27	50322	ที่ว่าการอำเภอส่องดาว	สกลนคร	338835	1918756
28	50330	บ้านท่าห้วยหลวง(Kh.74)	สกลนคร	329498	1970635
29	50362	ที่ว่าการอำเภอกุศุดบก	สกลนคร	373920	1887253
30	50372	ที่ว่าการอำเภอเจริญศิลป์	สกลนคร	344977	1943695
31	50382	ที่ว่าการอำเภอกำตากล้า	สกลนคร	368415	1973525
32	68180	หนองบัว(TNK.80)	อุดรธานี	315371	1921224
33	68212	ที่ว่าการอำเภอบ้านดุง	อุดรธานี	315808	1957410
34	68402	ที่ว่าการอำเภอไชยวาน	สกลนคร	316697	1915103
35	11361	บ้านคำเปี่ยม อ.คำเมือง	กาฬสินธุ์	350075	1871401
36	24052	ที่ว่าการอำเภอท่าอุเทน	นครพนม	457455	1943265
37	24082	ที่ว่าการอำเภอบ้านแพง	นครพนม	417315	1986515
38	30042	ที่ว่าการอำเภอบึงกาฬ	หนองคาย	358342	2030960
39	30062	นิคมสร้างตนเองโพนพิสัย	หนองคาย	313208	2018584
40	30170	ห้วยแพ้วหึง(TNK.4)	หนองคาย	304642	1997483
41	30220	ห้วยสหาย(TNK.138)	หนองคาย	394431	2023038
42	50052	หมวดการทางภูพาน(สร้างค้อ)	สกลนคร	377525	1866852
43	50112	ที่ว่าการอำเภอกุสุมาลย์	สกลนคร	428711	1916098
44	50122	สภ.สกลนคร	สกลนคร	398952	1892559
45	50350	ห้วยเดียง	สกลนคร	398081	1888625
46	50402	ที่ว่าการอำเภอโพนนาแก้ว	สกลนคร	418049	1906757
47	68032	สำนักงานเกษตรอำเภอหนองหาน	อุดรธานี	299421	1920301



ตารางผนวกที่ ก2 สัดส่วนค่าการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนในระบบลุ่มน้ำสงคราม

รหัสลุ่มน้ำ	ลุ่มน้ำย่อย	รหัสสถานีวัดน้ำฝน																
		24062	24232	30072	30082	30190	30242	30252	50023	50032	50042	50062	50092	พื้นที่รับน้ำฝน	ตารางกิโลเมตร			
SK.01	782	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.035	-	-	-
SK.02	434	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	-	-	-
SK.03	966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0004	-	-	-	-
SK.04	1,107	-	-	-	0.074	0.384	0.112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.05	715	-	-	0.001	0.249	0.004	0.031	0.236	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.06	1,137	-	0.138	0.444	-	-	-	0.003	-	-	0.053	-	-	-	-	-	-	-
SK.07	547	0.321	0.58	-	-	-	-	-	-	-	0.005	-	-	-	-	-	-	-
SK.08	565	0.514	0.138	0.206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.09	159	0.876	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.114
SK.10	799	0.082	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.077	-	-	-	-	0.253
SK.11	611	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.261	0.101	-	-	-	-	-
SK.12	333	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4582	-	-	-	-	-	-
SK.13	464	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.054	-	-	-	-	-
SK.14	1,118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	0.158	-	-
SK.15	119	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.052	-	-	-	0.528	0.374	-
SK.16	1,109	0.054	0.015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	-	-	0.93
SK.17	836	-	-	0.181	-	-	-	0.699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.18	354	-	-	-	-	-	0.695	0.008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.19	990	-	0.344	0.656	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

รหัสคู่มือฯ	กลุ่มย่อย	รหัสสถานีวิจัย																
		50102	50150	50160	50170	50180	50190	50200	50210	50220	50252	50262	50280					
SK.01	782	-	0.058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11
SK.02	434	-	-	-	-	-	-	0.068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.278
SK.03	966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.04	1,107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.041	-	-	-	-
SK.05	715	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.128	-	-	-	-
SK.06	1,137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.07	547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.08	565	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.09	159	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.10	799	-	-	-	-	-	0.184	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.11	611	0.015	0.077	0.04	0.049	0.141	0.109	0.107	-	-	-	-	0.05	-	-	-	0.045	-
SK.12	333	0.442	-	-	-	-	-	-	-	0.0994	-	-	-	-	-	-	0.0004	-
SK.13	464	0.193	0.032	0.033	-	0.083	-	-	-	-	-	-	0.011	-	-	-	-	-
SK.14	1,118	-	0.038	0.056	-	-	-	-	-	-	0.066	0.12	-	-	-	-	-	-
SK.15	119	-	-	-	-	-	-	-	-	0.046	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.16	1,109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.17	836	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.18	354	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK.19	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

รหัสคู่มือฯ	กลุ่มย่อย	รหัสสถานีวัดน้ำฝน															
		50290	50310	50322	50330	50362	50372	50382	68032	68180	68212	68402	11361				
SK.01	782	-	-	0.034	-	-	-	-	0.011	0.37	0.063	0.319	-				
SK.02	434	-	-	0.083	-	-	0.045	-	-	-	0.077	-	-				
SK.03	966	0.166	-	-	0.199	-	0.177	-	0.003	0.033	0.422	-	-				
SK.04	1,107	0.017	-	-	0.28	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.05	715	0.089	0.128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.06	1,137	-	0.144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.07	547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.08	565	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.09	159	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.10	799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.11	611	-	-	-	-	-	0.004	-	-	-	-	-	-				
SK.12	333	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.13	464	-	-	-	-	0.482	-	-	-	-	-	-	0.004				
SK.14	1,118	0.002	0.035	0.223	-	-	0.274	-	-	-	-	-	-				
SK.15	119	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.16	1,109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.17	836	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.18	354	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
SK.19	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

รหัสคู่มือฯ	กลุ่มย่อย พันธกิจ/ส่วนงาน โครงการ/กิจกรรม	รหัสสถานีวิจัย												ผลรวม		
		24052	24082	30042	30062	30170	30220	50052	50112	50350	50402	50402				
SK.01	782	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.02	434	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.03	966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.04	1,107	-	-	-	0.011	0.081	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.05	715	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.06	1,137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.07	547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.08	565	0.076	0.046	-	-	-	0.001	-	0.021	-	-	-	-	-	-	1
SK.09	159	-	-	-	-	-	-	-	0.011	-	-	-	-	-	-	1
SK.10	799	-	-	-	-	-	-	-	0.22	-	-	-	0.183	-	-	1
SK.11	611	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.12	333	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.13	464	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.077	-	-	0.031	-	1
SK.14	1,118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.15	119	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.16	1,109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.17	836	-	-	0.096	-	-	-	0.024	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.18	354	-	-	0.153	0.144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
SK.19	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

ตารางผนวกที่ ๓3 รายละเอียดของตำแหน่งและสถานีวิจัยทำในลุ่มน้ำสงคราม

รหัสสถานี	หน่วยงาน	ลำน้ำ	กม.	ตำแหน่งที่ตั้ง
Kh.93	กรมชลประทาน	น้ำสงคราม	4+699	บ้าน โทกคำไหล อ.สว่างแดนดิน จ.สกลนคร
Kh.60	กรมชลประทาน	น้ำสงคราม	31+651	บ้านแดงเย็น อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี
Kh.74	กรมชลประทาน	น้ำสงคราม	81+996	บ้านท่าห้วยหลัว อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร
-	-	น้ำสงคราม	174+070	จุดบรรจบห้วยคอง ต.ดงหนือ อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร
022502	กรมทรัพยากรน้ำ	น้ำสงคราม	238+096	บ้านโนนสวรรค์ อ.คำตากล้า จ.สกลนคร
Kh.98	กรมชลประทาน	น้ำสงคราม	247+558	บ้านท่ากอกแดง อ.เซกา จ.หนองคาย
-	-	น้ำสงคราม	305+583	จุดบรรจบห้วยสี ต.โพนงาม อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร
-	-	น้ำสงคราม	333+531	จุดบรรจบแม่น้ำยาม อ.ศรีสงคราม จ.นครพนม
Kh.55	กรมชลประทาน	น้ำสงคราม	359+151	จุดบรรจบแม่น้ำอูน บ้านปากอูน อ.ศรีสงคราม จ.นครพนม
Kh.22	กรมชลประทาน	น้ำสงคราม	413+830	จุดบรรจบแม่น้ำโจง บ้านไชยบุรี อ.ท่าอุเทน จ.นครพนม
022801	กรมทรัพยากรน้ำ	น้ำยาม	76+621	บ้านคอนสาย ต.คอนสวรรค์ อ.วานรนิวาส จ.สกลนคร
022802	กรมทรัพยากรน้ำ	น้ำยาม	133+375	ต.อากาศ อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร
-	-	น้ำยาม	175+555	จุดบรรจบแม่น้ำสงคราม บ้านปากยาม อ.ศรีสงคราม จ.นครพนม

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

รหัสสถานี	หน่วยงาน	ลำน้ำ	กม.	ตำแหน่งที่ตั้ง
Kh.20C	กรมชลประทาน	น้ำอูน	0+000	จุดออกทำนน้ำของเขื่อนน้ำอูน บ้านหนองไ้ห จ.สกลนคร
Kh.20	กรมชลประทาน	น้ำอูน	20+538	ต.พรรณา อ.พรรณานิคม จ.สกลนคร
022901	กรมทรัพยากรน้ำ	น้ำอูน	55+990	บ้านพอกใหญ่ อ.พรรณานิคม จ.สกลนคร
Kh.54	กรมชลประทาน	น้ำอูน	150+530	บ้านนาหว้า อ.นาหว้า จ.นครพนม
-	-	น้ำอูน	204+123	จุดบรรจบแม่น้ำสงคราม บ้านปากอูน อ.ศรีสงคราม จ.นครพนม
-	-	ห้วยคอง	0+000	จุดเริ่มต้นของห้วยคอง จ.หนองคาย
022601	กรมทรัพยากรน้ำ	ห้วยคอง	63+276	บ้านท่าศรีชมชื่น ต.หนองหัวช้าง อ.ประจักษ์ จ.หนองคาย
-	-	ห้วยคอง	65+253	จุดบรรจบแม่น้ำสงคราม ต.ดงเหนือ อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร
-	-	ห้วยอี	0+000	จุดเริ่มต้นของห้วยอี จ.หนองคาย
022701	กรมทรัพยากรน้ำ	ห้วยอี	43+806	บ้านหนองยาง ต.ซาง อ.เซกา จ.หนองคาย
-	-	ห้วยอี	82+162	จุดบรรจบแม่น้ำสงคราม อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่  
สถานี Kh.98

ลำดับที่	ข้อมูลปี พ.ศ. 2543		ข้อมูลปี พ.ศ. 2545	
	ระดับน้ำ	ปริมาณการไหล	ระดับน้ำ	ปริมาณการไหล
	(ม.รทก.)	(ลบ.ม./วินาที)	(ม.รทก.)	(ลบ.ม./วินาที)
1	135.8	0	135.8	0
2	136.3	2	136	0.4
3	136.5	3	136.2	1
4	137.1	9	137	9
5	137.9	21	137.5	16
6	138	23	138	25
7	139	47	138.5	35
8	139.5	62	139	47
9	140	80	139.5	62
10	140.5	99	140	79
11	141	120	140.5	98
12	142	170	141	118
13	142.8	214	142	167
14	143	226	143	222
15	144	290	144	284
16	145.5	395	145	352
17	146	433	146	425
18	146.3	457	147	499
19	147.2	538	148	578
20	147.8	598	148.5	620
21	148	620	-	-

ตารางผนวกที่ ก5 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่  
สถานี 022601

ลำดับที่	ข้อมูลปี พ.ศ. 2551		ข้อมูลปี พ.ศ. 2552	
	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)
1	6.50	0	7	36.4
2	6.70	0.35	7.1	37.7
3	6.9	1.86	7.2	39.1
4	7.00	2.93	7.3	40.5
5	7.10	4.16	7.4	41.9
6	7.2	5.56	7.5	43.4
7	7.40	8.8	7.6	44.9
8	7.50	10.6	7.7	46.4
9	7.7	14.6	7.8	48
10	7.90	19.1	7.9	49.7
11	8	21.6	8	51.3
12	8.1	24.1	8.1	53.1
13	8.20	26.7	8.2	54.8
14	8.4	32.3	8.3	56.6
15	8.5	35.2	8.4	58.5
16	8.70	41.4	8.5	60.4
17	9	51.3	8.6	62.4
18	9.10	54.8	8.7	64.4
19	9.20	58.4	8.8	66.5
20	9.4	65.8	8.9	68.6
21	9.50	69.6	9	70.8
22	9.7	77.5	9.1	73
23	9.90	85.7	9.2	75.3
24	10.00	89.9	9.3	77.6
25	10.1	94.2	9.4	80



## ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ลำดับที่	ข้อมูลปี พ.ศ. 2551		ข้อมูลปี พ.ศ. 2552	
	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)
26	10.2	98.6	9.5	82.4
27	10.40	108	9.6	85
28	10.5	112	9.7	87.5
29	10.70	122	9.8	90.2
30	10.90	131	9.9	92.9
31	11	136	10	95.6
32	11.1	141	10.1	98.5
33	11.20	146	10.2	101
34	11.4	157	10.3	104
35	11.5	162	10.4	107
36	11.70	173	10.5	110
37	11.9	184	10.6	114
38	12.00	190	10.7	117
39	12.10	195	10.8	120
40	12.2	201	10.9	124
41	12.40	213	11	127
42	12.50	219	11.09	130
43	12.7	231	-	-
44	12.90	243	-	-
45	13.00	249	-	-
46	13.1	256	-	-
47	13.2	262	-	-
48	13.40	275	-	-
49	13.5	282	-	-
50	13.70	295	-	-
51	13.9	309	-	-
52	14	315	-	-
53	14.09	320	-	-

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่  
สถานี 022701

ลำดับที่	ข้อมูลปี พ.ศ. 2547		ข้อมูลปี พ.ศ. 2548	
	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)
1	2.2	0	5.7	0
2	2.5	0.01	6	0.02
3	3	0.02	6.5	0.56
4	3.5	0.06	6.8	2.56
5	4	0.15	7	7.06
6	4.5	0.37	7.1	12
7	5	0.86	7.2	19.6
8	5.5	1.95	7.3	27.8
9	6	4.24	7.4	35.5
10	6.5	8.95	7.5	43.9
11	7	18.3	7.8	71.2
12	7.5	36.5	8	90.5
13	8	71.1	8.5	141
14	8.5	135	8.8	174
15	9	251	9	196
16	9.2	320	9.1	207
17	9.4	406	9.3	229
18	9.5	457	9.4	241
19	9.6	514	9.5	252
20	9.7	578	9.6	264
21	9.8	649	9.8	287
22	9.9	728	9.9	299
23	10	817	10	311
24	10.05	862	10.05	317
25	10.09	897	10.09	322

## ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ลำดับที่	ข้อมูลปี พ.ศ. 2549		ข้อมูลปี พ.ศ. 2551	
	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)
1	5.5	1.29	6.7	0
2	5.8	2.37	6.8	2.13
3	6	3.49	6.9	5.92
4	6.3	6.1	7	10.8
5	6.5	8.72	7.3	29.9
6	6.8	14.6	7.5	45.7
7	7	20.4	7.8	73.1
8	7.3	33	7.9	83.1
9	7.5	45	8	93.6
10	7.8	75.9	8.3	127
11	8	98.2	8.5	151
12	8.3	133	8.8	190
13	8.5	158	8.9	203
14	8.8	196	9	217
15	9	223	9.2	245
16	9.2	250	9.3	260
17	9.4	277	9.4	275
18	9.5	291	9.5	290
19	9.6	305	9.6	306
20	9.7	320	9.7	321
21	9.8	334	9.8	337
22	9.9	348	9.9	353
23	10	363	10	370
24	10.05	371	10.05	379
25	10.09	377	10.09	385

ตารางผนวกที่ ก7 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ที่  
สถานี 022801

ลำดับที่	ข้อมูลปี พ.ศ. 2550		ข้อมูลปี พ.ศ. 2551		ข้อมูลปี พ.ศ. 2552	
	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)
1	3.6	0.71	4.4	0	3.1	10.3
2	3.8	1.58	4.42	3.46	3.2	11.2
3	4	3.18	4.44	6.92	3.3	12.3
4	4.3	7.88	4.46	10.4	3.4	13.4
5	4.5	13.4	4.48	13.8	3.5	14.7
6	4.8	26.7	4.5	17.3	3.8	18.9
7	5	36.3	4.6	28.6	4	22.3
8	5.3	51.6	4.7	37.2	4.3	28.3
9	5.5	62.3	4.8	44.4	4.5	33
10	5.8	79	4.9	50.8	4.8	41.3
11	6	90.6	5	56.7	5	47.8
12	6.3	108	5.2	67.2	5.3	59.1
13	6.5	121	5.3	72	5.5	67.8
14	6.8	139	5.5	80.9	5.6	72.6
15	7	152	5.6	85.1	5.8	83
16	7.3	172	5.8	93.1	5.9	88.6
17	7.5	185	6	101	6	94.6
18	7.8	205	6.2	108	6.05	97.8
19	8	219	6.3	111	6.1	101
20	8.3	239	6.5	118	6.15	105
21	8.5	253	6.6	121	6.2	108
22	8.8	275	6.8	127	6.25	112
23	9	289	7	133	6.3	115
24	9.05	293	7.05	135	6.35	119
25	9.09	295	7.09	136	6.39	121

ตารางผนวกที่ ก8 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves)  
ที่สถานี 022901

ลำดับที่	ข้อมูลปี พ.ศ. 2547		ข้อมูลปี พ.ศ. 2548		ข้อมูลปี พ.ศ. 2549	
	ระดับน้ำ	ปริมาณการไหล	ระดับน้ำ	ปริมาณการไหล	ระดับน้ำ	ปริมาณการไหล
	(ม.)	(ลบ.ม./วินาที)	(ม.)	(ลบ.ม./วินาที)	(ม.)	(ลบ.ม./วินาที)
1	2	0.92	2.3	0.7	2.4	0.38
2	2.5	1.17	2.5	0.78	2.5	1.49
3	3	10.7	2.8	7.3	2.8	5.81
4	3.3	17.7	3	11.8	3	9.17
5	3.5	22.6	3.3	18.8	3.3	14.7
6	4	35.9	3.5	23.5	3.5	18.6
7	4.3	44.4	3.8	30.6	3.8	24.8
8	4.5	50.3	4	35.4	4	29.1
9	5	65.4	4.3	42.6	4.3	35.8
10	5.3	74.9	4.5	47.5	4.5	40.4
11	5.5	81.3	4.8	54.8	4.8	47.4
12	6	97.7	5	59.7	5	52.3
13	6.3	108	5.3	67.1	5.3	59.7
14	6.5	115	5.5	72	5.5	64.8
15	7	132	5.8	79.4	5.8	72.5
16	7.3	143	6	84.4	6	77.7
17	7.5	150	6.3	91.9	6.3	85.7
18	8	169	6.5	96.9	6.5	91.1
19	8.3	180	6.8	104	6.8	99.4
20	8.5	187	7	109	7	105
21	9	207	7.3	117	7.3	113
22	9.3	218	7.5	122	7.5	119
23	9.5	226	7.8	130	7.8	128
24	10	246	8	135	8	134
25	10.09	250	8.09	138	8.09	137

## ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

ลำดับที่	ข้อมูลปี พ.ศ. 2550		ข้อมูลปี พ.ศ. 2551		ข้อมูลปี พ.ศ. 2552	
	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)
1	2.4	0.01	2.5	0.3	2.3	0
2	2.5	0.38	2.8	3.03	2.4	0.2
3	2.8	2.81	3	7.42	2.5	0.8
4	3	5.81	3.1	9.63	2.8	3.61
5	3.3	10.9	3.3	14.1	2.9	5.68
6	3.5	14.7	3.5	18.5	3	8.05
7	3.8	21.1	3.8	25.2	3.1	10.7
8	4	25.9	4	29.7	3.2	13.6
9	4.3	33.3	4.5	40.9	3.3	16.7
10	4.5	38.4	4.8	47.6	3.5	23.6
11	4.8	46.2	5	52.2	3.8	35.4
12	5	51.6	5.3	58.9	3.9	39.7
13	5.3	59.8	5.5	63.4	4	44.2
14	5.5	65.4	5.8	70.2	4.1	48.8
15	5.8	73.9	6	74.7	4.2	53.6
16	6	79.7	6.3	81.5	4.3	58.5
17	6.3	88.5	6.5	86.1	4.5	68.8
18	6.5	94.4	6.8	92.9	4.8	85.3
19	6.8	103	7	97.4	4.9	91.1
20	7	110	7.3	104	5	97
21	7.3	119	7.5	109	5.1	103
22	7.5	125	7.8	116	5.2	109
23	7.8	135	8	120	5.3	115
24	8	141	8.05	121	5.35	118
25	8.09	144	8.09	122	5.39	120



ตารางผนวกที่ ข1 ผลการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11- DA ที่สถานี Kh.98

วัน/เดือน/ปี	ระดับน้ำที่ ตรวจวัดจริง	ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Time of Forecast)				
		1-ก.ย.-47	4-ก.ย.-47	7-ก.ย.-47	10-ก.ย.-47	13-ก.ย.-47
29/8/2547	148.27	148.295	-	-	-	-
30/8/2547	148.23	148.25	-	-	-	-
31/8/2547	148.17	148.2	-	-	-	-
1/9/2547	148.11	148.14	148.14	-	-	-
2/9/2547	148.08	148.095	148.095	-	-	-
3/9/2547	148.11	148.095	148.095	-	-	-
4/9/2547	148.13	148.12	148.12	148.12	-	-
5/9/2547	148.2	-	148.165	148.165	-	-
6/9/2547	148.22	-	148.21	148.21	-	-
7/9/2547	148.23	-	148.225	148.225	148.225	-
8/9/2547	148.24	-	-	148.235	148.235	-
9/9/2547	148.34	-	-	148.29	148.29	-
10/9/2547	148.5	-	-	148.42	148.42	148.42
11/9/2547	148.64	-	-	-	148.57	148.57
12/9/2547	148.7	-	-	-	148.67	148.67
13/9/2547	148.73	-	-	-	148.715	148.715
14/9/2547	148.75	-	-	-	-	148.74
15/9/2547	148.77	-	-	-	-	148.76
16/9/2547	148.77	-	-	-	-	148.77



## ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ระดับน้ำที่ ตรวจวัดจริง	ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Time of Forecast)				
		16-ก.ย.-47	19-ก.ย.-47	22-ก.ย.-47	25-ก.ย.-47	28-ก.ย.-47
13/9/2547	148.73	148.715	-	-	-	-
14/9/2547	148.75	148.74	-	-	-	-
15/9/2547	148.77	148.76	-	-	-	-
16/9/2547	148.77	148.77	148.77	-	-	-
17/9/2547	148.77	148.77	148.77	-	-	-
18/9/2547	148.75	148.76	148.76	-	-	-
19/9/2547	148.71	148.73	148.73	148.73	-	-
20/9/2547	148.67	-	148.69	148.69	-	-
21/9/2547	148.66	-	148.665	148.665	-	-
22/9/2547	148.64	-	148.65	148.65	148.65	-
23/9/2547	148.58	-	-	148.61	148.61	-
24/9/2547	148.53	-	-	148.555	148.555	-
25/9/2547	148.45	-	-	148.49	148.49	148.49
26/9/2547	148.38	-	-	-	148.415	148.415
27/9/2547	148.28	-	-	-	148.33	148.33
28/9/2547	148.18	-	-	-	148.23	148.23
29/9/2547	148.07	-	-	-	-	148.256
30/9/2547	147.96	-	-	-	-	148.281
1/10/2547	147.81	-	-	-	-	148.295

ตารางผนวกที่ ข2 ผลการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11- DA ที่สถานี Kh.54

วัน/เดือน/ปี	ระดับน้ำที่ ตรวจวัดจริง	ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Time of Forecast)				
		1-ก.ย.-47	4-ก.ย.-47	7-ก.ย.-47	10-ก.ย.-47	13-ก.ย.-47
29/8/2547	145.63	145.695	-	-	-	-
30/8/2547	145.54	145.585	-	-	-	-
31/8/2547	145.56	145.55	-	-	-	-
1/9/2547	145.72	145.64	145.64	-	-	-
2/9/2547	146.1	145.91	145.91	-	-	-
3/9/2547	146.67	146.385	146.385	-	-	-
4/9/2547	146.95	146.81	146.81	146.81	-	-
5/9/2547	147.35	-	147.15	147.15	-	-
6/9/2547	147.32	-	147.335	147.335	-	-
7/9/2547	147.3	-	147.31	147.31	147.31	-
8/9/2547	147.28	-	-	147.29	147.29	-
9/9/2547	147.4	-	-	147.34	147.34	-
10/9/2547	147.47	-	-	147.435	147.435	147.435
11/9/2547	147.54	-	-	-	147.505	147.505
12/9/2547	147.55	-	-	-	147.545	147.545
13/9/2547	147.55	-	-	-	147.55	147.55
14/9/2547	147.54	-	-	-	-	147.545
15/9/2547	147.51	-	-	-	-	147.525
16/9/2547	147.49	-	-	-	-	147.5

## ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ระดับน้ำที่ ตรวจวัดจริง	ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Time of Forecast)				
		16-ก.ย.-47	19-ก.ย.-47	22-ก.ย.-47	25-ก.ย.-47	28-ก.ย.-47
13/9/2547	147.55	147.55	-	-	-	-
14/9/2547	147.54	147.545	-	-	-	-
15/9/2547	147.51	147.525	-	-	-	-
16/9/2547	147.49	147.5	147.5	-	-	-
17/9/2547	147.45	147.47	147.47	-	-	-
18/9/2547	147.43	147.44	147.44	-	-	-
19/9/2547	147.39	147.41	147.41	147.41	-	-
20/9/2547	147.35	-	147.37	147.37	-	-
21/9/2547	147.3	-	147.325	147.325	-	-
22/9/2547	147.24	-	147.27	147.27	147.27	-
23/9/2547	147.19	-	-	147.215	147.215	-
24/9/2547	147.12	-	-	147.155	147.155	-
25/9/2547	147.03	-	-	147.075	147.075	147.075
26/9/2547	146.92	-	-	-	146.975	146.975
27/9/2547	146.82	-	-	-	146.87	146.87
28/9/2547	146.7	-	-	-	146.76	146.76
29/9/2547	146.59	-	-	-	-	147.04
30/9/2547	146.45	-	-	-	-	147.137
1/10/2547	146.29	-	-	-	-	147.205

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นายพงษ์รัตน์ อ่อนละมุน
เกิดวันที่	14 พฤษภาคม 2530
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา - ชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2551)
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ส่วนจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา สำนักชลประทานที่ 12
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (พ.ศ.2552)