



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน

วิศวกรรมชลประทาน

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในลุ่มน้ำแม่วังทอง

The Study on Real Time Flood Forecasting in the Mae Wang Thong Basin

นามผู้วิจัย นายสุทธิพงษ์ ฉลวย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วิษุวัตต์ เต็มสมบัติ, วศ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิมิตร เจริญนันทพิพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กาญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในลุ่มน้ำแม่วังทอง

The Study on Real Time Flood Forecasting in the Mae Wang Thong Basin

โดย

นายสุทธิพงษ์ ฉลวย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุทธิพงษ์ ฉลวย 2557: การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในกลุ่มน้ำแม่วังทอง
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน) สาขาวิศวกรรมชลประทาน
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วิษุวัตก์
แต่สมบัติ, วศ.ด. 163 หน้า

กลุ่มน้ำแม่วังทองเป็นกลุ่มน้ำสาขาในกลุ่มน้ำน่านมีพื้นที่รวมทั้งกลุ่มน้ำ 1,970 ตารางกิโลเมตร
พื้นที่ต้นน้ำของแม่น้ำวังทองอยู่บนเทือกเขาสูงบริเวณขอบเขตของจังหวัดพิษณุโลกและจังหวัด
เพชรบูรณ์ สภาพลำน้ำมีความลาดชันสูงและไม่มีแหล่งเก็บกักน้ำเพื่อชะลอการไหลของน้ำในช่วง
ฤดูฝนจะเกิดน้ำป่าไหลหลากจากบนเขาลงมาทำให้ลำน้ำวังทองเอ่อล้นตลิ่งจนเกิดน้ำท่วมบนพื้นที่
กลุ่มน้ำทุกปี การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกชุดของแบบจำลองที่นิยมใช้กับโครงการโทรมาตรเพื่อ
การพยากรณ์น้ำในประเทศไทย 2 ชุดแบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง MIKE11- NAM/HD/DA และ
InfoWorks PDM/RS/FloodWorks โดยเริ่มจากพิจารณาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า NAM และ PDM
โดยใช้ข้อมูลในช่วงปี 2555- 2556 เพื่อการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีโทรมาตร
TNwt.6 และ TNwt.15 โดยผลของ MIKE11- NAM และ InfoWorks PDM สรุปออกมาเป็นค่าดัชนี
ทางสถิติ โดยค่า r มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.83 - 0.88 ต่อมาทำการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทก
พลศาสตร์ MIKE11-HD และ InfoWorks RS ใช้แบบ steady state พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความ
ขรุขระ (Manning'n) ของลำน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง 0.025 - 0.090 หลังจากนั้นประยุกต์ใช้แบบจำลอง
ระบบกลุ่มน้ำ MIKE11- NAM/HD และ InfoWorks PDM/RS จำลองสภาพการเกิดอุทกภัยโดย
ขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นปริมาณการไหลราย 15 นาทีที่สถานี TNwt.21 และขอบเขตด้านท้ายน้ำ
กำหนดให้เป็น Rating Curves ที่สถานี TNwt.22 พร้อมทั้งใช้ปริมาณการไหลด้านข้างที่ได้จาก
แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีทางสถิติ r มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.91 - 0.93 ซึ่ง
มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงที่สถานี TNwt.6 และ TNwt.15 ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองการ
พยากรณ์น้ำได้เลือกใช้ MIKE11-DA มาทำการตรวจสอบประสิทธิภาพโดยเลือกช่วงเหตุการณ์
อุทกภัยที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคมปี พ.ศ.2556 โดยได้ตั้งค่าช่วง Hindcast Period เท่ากับ
3 วันย้อนหลัง และค่าช่วง Forecast Period เท่ากับ 1 วันล่วงหน้า และได้ทำการพยากรณ์ระดับน้ำ
ต่อเนื่องทุกวัน ราย 15 นาที โดยพยากรณ์เริ่มต้นในวันที่ 28 กันยายน จนถึงวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ.2556
ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง MIKE11-DA ให้ผลการพยากรณ์เป็นกราฟของระดับน้ำที่ใกล้เคียง
กับค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จริงจากสถานีโทรมาตรทั้งสี่แห่งในกลุ่มน้ำแม่วังทองได้แก่ สถานี
TNwt.21 TNwt.6 TNwt.15 และ TNwt.22 ได้อย่างแม่นยำ โดยผลการพยากรณ์ระดับน้ำใน
ช่วงหนึ่งวันล่วงหน้า ณ เวลา 6.00 น. 12.00 น. 18.00 น. 24.00 น. มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ
94.36, 87.63, 82.45 และ 79.71 ตามลำดับ

Sutthipong Chaluy 2014: The Study on Real Time Flood Forecasting in the Mae Wang Thong Basin. Master of Engineering (Irrigation Engineering), Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Mr. Wisuwat Taesombat, D.Eng. 163 pages.

Mea Wang Thong river basin is a subbasin of the Nan river basin has an watershed area of 1,970 square kilometers. The upstream areas of the river is located on the high mountain region of Phitsanulok and Phetchabun. The river slope is steep and has no reservoir to slow the flow of water during the rainy season caused flooding of the hill down to the river overflowing its banks every year. This study was selected 2 sets of models used for flood forecasting in telemetry project in Thailand namely MIKE11-NAM/HD/DA model package and InfoWorks PDM/RS/FloodWorks model package. First, NAM and PDM rainfall- runoff model with the selected data set during 2012 - 2013 were carried out for the calibration and verification model at two telemetry stations namely TNwt.6 and TNwt.15. The NAM and PDM result was summarized as the statistical indices r values which have a range of 0.83 to 0.88. Second, HD and RS hydrodynamic model calibration was carried out by steady state basis. It found that the river roughness coefficient (Manning'n) are in a ranged of 0.025 to 0.090. Third, an application of the river basin modeling - MIKE11-NAM / HD model and InfoWorks PDM/RS model were simulated flooding by upstream boundary with observed flow in every 15 minutes at TNwt.21 station and downstream boundary with rating curves at TNwt.22 station including lateral flow calculated from rainfall-runoff model. The result was summarized as the statistical indices r values which have a range of 0.91 to 0.93 which were nearby the observed data at TNwt.6 and TNwt.15 stations, respectively. Finally, MIKE11-DA was selected as flood forecasting model. The highest flood event in the period of September-October 2013 was chosen to determine the performance of DA model. The runtime of DA model was setup that the hindcast period was three days backward, and forecast period was one days forward. The forecasts of water level by DA model were generated continually predicted water level in every 15 minutes every day started from 28th September to 4th October 2013. The results found that DA model has shown its accuracy in forecasting flood hydrographs that close to the observed values at all four stations – TNwt.21 TNwt.6 TNwt.15 and TNwt.22- located along the Wang Thong river basin. The average accuracy of forecasting results at all stations revealed that for first day forecast in advance at 6.00 am 12.00 am 18.00 pm 24.00 pm that the average accuracy was 94.36, 87.63, 82.45 and 79.71 respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับอาจารย์ ดร. วิษุวัตต์ แต่สมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาเสนอแนะแนวทางในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของวิทยานิพนธ์จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์ ประธานการสอบและ ดร. ธเนศร์ สมบูรณ์ ผู้ทรงคุณทรงวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ดียิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงบุคลากรทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณ กรมชลประทาน และบริษัท ธีรจ แอสโซซิเอทส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนพื้นที่และห้องนิติติววิศวกรรมชลประทาน และเพื่อนร่วมงานสำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรมที่ให้ให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

คุณความดีและประโยชน์อันใดของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ บิดา มารดา ญาติ พี่น้อง เพื่อนๆ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาและสนับสนุนแก่ข้าพเจ้าตลอดมาในทุกเรื่อง จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์

สุทธิพงษ์ นลวย

มีนาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	55
อุปกรณ์	55
วิธีการ	56
ผลและวิจารณ์	85
ผล	85
วิจารณ์ผล	121
สรุปและข้อเสนอแนะ	123
สรุป	123
ข้อเสนอแนะ	124
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	125
ภาคผนวก	127
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุตุ - อุทกวิทยาของกลุ่มน้ำแม่วังทอง	128
ภาคผนวก ข ผลการการคำนวณจากแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ	137
ภาคผนวก ค แบบจำลอง MIKE11-DA	139
ภาคผนวก ง แบบจำลอง FloodWorks	149
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	163

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง	6
2	ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยในลุ่มน้ำแม่วังทอง	7
3	แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำแม่วังทอง	12
4	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ห้องลำน้ำของทางน้ำเปิด	44
5	แสดงสถานีตรวจอากาศในพื้นที่ศึกษา	57
6	แสดงสถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ในการศึกษา	58
7	รายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่า	60
8	แสดงรายชื่อสถานีระบบโทรมาตรในลุ่มน้ำแม่วังทอง	62
9	แบบจำลองที่กรมชลประทานมีลิขสิทธิ์ในโครงการระบบโทรมาตร	65
10	การแปลความหมายค่า NSE	70
11	รายชื่อสถานีโทรมาตรวัดน้ำฝน-น้ำท่าใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง	70
12	รายชื่อลุ่มน้ำย่อยของระบบลุ่มน้ำแม่วังทอง	81
13	สัดส่วนค่าการถ่วงน้ำหนักของสถานีโทรมาตรในระบบลุ่มน้ำแม่วังทอง	81
14	ค่าทางสถิติที่ได้จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	86
15	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบของแบบจำลอง InfoWorks PDM ของ สถานี TN wt.6 และสถานี TN wt.15	86
16	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบของแบบจำลอง MIKE11-NAM ของ สถานี TN wt.6 และสถานี TN wt.15	87
17	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning'n) แบบจำลอง HD	90
18	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning'n) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์	93
19	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองกับค่าตรวจวัดแบบจำลอง InfoWorks - RS	93
20	การเคลื่อนตัวของน้ำหลากในแม่น้ำวังทอง	95
21	ค่าทางสถิติที่ได้จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ	97
22	สรุปผลสรุปผลการพยากรณ์น้ำด้วยแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ	
	ช่วงระหว่างวันที่ 28 กันยายน ถึง 4 ตุลาคม 2556	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	รายชื่อและที่ตั้งสถานีโทรมาตรที่ใช้ในการศึกษา	129
ก2	รายละเอียดของสถานีโทรมาตรวัดน้ำฝน-น้ำท่าที่ใช้พิจารณา	129
ก3	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ปี 2553 ของสถานีโทรมาตร TNwt.21 และสถานี TNwt.6	130
ก4	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves) ปี 2553 ของสถานีโทรมาตร TNwt.15 และสถานี TNwt.22	131
ข1	สรุปผลการพยากรณ์น้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11-DA ช่วงระหว่างวันที่ 28 กันยายน ถึง 4 ตุลาคม 2556	138
ง1	พารามิเตอร์ของแบบจำลอง PDM	151
ง2	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง PDM ที่สถานี TNwt.6	153

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สภาพภูมิประเทศลุ่มน้ำวังทอง	4
2	ระบบลุ่มน้ำลำน้ำของลุ่มน้ำแม่วังทอง	8
3	ความลาดชันในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง	9
4	รูปตัดตามยาวลำน้ำต้นน้ำคลองเข็กใหญ่ถึงจุดบรรจบแม่น้ำน่าน	10
5	การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำแม่วังทอง	13
6	ปฏิทินการปลูกพืชแต่ละชนิดในลุ่มน้ำแม่วังทองในปัจจุบัน	14
7	แสดงตำแหน่งที่ตั้งโครงการชลประทานในลุ่มน้ำวังทอง	15
8	แสดงการเกิดน้ำจากอากาศ	18
9	ลักษณะลุ่มน้ำ	20
10	วัฏจักรอุทกวิทยา	22
11	หลักการและผังการทำงานของแบบจำลอง InfoWorks PDM	24
12	ลักษณะโครงสร้างของแบบจำลอง MIKE 11 – NAM	28
13	โครงสร้างของแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า	29
14	วิธีของ Preissman Implicit	36
15	การแก้สมการเชิงเส้นคณิตศาสตร์โดยวิธี 6-point Abbott-scheme	41
16	การจำลองระบบแม่น้ำของแบบจำลอง MIKE11-HD	42
17	การทำงานเชื่อมโยงระหว่าง InfoWorks กับ FloodWorks	46
18	การทำงานของระบบพยากรณ์น้ำหลากแบบอัตโนมัติจากข้อมูลตามเวลาจริง	48
19	แสดงช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Runtime) ของ ARMA Module	49
20	การปรับแก้ค่าระดับน้ำก่อนการพยากรณ์น้ำ	51
21	ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Runtime) ของแบบจำลอง MIKE 11- DA	51
22	ขั้นตอนการศึกษา	56
23	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนทั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองและพื้นที่ใกล้เคียง	59
24	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่าและพื้นที่ใกล้เคียง	61
25	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีระบบโทรมาตร	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำ และรูปเหลี่ยม Thiessen Polygon	67
27	ตำแหน่งสถานีน้ำฝน-น้ำท่าและและรูปเหลี่ยม Thiessen Polygon	76
28	ตำแหน่งรูปตัดขวางลำน้ำในลุ่มน้ำแม่วังทอง	78
29	แผนภูมิแสดงระบบการไหลของน้ำในลุ่มน้ำแม่วังทอง	79
30	การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำแม่วังทอง	80
31	การแบ่งปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่โดยใช้วิธี Thiessen Polygon	82
32	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า สถานี TN wt.6	88
33	ผลการพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า สถานี TN wt.6	88
34	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า สถานี TN wt.15	89
35	ผลการพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า สถานี TN wt.15	89
36	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD สถานี TN wt.21	91
37	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD สถานี TN wt.6	91
38	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD สถานี TN wt.15	92
39	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD สถานี TN wt.22	92
40	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks - RS สถานี TN wt.6	94
41	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks - RS สถานี TN wt.15	94
42	การเคลื่อนตัวของน้ำหลากในแม่น้ำวังทอง	96
43	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ ที่สถานี TN wt.6	98
44	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ ที่สถานี TN wt.15	98
45	การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 28 ก.ย. 2556	100
46	การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 29 ก.ย. 2556	102
47	การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 30 ก.ย. 2556	104
48	การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 1 ต.ค. 2556	106
49	การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 2 ต.ค. 2556	108
50	การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 3 ต.ค. 2556	110

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 4 ต.ค. 2556	112
52	การพยากรณ์น้ำ วันที่ 28 ก.ย. ถึง 4 ต.ค. 2556 แบบจำลอง MIKE11-DA	115
53	ผลการพยากรณ์น้ำล่วงหน้า 1 วัน แบบจำลอง MIKE11-DA	117
ภาพผนวกที่		
ก1	รูปตัดขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งโทรมาตรสถานี TN wt.21	132
ก2	รูปตัดขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งโทรมาตรสถานี TN wt.6	132
ก3	รูปตัดขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งโทรมาตรสถานี TN wt.15	133
ก4	รูปตัดขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งโทรมาตรสถานี TN wt.22	133
ก5	การวิเคราะห์ Double Mass Curve ของสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำแม่วังทอง	134
ค1	โครงการสร้างของแบบจำลอง MIKE11-NAM	140
ค2	โครงการสร้างของแบบจำลอง MIKE11-NAM สำหรับลุ่มน้ำแม่วังทอง	141
ค3	ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM	142
ค4	การสร้างพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (Catchment Area) และการทำ Thiessen Polygon	143
ค5	โครงการสร้างของแบบจำลอง MIKE11-HD สำหรับระบบแม่น้ำวังทอง	144
ค6	โครงข่ายระบบแม่น้ำ (River Network File) ของแบบจำลอง MIKE11-HD	145
ค7	รูปตัดขวางลำน้ำ (Cross Section File) ของแบบจำลอง MIKE11-HD	145
ค8	โครงการสร้างของแบบจำลอง MIKE11-NAM/HD	146
ค9	แสดงผลการรันแบบจำลองและค่าปริมาณน้ำที่ตรวจวัดใน MIKE View	146
ค10	การตั้งค่าต่างๆในแบบจำลอง MIKE11 – DA	147
ค11	โครงการสร้างของแบบจำลอง MIKE11-DA สำหรับระบบแม่น้ำวังทอง	148
ค12	ผลการพยากรณ์ TOF 28 ก.ย. 2556 จากแบบจำลอง MIKE11-DA	148
ง1	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง PDM ที่สถานี TNwt.6	152
ง2	การเปรียบเทียบพารามิเตอร์และการแสดงผล (Graph) ของแบบจำลอง PDM	155

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง3	โครงสร้างในการจัดการข้อมูลของโปรแกรม InfoWorks RS	157
ง4	รูปแบบการใช้งานและแสดงผลของแบบจำลอง InfoWorks RS	159
ง5	โครงสร้างของโปรแกรม FloodWorks	160
ง6	โครงสร้างการจัดการข้อมูลของโปรแกรม FloodWorks	162

การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในลุ่มน้ำแม่วังทอง

The Study on Real Time Flood Forecasting in the Mae Wang Thong Basin

คำนำ

ลุ่มน้ำแม่วังทองเป็นลุ่มน้ำสาขาในลุ่มน้ำน่านมีพื้นที่รวมทั้งลุ่มน้ำ 1,970 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ต้นน้ำของแม่วังทองอยู่บนเทือกเขาสูงบริเวณขอบเขตของจังหวัดพิจิตร โลกและจังหวัดเพชรบูรณ์ อยู่ระดับระดับความสูง 35- 1,628 ม.รทก. โดยมีความลาดชันท้องน้ำที่ 1:112 ถึง 1:2,150 ถึงจุดออกแม่น้ำน่าน รวมเป็นระยะทาง 252 กิโลเมตร โดยลักษณะสภาพลำน้ำจะไหลคดเคี้ยวไปตามหุบเขาในบางช่วงของลำน้ำจะมีเกาะแก่งทำให้เกิดน้ำตกขนาดกลางและเล็กจำนวนมากหลายแห่งเนื่องจากสภาพลำน้ำมีความลาดชันสูงและไม่มีแหล่งเก็บกักน้ำและชะลอการไหลของน้ำในช่วงฤดูฝนจะเกิดน้ำป่าไหลหลากจากบนเขาลงมาทำให้ลำน้ำวังทองเอ่อล้นตลิ่งจนเกิดน้ำท่วมฉับพลันบนพื้นที่การเกษตรและบ้านเรือนซึ่งทำให้เสียหายทุกปี

ในปี พ.ศ. 2553 กรมชลประทาน ได้ติดตั้งระบบโทรมาตรในลุ่มน้ำแม่วังทอง และติดตั้งแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2554 จำนวน 6 สถานี โดยเป็นสถานีตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำฝน 4 สถานี ได้แก่ สถานี TN wt. 21 สถานี TN wt. 6 สถานี TN wt. 15 และสถานี TN wt. 22 และสถานีตรวจวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝน 2 สถานี ได้แก่ สถานี TN wt. 5 และสถานี TN wt.17 ซึ่งเป็นการตรวจวัดข้อมูลน้ำฝนและระดับน้ำราย 15 นาที

การศึกษารุ่นนี้เพื่อพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในลุ่มน้ำแม่วังทองโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11-PDM/HD/DA และ InfoWorks-PDM/RS/FloodWorks เพื่อใช้ในการติดตามและเฝ้าระวังสถานการณ์น้ำ โดยนำข้อมูลจากการติดตามตรวจวัดที่ได้ไปประกอบการคำนวณของแบบจำลองและนำผลการตรวจวัด และผลการคำนวณมาใช้คาดการณ์การแจ้งเตือนภัยจากน้ำท่วมอย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ชุมชนเพื่อเตรียมการอพยพได้ทันต่อสถานการณ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. คัดเลือกแบบจำลองการพยากรณ์น้ำที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย
2. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่าในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน - น้ำท่าของกลุ่มน้ำแม่วังทอง
3. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ในการศึกษาสภาพศาสตร์ของแม่น้ำวังทอง และลำน้ำสาขาที่สำคัญ
4. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองการพยากรณ์น้ำในการศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมตามเวลาจริงในกลุ่มน้ำแม่วังทอง

ขอบเขตการศึกษา

1. การคัดเลือกแบบจำลองการพยากรณ์น้ำจะพิจารณาจากแบบจำลองที่เคยถูกประยุกต์ใช้ในโครงการระบบโทรมาตรของหน่วยงานราชการในประเทศไทย
2. ข้อมูลรูปตัดขวางของกลุ่มน้ำแม่วังทองที่ใช้จะเป็นข้อมูลที่สำรวจในปี พ.ศ. 2553
3. ข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนตลอดจนโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณการไหลจะใช้ข้อมูลจากระบบโทรมาตรกลุ่มน้ำแม่วังทองในช่วงปี พ.ศ. 2555 -2556

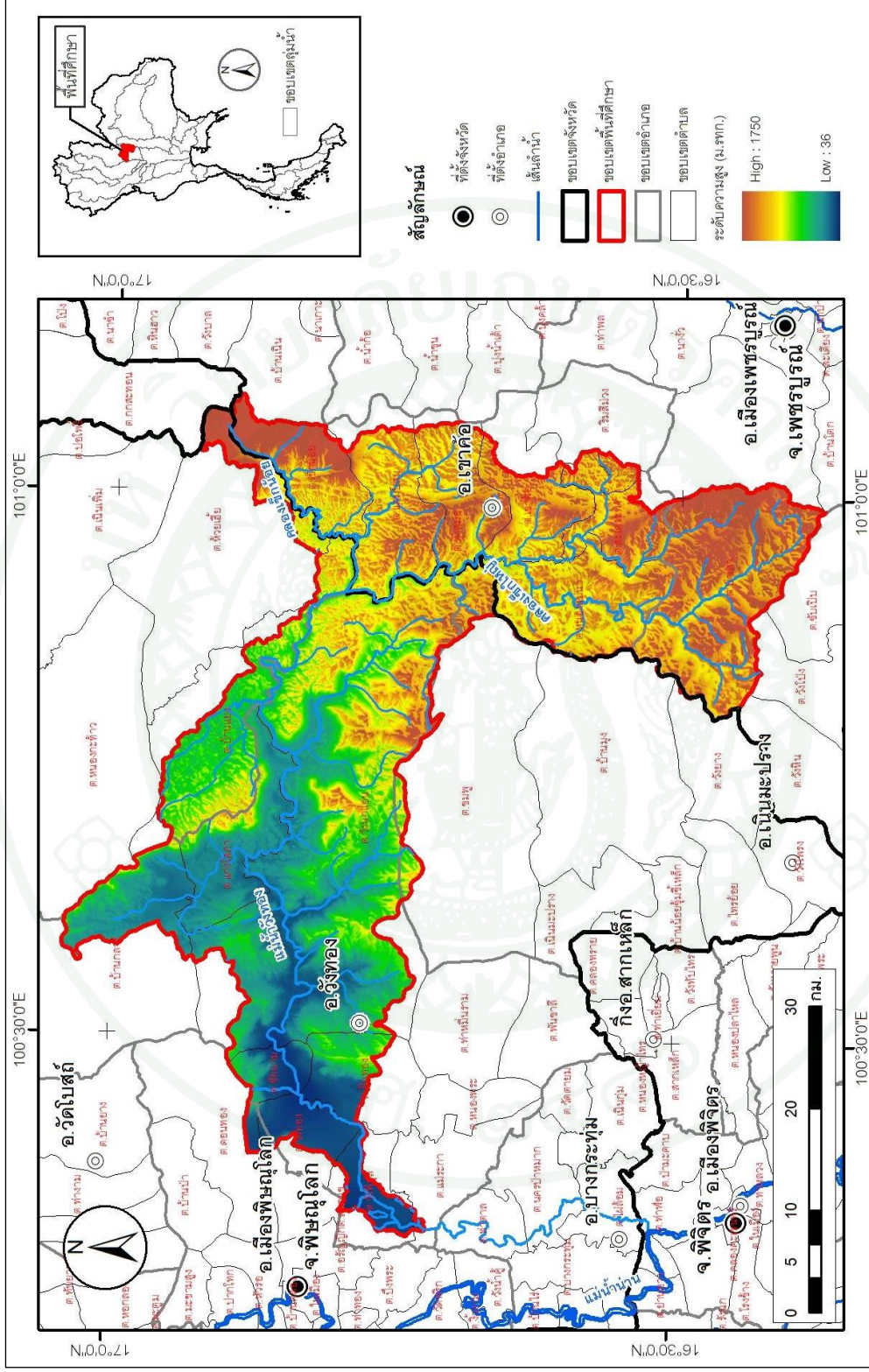
การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

1.1 ที่ตั้งและสภาพภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำแม่วังทอง เป็นลุ่มน้ำสาขาในลุ่มน้ำน่านตอนล่าง ความยาวประมาณ 136 กิโลเมตร มีพื้นที่รวมทั้งลุ่มน้ำประมาณ 1,970 ตารางกิโลเมตร อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $16^{\circ} 22'$ เหนือ ถึง เส้นรุ้งที่ $17^{\circ} 02'$ เหนือ และอยู่ระหว่างเส้นแวงที่ $100^{\circ} 19'$ ตะวันออก ถึง เส้นแวงที่ $101^{\circ} 04'$ ตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของ 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดพิษณุโลกและเพชรบูรณ์ โดยทางทิศเหนือติดกับอำเภอนครไทยและอำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ทิศตะวันตกติดกับ อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ทางทิศตะวันออกติดกับ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และทิศใต้ติดกับ อำเภอเมืองและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำเป็นภูเขาสูงต้นกำเนิดของแม่น้ำวังทองเกิดจากคลองเข็กน้อยและคลองเข็กใหญ่ โดยต้นน้ำเข็กน้อยอยู่ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือและต้นน้ำเข็กใหญ่อยู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมาไหลผ่านหุบเขาลงมาบรรจบกันที่บริเวณขอบเขตรอยต่อ 3 ตำบลได้แก่ ตำบลห้วยเฮี้ย อำเภอนครไทย, ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก และตำบลแคมป์สน อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยคลองเข็กน้อยมีพื้นที่ราบสูงบริเวณริมลำน้ำตอนท้ายก่อนถึงจุดบรรจบคลองเข็กใหญ่ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม คลองเข็กใหญ่จะมีที่ราบสูงริมน้ำบริเวณจุดบรรจบของคลองเข็กกับน้ำเข็กใหญ่ ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยที่ราบลุ่มจะอยู่บริเวณตอนกลางลุ่มน้ำและตอนท้ายลุ่มน้ำซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมในเขตอำเภอวังทอง โดยไหลไปบรรจบแม่น้ำน่านที่บ้านท่าพ้อ อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร รวมความยาวลำน้ำจากต้นน้ำเข็กใหญ่ถึงจุดบรรจบลุ่มน้ำประมาณ 252 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สภาพภูมิประเทศลุ่มน้ำวังทอง

1.2 สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

1.2.1 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยลักษณะภูมิอากาศบริเวณลุ่มน้ำแม่วังทอง แบ่งออกเป็น 2 แบบดังนี้

ก. ภูมิอากาศแบบมรสุม ซึ่งมีปริมาณฝนปานกลาง คือ บริเวณพื้นที่หน้าเขาของเทือกเขาเพชรบูรณ์ตะวันตกเป็นแนวปะทะฝนที่วางตัวยาวจากตอนเหนือของจังหวัดพิษณุโลกผ่านจังหวัดพิจิตรด้านตะวันออกจนถึงจังหวัดเพชรบูรณ์ตอนใต้ ภูมิอากาศดังกล่าวทำให้พืชพรรณธรรมชาติเป็นป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และมีป่าอื่นๆ ปะปนอยู่บ้าง แต่ปัจจุบันพื้นที่ป่าถูกเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ในการทำเรือกสวนไร่นา และถิ่นที่อยู่อาศัยเป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้มีฝนตกประมาณ 6.5-8 เดือนในรอบปี และมีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,400 – 1,700 มิลลิเมตรต่อปี

ข. ภูมิอากาศแบบเขตกึ่งเย็นและแห้งแล้งแบบภูเขา คือ บริเวณพื้นที่ที่เป็นสันเขาสูงตามขอบต้นน้ำของลุ่มน้ำ (ด้านตะวันออกของลุ่มน้ำ) ตามแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ตะวันตก การเป็นเทือกเขาที่มีระดับสูงทำให้อากาศเขตกึ่งเย็น ระดับสูงของยอดเขาที่ปกคลุมด้วยป่าไม้จะช่วยเป็นแกนจับเมฆทำให้มีความชื้นมากและการเป็นสันเขาที่มีความลาดชันทำให้น้ำไหลค่อนข้างเร็ว ไม่เก็บกักน้ำจึงทำให้พื้นผิวดินและหินแห้งเร็ว บริเวณนี้มีฝนตก 6.5-9 เดือนในรอบปี และมีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,300 – 1,600 มิลลิเมตรต่อปี

สำหรับการวิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยา ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ข้างเคียงจำนวน 3 สถานี คือ สถานีตรวจอากาศพิษณุโลก สถานีตรวจอากาศอำเภอหล่มสัก และสถานีตรวจอากาศเพชรบูรณ์ โดยทำการสรุปตัวแปรสภาพภูมิอากาศที่สำคัญในช่วงปีพ.ศ. 2523 ถึง 2552 (30 ปี) สามารถสรุปค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญดังใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง

ตัวแปรภูมิอากาศ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
		รายเดือน	รายปี
อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี	องศาเซลเซียส	24.97 – 30.17	27.37
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี	เปอร์เซ็นต์	63 – 83	72.67
ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี	มิต	0.93 – 1.63	1.30
เมฆปกคลุมเฉลี่ยรายปี	0-10	2.33 – 8.33	5.00
ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำเฉลี่ยรายปี	มิลลิเมตร	112.33 - 176.67	1,757.00
ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง	มิลลิเมตร	97.35 – 175.06	1,564.29

ที่มา: กรมชลประทาน (2553)

1.2.2 ปริมาณฝน

สภาพปริมาณน้ำฝนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง (รายงานโครงการติดตั้งระบบโทรมาตรเพื่อพยากรณ์เดือนภัยในลุ่มน้ำแม่วังทอง, กรมชลประทาน 2553) ซึ่งสรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้การวิเคราะห์ปริมาณฝนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองได้ทำการศึกษาปริมาณกระจายตามพื้นที่ โดยคัดเลือกสถานีวัดปริมาณฝนที่ตั้งอยู่ภายในลุ่มน้ำแม่วังทองจำนวน 10 สถานี และสถานีวัดปริมาณฝนที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำข้างเคียงจำนวน 5 สถานี การวิเคราะห์ปริมาณฝนเฉลี่ยและแนวโน้มฝนในลุ่มน้ำของสถานีวัดจำนวน 10 สถานี ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2495 – 2552 พบว่ามีค่าปริมาณฝนเฉลี่ยสูงสุด 261.65 มิลลิเมตรในเดือนกันยายน และต่ำสุด 4.36 มิลลิเมตร ในเดือนธันวาคม ดังใน ตารางที่ 2 ส่วนใหญ่มีปริมาณฝนตกมากที่สุดในช่วงเดือน พฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยรายปีในลุ่มน้ำอยู่ในพิสัย 1,021.31 ถึง 1,674.40 มิลลิเมตร โดยแนวโน้มปริมาณฝนที่ตกสะสมในพื้นที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จำนวนวันฝนตกจากการวิเคราะห์ข้อมูลของสถานีวัดปริมาณฝนลุ่มน้ำแม่วังทองและลุ่มน้ำข้างเคียงจำนวน 15 สถานี พบว่าสถานีที่มีจำนวนวันฝนตกรายปีเฉลี่ยมากที่สุด 121.50 วัน คือ สถานีบ้านโป่งน้ำร้อน อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก และมีค่าต่ำที่สุด 63.61 วัน คือ สถานีบ้านบึงคล้า อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ สำหรับในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองมีจำนวนวันฝนตกรายปีเฉลี่ย 98.66 วัน โดยเดือนที่มีจำนวนวันฝนตกมากที่สุดคือเดือนสิงหาคม มีค่า 17.10 วัน และเดือนที่มีจำนวนวันฝนตกน้อยที่สุดคือเดือนธันวาคมมีค่า 0.46 วัน

ตารางที่ 2 ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยในกลุ่มน้ำแม่วังทอง

หน่วย:มิลลิเมตร

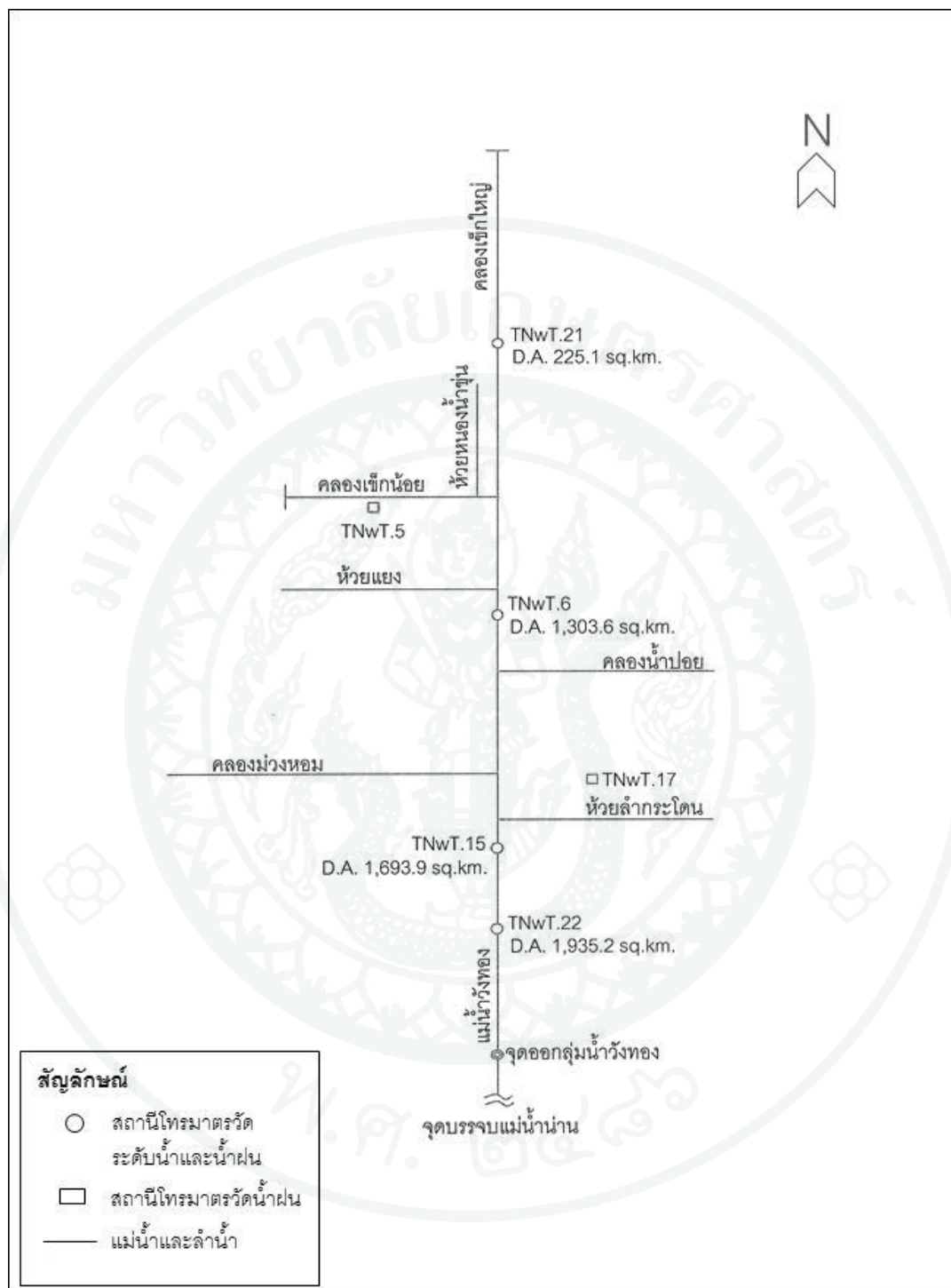
เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
100.07	220.13	179.21	183.53	237.99	261.65	123.36	26.04	4.36	5.34	15.27	44.46

1.2.3 ปริมาณน้ำท่า

สภาพปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง (กรมชลประทาน, 2553) สรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่ารายปีสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองจะใช้ข้อมูลที่ได้มีการตรวจบันทึกไว้ของสถานีวัดน้ำท่าที่มีสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง จำนวน 3 สถานี และในพื้นที่ลุ่มน้ำข้างเคียงจำนวน 12 สถานี เพื่อศึกษาถึงลักษณะปริมาณน้ำท่ารายปีที่ไหลเข้าสู่ลุ่มน้ำแม่วังทอง โดยผลการวิเคราะห์ได้ปริมาณน้ำท่ารายปีต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝนของลุ่มน้ำแม่วังทองและลุ่มน้ำข้างเคียงอยู่ในช่วงพิสัย 5.23 – 33.87 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร โดยมีค่ามากที่สุดที่สถานี N.73 ซึ่งเป็นสถานีในลุ่มน้ำแม่วังทอง และน้อยที่สุดที่สถานี Y.17 ในลุ่มน้ำยมตอนล่าง ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของทุกสถานีและปริมาณน้ำท่ามีปริมาณมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน

1.3 ระบบลุ่มน้ำ-ลำน้ำ

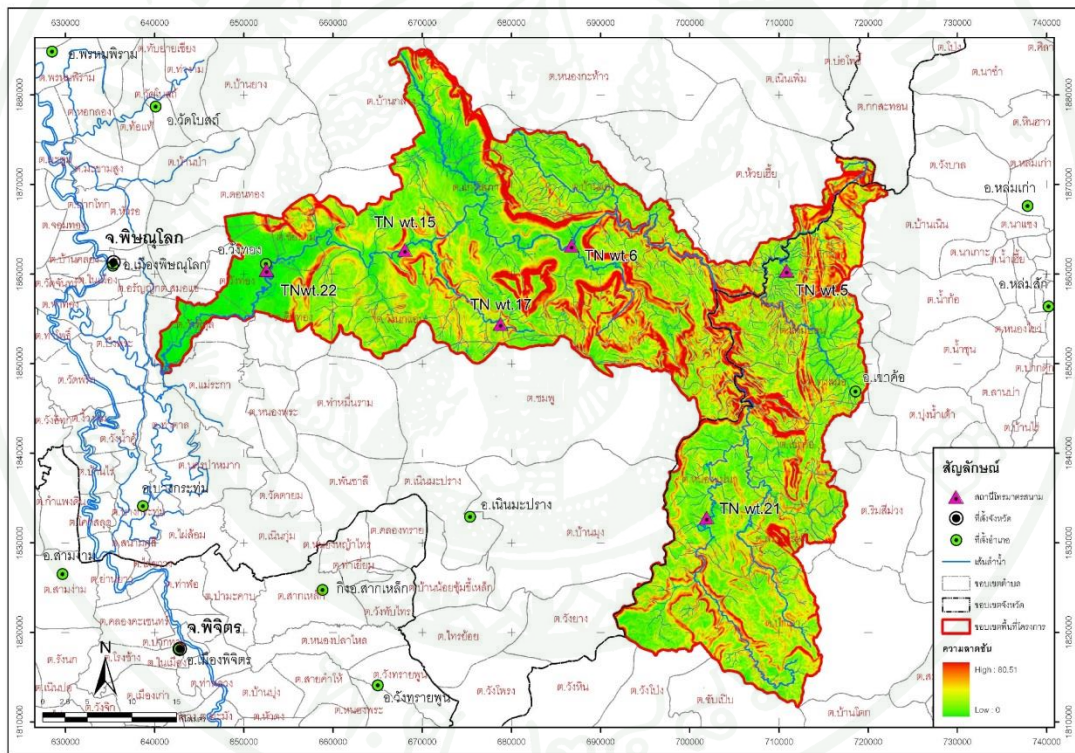
ลำน้ำสาขาที่สำคัญของลุ่มน้ำแม่วังทองได้แก่ ห้วยหนองน้ำจุ่นมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 123 ตารางกิโลเมตรไหลไปบรรจบคลองเข็กน้อย, ห้วยเสด็จแห่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 131 ตารางกิโลเมตร ไหลไปบรรจบคลองเข็กใหญ่, ห้วยแยงมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 97 ตารางกิโลเมตรไหลลงแม่น้ำวังทอง, คลองน้ำปอยมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 194 ตารางกิโลเมตร ไหลลงแม่น้ำวังทองที่บ้านปอย, คลองม่วงหอมมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 154 ตารางกิโลเมตรไหลลงแม่น้ำวังทองและห้วยลำกระโดนมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 103 ตารางกิโลเมตรไหลลงแม่น้ำวังทอง ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบกลุ่มน้ำลำน้ำของกลุ่มน้ำแม่วังทอง

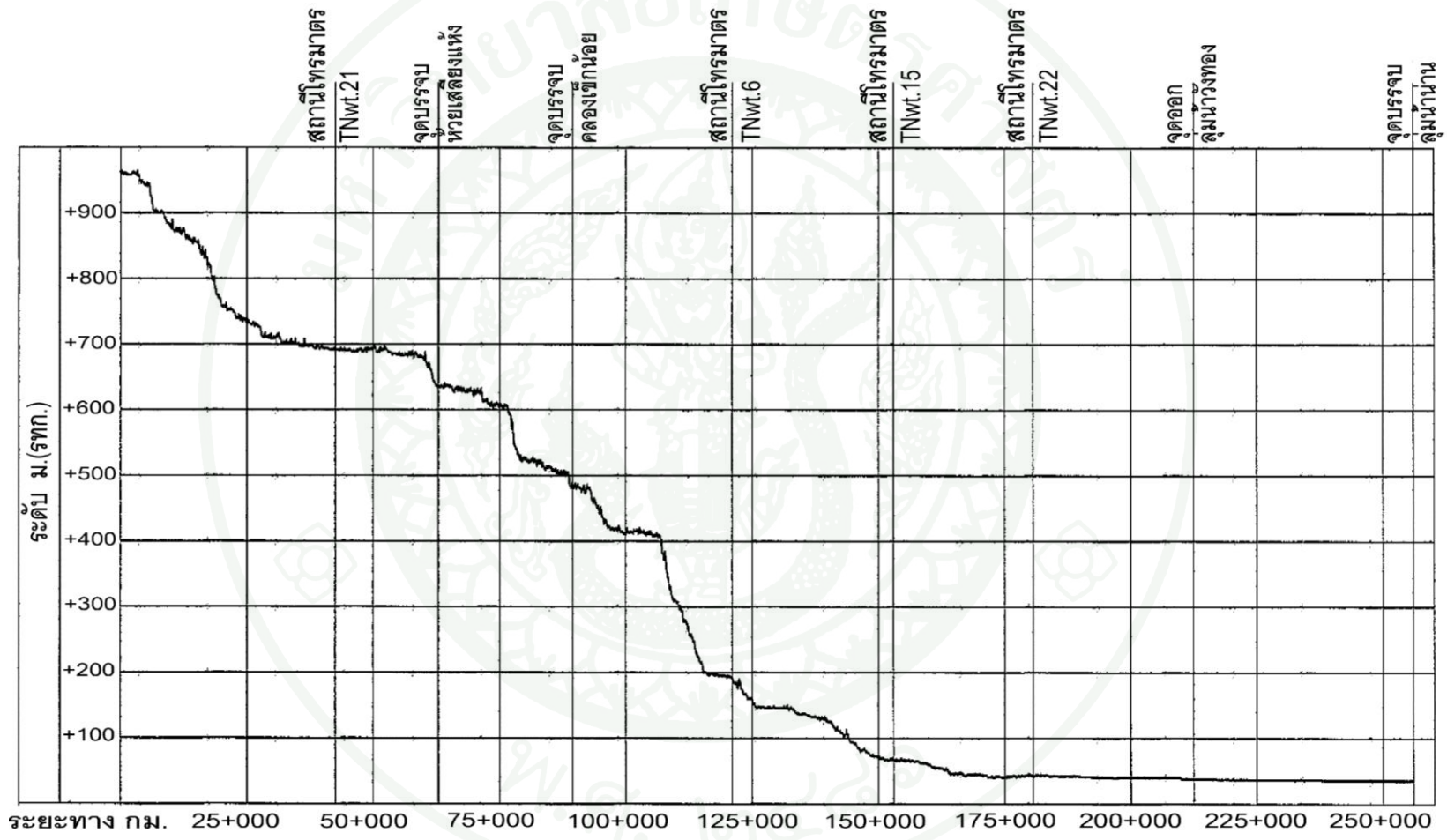
1.4 สภาพชลศาสตร์ของลำน้ำ

สภาพชลศาสตร์ของลำน้ำจากต้นน้ำคลองเข็กใหญ่ถึงจุดบรรจบแม่น้ำวังทองและถึงจุดออกคู่ม้วนน้ำ โดยแบ่งความลาดชัน 5 ช่วง โดยช่วงแรกจากต้นน้ำถึงประมาณกิโลเมตรที่ 28 ความลาดชันประมาณ 1 : 112 ช่วงที่ 2 จากกิโลเมตรที่ 28 ถึงกิโลเมตรที่ 62 ความลาดชันลดลงเป็น 1 : 438 ช่วงที่สาม กิโลเมตรที่ 62 ถึงจุดบรรจบเข็กน้อยประมาณกิโลเมตรที่ 89 ความลาดชันเพิ่มขึ้นเป็น 1 : 178 ช่วงที่สี่ จากท้ายจุดบรรจบเข็กน้อยถึงประมาณกิโลเมตรที่ 152 จะมีความลาดชันเป็น 1 : 149 และช่วงสุดท้าย กิโลเมตรที่ 152 ถึงจุดออกแม่น้ำน่านความลาดชันลดลงเป็น 1 : 2,150 รวมเป็นระยะทาง 252 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4 และความชันสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความลาดชันในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง

ที่มา: กรมชลประทาน (2553)



ภาพที่ 4 รูปตัดตามยาวลำน้ำต้นน้ำคลองเข็กใหญ่ถึงจุดบรรจบแม่น้ำน่าน

1.5 ทรัพยากรดิน

ทรัพยากรดินตามภูมิประเทศของกลุ่มน้ำแม่วังทองที่สำคัญ สามารถจำแนกได้ดังนี้

1.5.1 ดินในเขตเทือกเขา ทิวเขา และภูเขาสูง พบตามบริเวณที่สูงทางขอบตะวันออกของกลุ่มน้ำ (บริเวณเขตรอยต่อจังหวัดพิจิตร โลก และเพชรบูรณ์) ดินประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นดินต้นที่ไม่มีการพัฒนาชั้นดินล่าง เนื่องจากเป็นดินในเขตเทือกเขา ทิวเขาและภูเขาสูง ซึ่งมีความต่างระดับและมีความลาดชันสูง ทำให้ตะกอนวัตถุต้นกำเนิดถูกพัดพาเคลื่อน ย้ายอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้กระบวนการทางดินและพัฒนาการทางดินไม่ต่อเนื่อง โดยธรรมชาติดินประเภทนี้จะมีความอุดมสมบูรณ์สูงในช่วงแรกเพราะได้รับธาตุอาหารที่ผุสลายจากหินและแร่ในพื้นที่ภูเขาสูงก่อนจะถูกชะล้างธาตุอาหารออกไป ตามหลักการจำแนกดินจัดดินประเภทนี้อยู่ในอันดับดินเอนทิซอลส์ (Entisols)

1.5.2 ดินในเขตลาดเชิงเขา ที่ดินเชิงเขา และที่ดอนสูง ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านต้นน้ำและบริเวณตอนกลางของกลุ่มน้ำ ดินประเภทนี้เป็นดินที่มีพัฒนาการทางดินมานาน โดยวัตถุต้นกำเนิดได้จากพื้นที่เทือกเขา ทิวเขา และภูเขาสูง ดินประเภทนี้จะถูกชะล้างเนื่องจากอยู่ในเขตลาดเชิงเขา ที่ดอนเชิงเขา และที่ดอนสูง ซึ่งเป็นภูมิประเทศที่มีความต่างระดับและความลาดชันค่อนข้างมาก การถูกชะล้างทำให้ธาตุอาหารถูกชะล้างออกไปด้วย โดยเฉพาะธาตุอาหารที่เป็นค่า จากนั้นก็มีการพัฒนาชั้นดินล่างเป็นชั้นดินต่าง ๆ ตามหลักการจำแนกดิน จัดดินประเภทนี้อยู่ในอันดับดินอัลทิซอลส์ (Ultisols)

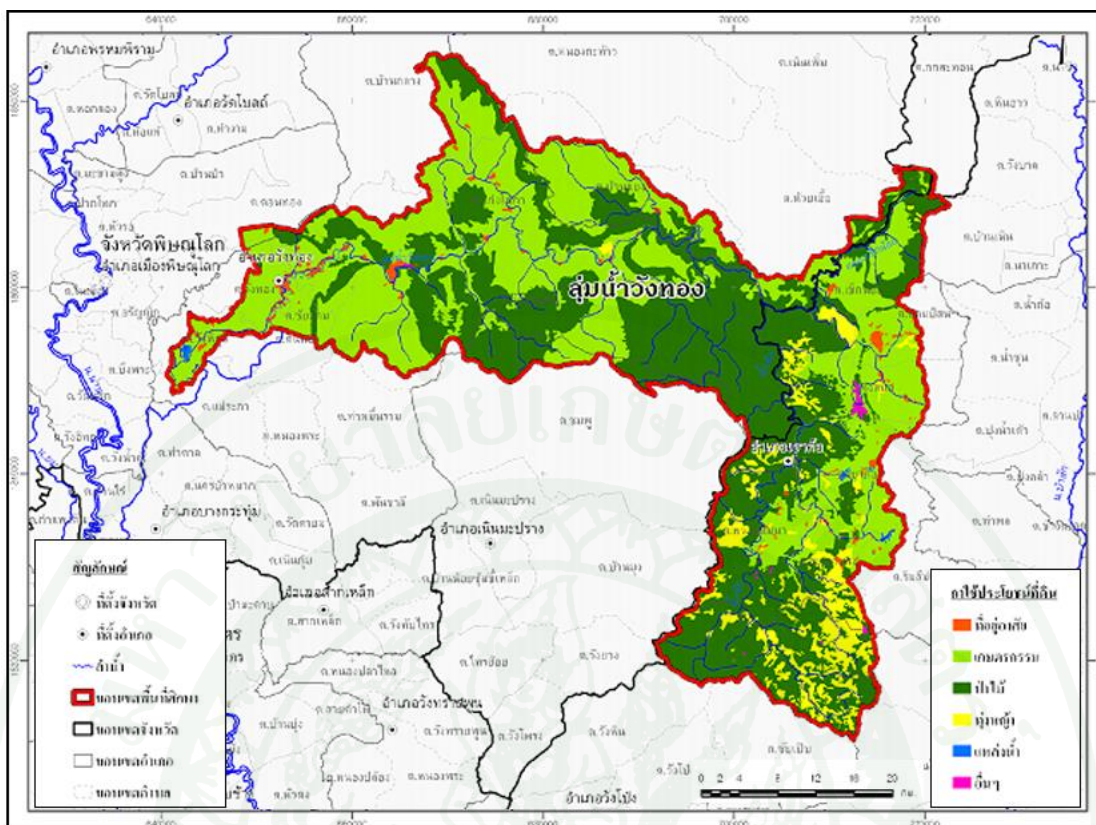
1.5.3 ดินในเขตที่ดอนต่ำ พบในบริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำบริเวณใกล้จุดบรรจบกับแม่น้ำน่าน ดินประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นดินที่มีการชะล้างออกมากกว่าการสะสม เช่นเดียวกับดินในเขตที่ลาดเชิงเขาที่ดินเชิงเขา และที่ดอนสูง แต่ความรุนแรงของการชะล้างจะน้อยกว่าเนื่องจากมีความต่างระดับและความลาดชันน้อยกว่า จากนั้นก็จะมีการพัฒนาชั้นดินล่างเป็นชั้นดินต่าง ๆ ดินประเภทนี้จะมีธาตุที่เป็นค่าอยู่ในหน้าตัดดินมากกว่าดินในเขตที่ดอนสูง ตามหลักการจำแนกดินจัดดินประเภทนี้อยู่ในอันดับดินแอลฟิซอลส์ (Alfisols)

1.6 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำแม่วังทอง ส่วนใหญ่เป็นการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรมและเป็นพื้นที่ป่าไม้ (ร้อยละ 44.93 และ 46.4 ตามลำดับ) นอกนั้นเป็นพื้นที่ที่อยู่อาศัย (ร้อยละ 1.3) ทุ่งหญ้า แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ (ร้อยละ 6.6 0.5 และ 0.2 ตามลำดับ) ดังแสดงใน ภาพที่ 5 และตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำแม่วังทอง

ลำดับที่	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	สัญลักษณ์	พื้นที่(ไร่)	ร้อยละ
1	เกษตรกรรม	A	565,802	44.93
2	ป่าไม้	F	584,310	46.40
3	เบ็ดเตล็ด	M	85,740	6.81
4	ที่อยู่อาศัย	U	16,877	1.34
5	แหล่งน้ำ	W	6,583	0.52
	รวม		1,259,312	100.00



ภาพที่ 5 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำแม่วังทอง

ที่มา: กรมชลประทาน (2553)

1.7 การเกษตรกรรม

สภาพการเกษตรในบริเวณลุ่มน้ำแม่วังทอง พบว่าในพื้นที่ในเขตชลประทาน ปัจจุบันเกษตรกรยังคงนิยมปลูกข้าวในฤดูฝนเป็นส่วนใหญ่ และจะมีการปลูกพืชไร่ ได้แก่ ข้าวโพด หอม กระเทียม ในฤดูแล้ง (เมื่อมีน้ำพอเพียง) พื้นที่นอกเขตชลประทาน ปัจจุบันเกษตรกรอาศัยน้ำฝนในการเพาะปลูก โดยยังคงปลูกข้าวไร่ ข้าวโพด งาม และมันสำปะหลังหลังปฏิทินการปลูกพืช ดังแสดงในภาพที่ 6

ระบบปลูกพืช	ม.ค.	พ.ค.	มิ.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
เขตชลประทาน	ข้าวนาปรัง				ข้าวนาปี							
	ถั่วเหลือง ถั่วลิสง				ข้าวนาปี							
นอกเขตชลประทาน					พืชอายุสั้น				ข้าวนาปี			
					พืชไร่ เช่นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์				พืชอายุสั้น			
มันสำปะหลัง ไม้ผล												

ภาพที่ 6 ปฏิทินการปลูกพืชแต่ละชนิดในกลุ่มน้ำแม่วังทองในปัจจุบัน

ที่มา: กรมชลประทาน (2553)

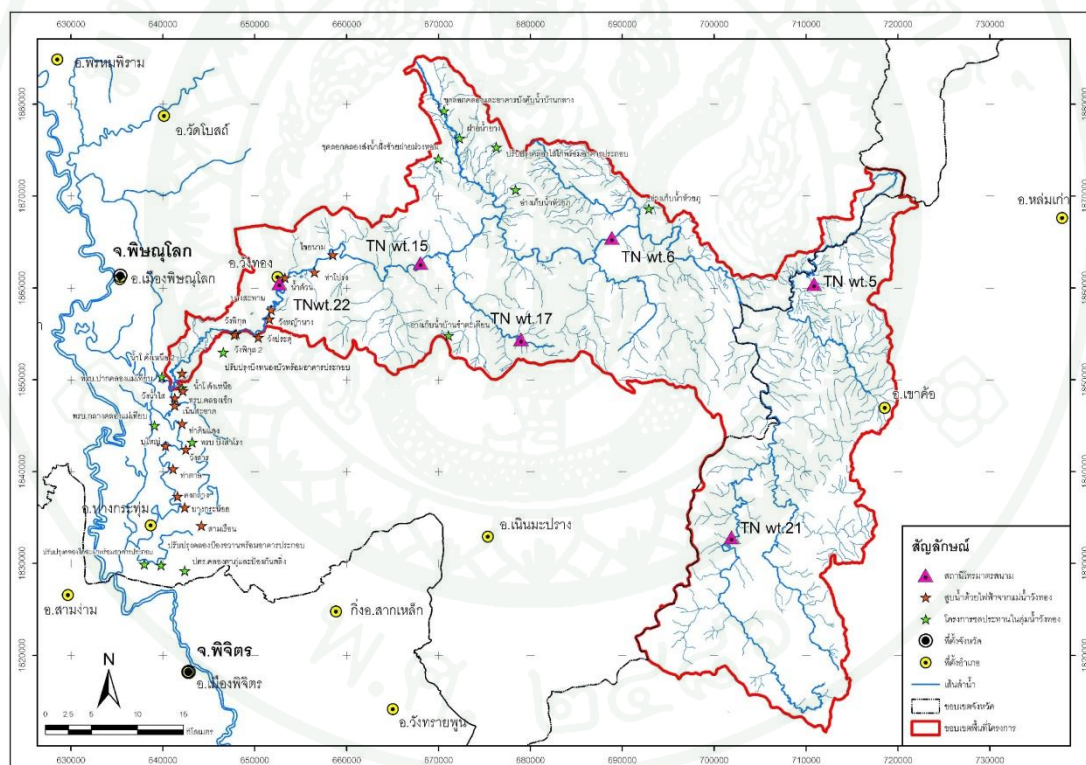
1.8 โครงการชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำ

เนื่องจากในปัจจุบันลุ่มน้ำแม่วังทองไม่มีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่จะสามารถเก็บกักน้ำต้นทุนไว้ได้ โครงการที่มีจึงเป็นลักษณะการก่อสร้างประตูระบายน้ำกลางคลองเพื่อเก็บกักน้ำไว้ในลำน้ำ จากข้อมูลของโครงการชลประทานพิษณุโลกพบว่าลุ่มน้ำแม่วังทองมีโครงการชลประทานขนาดกลาง-เล็ก รวม 18 โครงการพื้นที่ชลประทาน 65,670 ไร่ และโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าจำนวน 19 โครงการ พื้นที่รับประโยชน์ 29,200 ไร่

สถานีโทรมาตรโทรมาตรสนามจำนวน 6 สถานี เป็นสถานีที่ทำการตรวจวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝน และข้อมูลระดับน้ำ เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง ได้แก่ สถานี TNwt.21 บ้านหนองแม่เฒ่า สถานี TNwt.5 บ้านเล่าลือ สถานี TNwt.6 บ้านโป่งปะ สถานี TNwt.17 บ้านร่มเกล้า สถานี TNwt.15 วังนกแอ่น และสถานี TNwt.22 อ่างเก็บน้ำวังทอง ดังแสดงในภาพที่ 7

ความต้องการใช้น้ำในลุ่มน้ำแม่วังทองประกอบด้วย ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานโครงการที่อยู่ในขอบเขตของพื้นที่ศึกษาครั้งนี้มีพื้นที่ชลประทาน 34,790 ไร่ หากความต้องการน้ำจากระบบปลูกพืช ความต้องการน้ำเฉลี่ยปีละ 37.68 ล้าน ลบ.ม.

ความต้องการน้ำอุปโภคบริโภคของปี พ.ศ.2547-2551 พบว่าอัตราการเพิ่มของประชากรในลุ่มน้ำรายตำบลอยู่ระหว่าง -2.17 (ประชากรลดลง) ถึง 3.77 โดยเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.26 ต่อปี จะได้ว่าประชากรในปี พ.ศ.2554 ประมาณ 118,190 คน อัตราการใช้น้ำโดยเฉลี่ย 120 ลิตร/คน/วัน จะได้ว่าความต้องการน้ำในปัจจุบันประมาณ 4.31 ล้าน ลบ.ม./ปี (เดือนละประมาณ 0.36 ล้าน ลบ.ม.) และในอนาคตอีก 20 ปี ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคจะเพิ่มขึ้น 11.16 ล้าน ลบ.ม./ปี



ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งที่ตั้งโครงการชลประทานในลุ่มน้ำวังทอง

ที่มา: กรมชลประทาน (2553)

1.9 การคมนาคม

การคมนาคมขนส่งใช้เส้นทางรถยนต์เป็นหลัก โดยมีระบบโครงข่ายถนนภายในพื้นที่โครงการเชื่อมต่อกับจังหวัดใกล้เคียงได้อย่างสะดวก ทางหลวงแผ่นดินสายหลัก ได้แก่ ทางหลวงหมายเลข 1 ทางหลวงหมายเลข 12 และ ทางหลวงหมายเลข 117 นอกจากนี้ยังมีโครงข่ายถนนท้องถิ่นเชื่อมติดต่อกันระหว่างหมู่บ้านต่าง ๆ กระจายทั่วไปอยู่ในพื้นที่ การคมนาคมทางรถไฟ จากกรุงเทพฯ ไปพิษณุโลก โดยขึ้นรถไฟสายเหนือโดยจะผ่านสถานีรถไฟพิษณุโลก สำหรับการคมนาคมทางอากาศมีสนามบินอยู่หนึ่ง

1.10 การเกษตรและการเลี้ยงสัตว์

การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรมีพื้นที่ร้อยละ 64.92 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ แบ่งเป็น เขตชลประทาน 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 พืชผักที่สำคัญมีผักต่าง ๆ ได้แก่ กระบี่ กวางตุ้ง พริก มะเขือเทศกินผล และมะเขือเทศโรงงาน ส่วนใหญ่ปลูกในที่ลุ่มในฤดูแล้งหลังเก็บเกี่ยวข้าวเสร็จแล้ว ส่วนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ดอนในฤดูฝน และมีปลูกบ้างในพื้นที่นาข้าวในฤดูแล้ง

1.11 ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ

ความต้องการน้ำเพื่อการท่องเที่ยวเนื่องจากกลุ่มน้ำแม่วังทองมีแหล่งท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์และธรรมชาติที่สำคัญอยู่มาก ทำให้มีจำนวนนักท่องเที่ยวเข้าสู่พื้นที่เป็นจำนวนมาก ทำให้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการท่องเที่ยวเป็นความต้องการใช้น้ำที่สำคัญด้านหนึ่งของกลุ่มน้ำแม่วังทอง แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของกลุ่มน้ำได้แก่ อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวงและเขาค้อซึ่งมีสถิตินักท่องเที่ยวตั้งแต่ปี พ.ศ.2545- พ.ศ.2549 โดยมีอัตราการขยายตัวของนักท่องเที่ยวเฉลี่ยร้อยละ 3.20 ต่อปี คิดอัตราการใช้น้ำของนักท่องเที่ยว 250 ลิตร/คน/วัน ระยะเวลาท่องเที่ยว 6 เดือน/ปี ความต้องการน้ำของนักท่องเที่ยวในปัจจุบัน(พ.ศ.2554) เป็น 8.31 ล้าน ลบ.ม./ปี และอนาคตอีก 20 ปี มี

ความต้องการน้ำเพิ่มเป็น 17.65 ล้าน ลบ.ม. ความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำพิจารณา ข้อมูลสภาพน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า N.24 ซึ่งค่าต่ำสุดที่เคยเกิดประมาณ 0.39 ล้าน ลบ.ม.หรือ 0.15 ลบ.ม./วินาที

1.12 ปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่

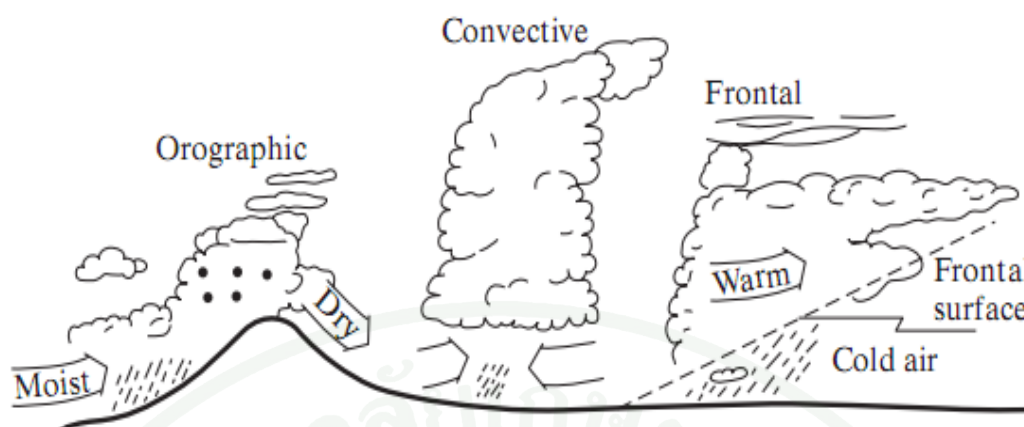
ปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรกรรม เนื่องจากการพัฒนาโครงการด้านแหล่งน้ำเพื่อเก็บกักน้ำมีน้อยทำให้เกษตรกรขาดแหล่งน้ำเพื่อทำการเกษตรกรรมพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่อยู่นอกเขตชลประทาน เกิดการแย่งชิงน้ำเพื่อการเกษตร

ปัญหาอุทกภัย สภาพภูมิประเทศของกลุ่มน้ำแม่วังทองมีความลาดชันสูงตอนต้นน้ำและเป็นแอ่งกระทะตอนล่างของกลุ่มน้ำ ทำให้ปริมาณฝนที่ตกชุกตอนต้นน้ำไหลลงมาสู่ตอนล่างของกลุ่มน้ำอย่างรวดเร็วและเอ่อล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่การเกษตรและบ้านเรือนราษฎรเสียหายเนื่องจากขาดการเตือนภัยล่วงหน้า

2. น้ำจากฟ้า (Precipitation)

น้ำจากฟ้า หรือ น้ำจากอากาศ หมายถึง การที่ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศได้รับความเย็น และกลั่นตัวรวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้น และน้ำหนักมากขึ้นจนไม่สามารถลอยอยู่ได้ในบรรยากาศ จึงตกลงสู่พื้นดิน น้ำจากอากาศดังกล่าวจะตกลงมาสู่พื้นดินในลักษณะต่างๆทั้งของเหลว เช่น ฝนของแข็ง เช่น ลูกเห็บ และผลึก เช่น หิมะ เป็นต้น(หลักอุทกวิทยา, 2533)

การที่ไอน้ำจากอากาศตกลงมาจะต้องมีการกลั่นตัวของไอน้ำ และการที่ไอน้ำจะกลั่นตัวได้อุณหภูมิของมวลอากาศร้อนที่อุ้มไอน้ำไว้จะต้องลดต่ำลงจนถึงจุดน้ำค้าง ดังนั้น ชนิดของน้ำจากอากาศ อาจแบ่งออกตามลักษณะการลอยตัวซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิลดลงและเกิดน้ำจากอากาศตกลงมา ได้ดังนี้ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการเกิดน้ำจากอากาศ

ที่มา: Hydrology and floodplain analysis (2008)

2.1 ฝนพายุหมุน (Cyclonic Rain)

เกิดจากการลอยตัวของมวลอากาศ เมื่อมวลอากาศเหล่านั้นเคลื่อนตัวมารวมกันในบริเวณความกดอากาศต่ำหรือไซโคลน โดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นในที่ราบ ตกเป็นบริเวณกว้าง และตกติดต่อกันหลายวัน

2.2 ฝนจากการพาความร้อน (Convective Rain)

เกิดจากการลอยตัวของมวลอากาศร้อนที่เบากว่าอากาศเย็นรอบๆ ความแตกต่างของอุณหภูมิอาจจะเกิดจากสาเหตุ เช่น การที่พื้นโลกได้รับความร้อนไม่เท่ากัน การเย็นลงไม่เท่ากันของชั้นอากาศที่อยู่ตอนบน และจากกลศาสตร์ของการยกตัว เมื่อมวลอากาศถูกบังคับให้ลอยขึ้น มวลอากาศที่เย็นกว่าหรือลอยข้ามหุบเขาที่กีดขวางฝนแบบนี้จะเกิดเป็นหย่อมๆ และมีความเข้มของฝนแบบปรอยๆ จนถึงแบบพายุฝน ลักษณะของเมฆที่เกิดจากการลอยตัวประเภทนี้จะมีฐานกว้างและมียอดเป็นลำสูงหลายยอด ก่อนฝนตกมักจะมีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง เกิดขึ้นเสมอ

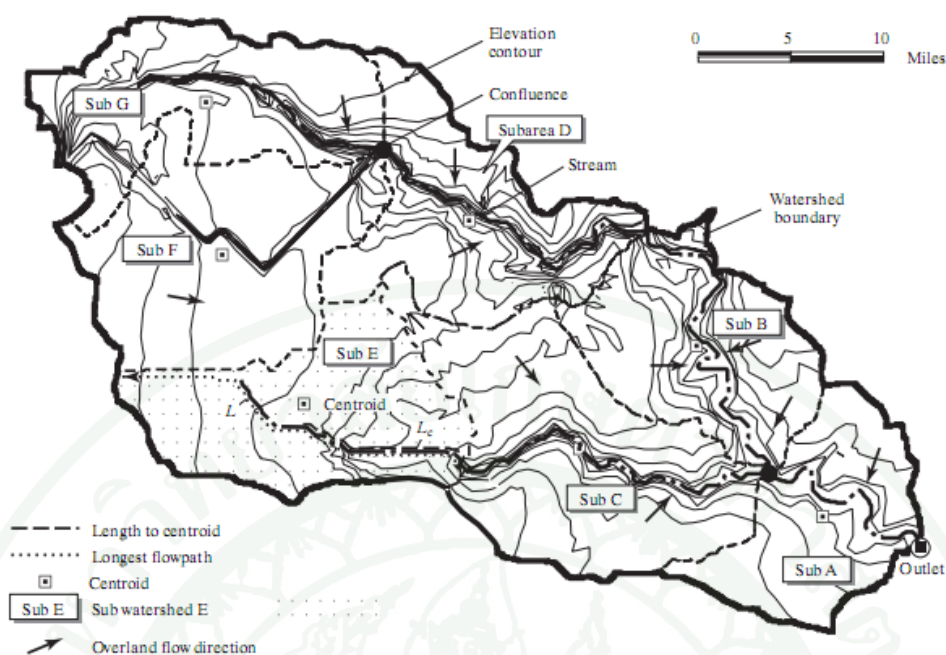
2.3 ฝนแบบปะทะภูเขา (Orographic Rain)

เกิดจากมวลอากาศที่อุ้มไอน้ำพัดไปปะทะภูเขาหรือพื้นโลกที่มีความลาดชันสูงก็จะยกตัวขึ้นไปตามไหล่เขา ทำให้เกิดเมฆเป็นชั้น ๆ ทางด้านหน้าเขาที่รับลม เมื่ออุณหภูมิจากมวลอากาศที่ลอยตัวสูงขึ้นไปเย็นลงถึงจุดน้ำค้างไอน้ำก็จะกลั่นตัวตกลงมาเป็นฝน โดยมากจะตกทางด้านหน้าเขามากกว่าทางด้านหลังเขาการเกิดน้ำจากอากาศในธรรมชาติ อาจเกิดจากชนิดของลักษณะการลอยตัวหนึ่งในสี่ชนิด หรือเกิดร่วมกันได้

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

3. ลุ่มน้ำ

ลุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่นั้น จะไหลออกสู่จุดออกได้แก่ ปากแม่น้ำ หรือจุดที่สนใจ (Point of Concentration) ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่กล่าวถึงพื้นที่ลุ่มน้ำ ต้องระบุให้ชัดเจนว่าเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเหนือจุดใด เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำปิงเหนือเขื่อนภูมิพล มีพื้นที่เท่ากับ 26,386 ตารางกิโลเมตร เป็นต้น ดังนั้นพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับลำน้ำหรือแม่น้ำใดๆจะมีขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อจุดออกหรือตำแหน่งที่พิจารณาในลำน้ำเคลื่อนไปทางด้านท้ายน้ำ เส้นแบ่งเขตลุ่มน้ำ เรียกว่า สันปันน้ำ เป็นเส้นที่วิ่งไปตามแนวสูงสุดของพื้นที่ ฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ที่อยู่นอกสันปันน้ำจะไหลลงไปสู่ลุ่มน้ำอื่น ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะลุ่มน้ำ

ที่มา: Hydrology and floodplain analysis (2008)

4. ขบวนการเกิดน้ำท่า

เมื่อฝนตกลงมาสู่ผิวโลกนั้น น้ำฝนบางส่วนที่ตกลงในป่าจะถูกพืชกักไว้บางส่วนตามใบหรือลำต้น เรียกว่า Interception ซึ่งบางส่วนจะระเหยกลับสู่บรรยากาศ บางส่วนถูกกักไว้โดยอาคารชลศาสตร์ต่างๆและบางส่วนจะหยดต่อลงสู่พื้นดิน (อุทกวิทยาประยุกต์, 2531)

น้ำฝนส่วนที่ตกถึงพื้นดินจะเริ่มซึมลงดินด้วยแรงดึงดูดของเม็ดดินในลักษณะที่เรียกว่า การซึมสู่ผิวดินหรือการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) และจะกลายเป็นน้ำที่ไหลในดินเรียกว่า Subsurface Runoff ในกรณีที่มีเม็ดดินมีความชื้นเดิมน้อยมาก หรือแห้ง อัตราการซึมลงดินในลักษณะนี้จะสูงมาก แต่เมื่อดินอิ่มตัวก็จะลดลงทันทีทันใดเช่นกันน้ำส่วนที่ซึมลงไปอึดตัวอยู่ในดินจะถูกแรงดึงดูดของโลกดูดให้ซึมลึกลงไปอีกเรียกว่า Percolation ซึ่งจะซึมต่อไปถึงระดับน้ำใต้ดินที่มีน้ำอึดตัวขังอยู่เป็นน้ำใต้ดิน เรียกว่า Groundwater น้ำใต้ดินนี้มีหลายระดับชั้นจะค่อยๆ ไหลตามความลาดเทของชั้นดินไปสู่ที่ต่ำอาจเป็นแหล่งขังน้ำใต้ดินอยู่หรืออาจไหลออกสู่แม่น้ำลำธารที่อยู่ต่ำกว่าหรือออกสู่ทะเลโดยตรงก็มี แต่หากบางส่วนที่ซึมลงดินไปแล้วเกิดมีชั้นดินแน่นที่ขวางอยู่น้ำส่วนนี้ก็จะไหล

ไปตามความลาดเทใต้ผิวดินและขนานไปกับชั้นดินแน่นที่บดกแล้ว เรียกว่า Interflow ซึ่งจะไหลออกสู่ผิวดินอีก เป็นลักษณะของน้ำซบค่อยไหลซึมออกไป น้ำที่ซึมลงดินตามชั้นตื้นต่าง ๆ นั้นอาจถูกรากพืชดูดเอาไปใช้ แล้วคายออกทางใบเรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration) ซึ่งจะเป็นจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ดังแสดงในภาพที่ 10

น้ำฝนส่วนที่เหลือจากการซึมลงดินเมื่ออัตราฝนตกมีค่าสูงกว่าอัตราการซึมลงดิน ก็จะเกิดขึ้นอยู่ตามพื้นดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำกว่า เรียกว่า Overland Flow บางส่วนอาจไปรวมตัวอยู่ในที่ลุ่มบริเวณเล็กๆ เรียกว่า Surface Storage แต่ส่วนใหญ่จะรวมตัวกันมีปริมาณมากขึ้น มีแรงเซาะดินให้เป็นร่องน้ำ ลำธาร และแม่น้ำ ตามลำดับ น้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำลำธารเรียกว่า น้ำท่า (Surface Runoff) ตลอดเวลาที่น้ำอยู่ในชั้นตื้นต่างๆ เหล่านี้จะเกิดการระเหยเรียกว่า Evaporation คือ น้ำเปลี่ยนสภาพเป็นไอน้ำขึ้นไปสู่บรรยากาศตลอดเวลา การไหลของน้ำท่าในลำน้ำ แบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

4.1 การไหลของน้ำบนผิวดิน (Surface Runoff หรือ Overland Flow)

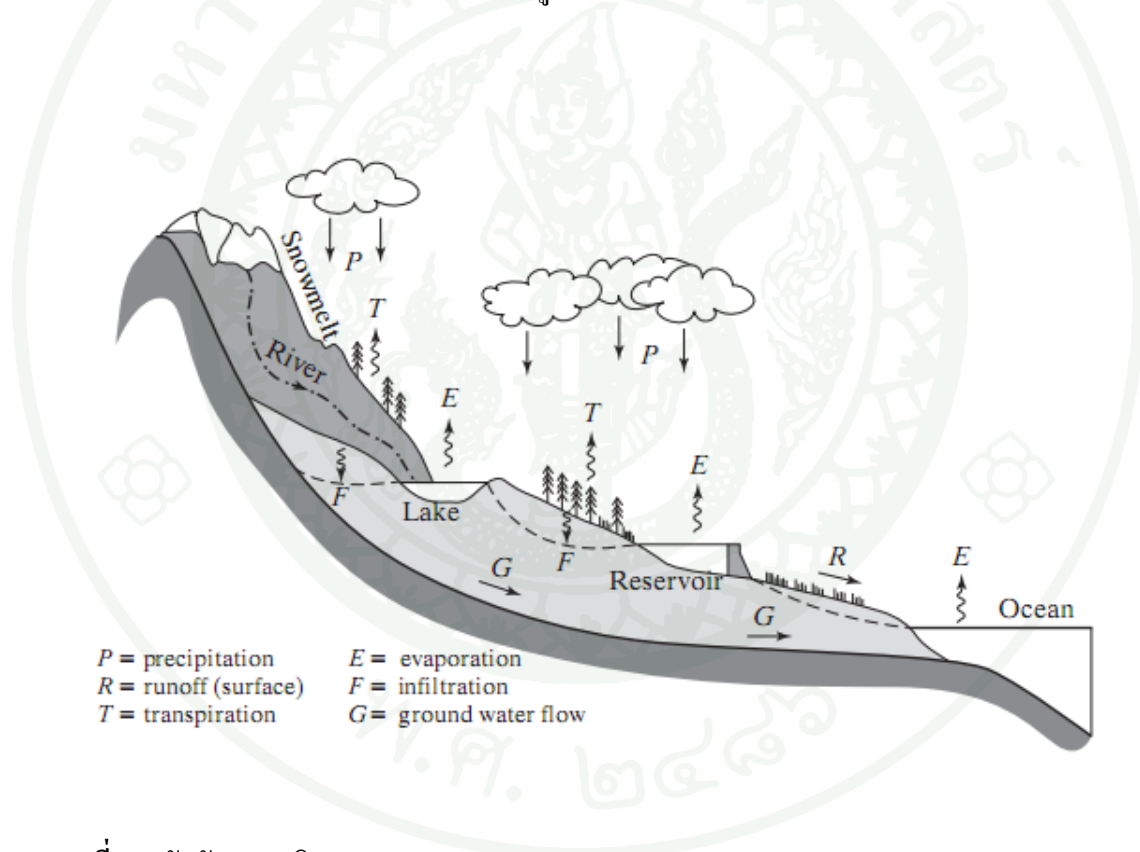
เกิดขึ้นเมื่ออัตราการตกของฝนมากกว่าอัตราการซึมลงดิน การไหลของน้ำท่าจะไหลบนผิวของพื้นที่ลุ่มน้ำลงไปสู่ที่ต่ำกว่าด้วยทางน้ำเล็กๆ จนในที่สุดจะไหลออกสู่ลำน้ำเป็นน้ำในลำน้ำ หลังจากหักการสูญเสียเริ่มแรกออก ซึ่งได้แก่ การซึมลงดินและการเก็บกักที่ผิวดิน การไหลของน้ำท่าบนผิวดิน จะมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่าในลำน้ำโดยตรง และผันแปรไปตลอดช่วงที่มีฝนตกจนกระทั่งฝนหยุดตก หรือหลังจากฝนหยุดตกเล็กน้อย

4.2 การไหลของน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface Runoff หรือ Interflow)

เกิดขึ้นเมื่อน้ำฝนซึมลงดินไปแล้ว เกิดมีชั้นดินแน่นที่ขวางอยู่ น้ำส่วนนี้ก็จะไหลไปตามความลาดเทใต้ผิวดินและขนานไปกับชั้นดินแน่นที่บด น้ำจะมีการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ และมักเป็นการเคลื่อนที่แบบด้านข้าง เป็นลักษณะของน้ำซบค่อยไหลซึมออกสู่ลำน้ำจะเกิดในระหว่างพายุฝนหรือหลังจากเกิดพายุฝน

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



ภาพที่ 10 วัฏจักรอุทกวิทยา

ที่มา: Hydrology and floodplain analysis (2008)

5. แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model)

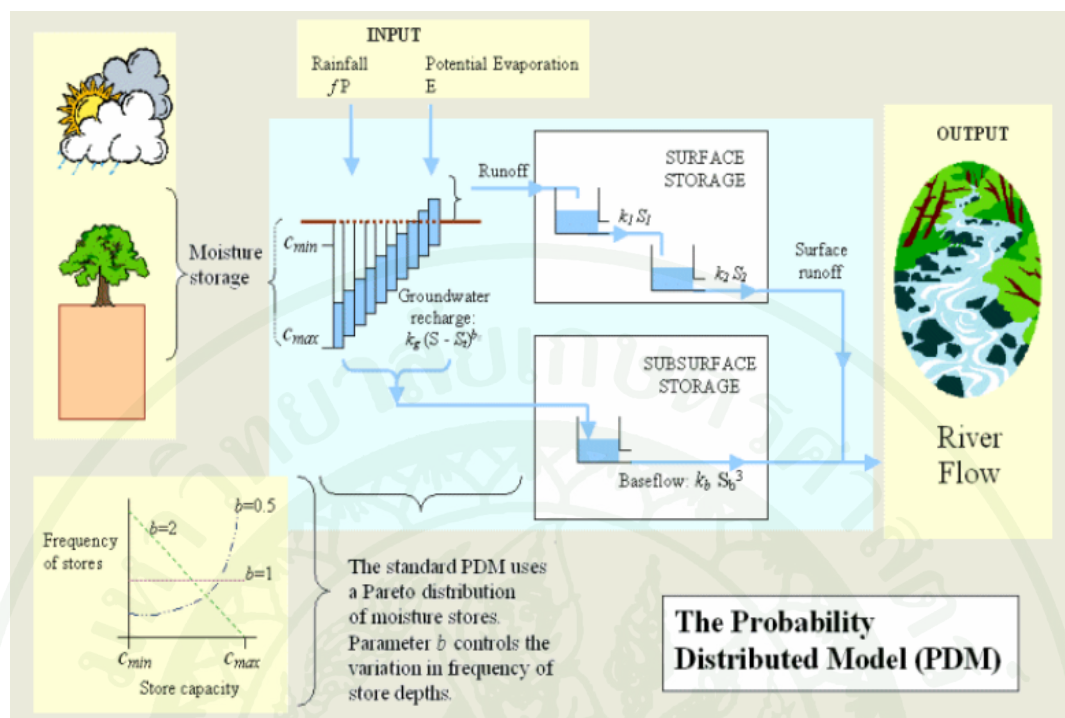
แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model) ที่นำมาศึกษา คือ แบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11-NAM เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับคำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ตกในลุ่มน้ำ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์และตัวแปรเป็นค่าเฉลี่ยตัวแทนของลุ่มน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า InfoWorks PDM

แบบจำลอง InfoWorks-PDM (Probability Distributed Moisture) เป็นแบบจำลองแบบ Deterministic Conceptual Model ที่ทำการคำนวณปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝนในรูปความสัมพันธ์ของ Rainfall-Runoff Relationship ซึ่งในการคำนวณจะเรียกใช้ข้อมูลน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดด้วยระบบโทรมาตรของแต่ละสถานี หรือข้อมูลแบบ Manual Input แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำย่อย (Areal Rainfall of Subasin) โดยเรียกข้อมูลแบบอัตโนมัติ (Automatic data entry) ตามที่ผู้ใช้งานกำหนด

หลักการการทำงานของแบบจำลอง InfoWorks-PDM ซึ่งปรับปรุงขึ้นมาจาก PDM ที่พัฒนาขึ้นโดย Center for Ecology and Hydrology ประเทศอังกฤษ เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอัตราการระเหย โดยมีความสามารถอุ้มน้ำของดินเป็นปัจจัยหลัก ในการควบคุมปริมาณน้ำท่าที่จะไหลออกจากลุ่มน้ำ แต่เนื่องจากดินที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในลุ่มน้ำเดียวกัน จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำแตกต่างกันจึงพัฒนาแบบจำลองบนพื้นฐานของ Probability Distribution โดยที่เมื่อมีฝนตกลงมาจะมีน้ำบางส่วนสูญเสียน้ำไป ส่วนที่เหลืออยู่บนผิวดินจะถูกจำลองให้เป็นการเก็บกักน้ำบนผิวดิน และส่วนที่ซึมลงใต้ดินจะถูกจำลองเป็นแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดิน ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง คือ ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำ ที่เป็นผลรวมของการไหลออกจากแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินและแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดิน โดยมีผังการทำงานของ InfoWorks-PDM ดังแสดงในภาพที่ 11

เมื่อพิจารณาให้ความสามารถในการเก็บกักน้ำ ของแท่งดิน (Soil column) ที่ตำแหน่งใดๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นเสมือนถังเก็บน้ำที่มีความจุ c' เมื่อถึงดังกล่าวได้รับน้ำจากฝน (P) และในขณะเดียวกันก็มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหย (E) ถ้าได้รับน้ำจนกระทั่งน้ำเต็มถึงก็จะล้นออกนอกถังเป็นปริมาณน้ำท่า (q) แต่ในกรณีที่มีการสูญเสียน้ำมากกว่าปริมาณฝน ก็จะไม่ล้นออกนอกถังซึ่งจะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ภาพที่ 11 หลักการและผังการทำงานของแบบจำลอง InfoWorks PDM

ที่มา: Sir William Halcrow&Partners Ltd. and HR Wallingford Ltd (1998)

$$\begin{aligned}
 q &= P - E - (c' - S_0) & ; P > c' + E \\
 &= 0 & ; P \leq c' + E
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

โดยที่ q คือ ปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจากกลุ่มน้ำในช่วงเวลาที่พิจารณา และ S_0 คือระดับน้ำในถังตอนเริ่มต้น เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งใดๆ ในพื้นที่กลุ่มน้ำซึ่งมีความสามารถในการเก็บกักน้ำเท่ากับ c ซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรสุ่ม (Random variable) ที่สัมพันธ์กับ Probability Density Function ($f(c)$) ดังนั้น สัดส่วนของกลุ่มน้ำที่มีพิสัยของระดับน้ำอยู่ในช่วง $(c, c+dc)$ จะเป็น $f(c)dc$

การพิจารณาสมมูลน้ำ เริ่มต้นจากการนำถังน้ำในลุ่มน้ำที่มีความสูงเท่ากันแต่มีระดับน้ำแตกต่างกันไปตามตำแหน่งต่างๆ มาเรียงกันตามลำดับของระดับน้ำจากมากไปหาน้อย ในกรณีที่ลุ่มน้ำแห่งตอนเริ่มต้นถึงน้ำก็จะมีการเก็บกักเป็นศูนย์ และเมื่อมีฝนตกภายในช่วงเวลาที่พิจารณาใน

อัตราสุทธิ P ดังก็จะรับน้ำไว้เป็นความลึกเท่ากับ P แต่ถ้าถึงนั้นมีความสูงที่เหลืออยู่น้อยกว่า P ก็จะเกิดการไหลสั้นออกนอกถัง ดังนั้น ถ้าพิจารณาในช่วงเวลาใดๆ ถึงที่มีความจุเหลืออยู่น้อยก็จะเต็มก่อน แล้วระบายน้ำออกมาเป็นน้ำท่า และเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาพิจารณา ถึงที่มีความจุเท่ากับ P ก็จะเต็มพอดีและเริ่มที่จะระบายน้ำออก โดยทั่วไป จะมีถึงหลายใบที่มีความจุเท่ากัน ดังนั้น ปริมาณน้ำท่าที่จะได้จากลุ่มน้ำจะต้องมาจากการปรับค่าความลึกของน้ำในถังตามความถี่ ซึ่งจะระบุโดย $f(c)$ และเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาพิจารณา ถึงที่มีความจุน้อยกว่า P ก็เริ่มจะระบายน้ำออกมาเป็นน้ำท่า ถ้าให้ C^* เป็นความจุวิกฤตของถังที่มีความจุน้อยกว่า P ซึ่งจะได้รับน้ำเต็มถึงที่เวลา t จึงสามารถเขียนสัดส่วนของลุ่มน้ำที่มีถึงซึ่งมีความจุเท่ากับหรือน้อยกว่าความจุวิกฤตได้ดังนี้

$$\text{Prob}(c \leq C^*) = F(C^*) = \int_0^{C^*} f(c) dc \quad (2)$$

โดยที่ $F(.)$ คือ Distribution Function ของความจุของถังและเกี่ยวข้องกับ Density Function ($f(c)$) ภายใต้อัตราสัมพันธ์ $f(c) = dF(c)/dc$ ซึ่งเป็นสัดส่วนของลุ่มน้ำที่จะให้น้ำท่า เช่นเดียวกัน ดังนั้น จะสามารถคำนวณพื้นที่ของลุ่มน้ำที่จะให้น้ำท่าที่เวลา t ใดๆ ($A_c(t)$) จากลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ A ได้จาก

$$A_c(t) = F(C^*(t)) A \quad (3)$$

และปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ของลุ่มน้ำ ที่ระยะเวลาใดๆ คือผลคูณของอัตราฝนที่ตกสุทธิ ($\pi(t)$) กับสัดส่วนของลุ่มน้ำที่ให้น้ำท่า $F(C^*(t))$ นั่นคือ

$$q(t) = \pi(t) \cdot F(C^*(t)) \quad (4)$$

ที่ช่วงเวลา i ของช่วงเวลาที่ฝนตก ($t, t+\Delta t$) เมื่อสมมุติให้ปริมาณฝน (P_i) และการระเหย (E_i) มีอัตราคงที่ ดังนั้น ฝนสุทธิจะมีอัตรา $\pi_i = P_i - E_i$ นั่นคือ ความจุวิกฤต ($C^*(\pi)$) จะเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลา ดังนี้

$$C^*(\tau) = C^*(t) + \pi_i(\tau - t) \quad ; \quad t \leq \tau \leq t + \Delta t \quad (5)$$

เมื่อเวลาผ่านไป พื้นที่ลุ่มน้ำส่วนที่ให้น้ำทำก็จะขยายออกไปเรื่อยๆ ตามสมการที่ (3) และจะสามารถคำนวณปริมาณน้ำทำต่อหน่วยพื้นที่ของลุ่มน้ำ ตลอดช่วงเวลาที่จะพิจารณา ได้จาก

$$V(t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} q(\tau) d\tau = \int_{C^*(t)}^{C^*(t+\Delta t)} F(c) dc \quad (6)$$

ทั้งนี้ ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ในถังทุกใบจะสูญเสียน้ำไปเนื่องจากการระเหยในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งในขณะที่สูญเสียนั้น น้ำในถังที่มีระดับสูงกว่าจะไหลไปสู่ถังที่มีระดับน้ำต่ำกว่า จนกระทั่งถึงทุกใบในลุ่มน้ำมีระดับน้ำเท่ากัน นั่นคือ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งถึงทุกใบจะมีปริมาณน้ำเท่ากับ C^* เท่ากัน ถึงแม้จะมีความจุแตกต่างกันก็ตาม

การประยุกต์ใช้ InfoWorks-PDM จะทำการแบ่งลุ่มน้ำใหญ่ออกเป็นลุ่มน้ำย่อย และทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Model Calibration and Verification) เพื่อกำหนดค่าความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดน้ำทำในลุ่มน้ำย่อย คือ Model Parameters and Variables ที่เหมาะสมและเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละลุ่มน้ำย่อย เช่น Areal Rainfall Parameters, Time Concentration หรือ Basin Lag, Soil Moisture Profile เป็นต้น

ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด จะใช้การเคลื่อนตัวจากเหนือน้ำมาที่ด้านท้ายน้ำ ซึ่งใช้เป็นการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Flow) และสำหรับการไหลในแม่น้ำคำนวณโดยแบบจำลอง InfoWorks-RS

5.2 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำทำ MIKE11-NAM

แบบจำลอง MIKE11-NAM เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำทำ ใช้สำหรับคำนวณหาปริมาณน้ำทำโดยข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Rainfall-Runoff) การพยากรณ์น้ำหลากจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ย่อยโดยใช้คลอง ถนน ทางรถไฟ เป็นต้น ในแต่ละพื้นที่ย่อยจะมีการคำนวณปริมาณน้ำทำตามเวลา

การคำนวณน้ำฝน-น้ำทำ จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลเริ่มต้น การไหลของแต่ละพื้นที่ย่อยจะไหลลงลุ่มน้ำแม่วังทองและลำน้ำสาขา โดยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำทำเป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ได้อย่างอัตโนมัติกับแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model) โดยจำลอง

สภาพน้ำท่าอย่างต่อเนื่องเริ่มจากปริมาณน้ำฝนที่กลายเป็นน้ำท่า (Direct Effective Rainfall) รวมถึงการพิจารณาการระเหยในพื้นที่น้ำท่าวม

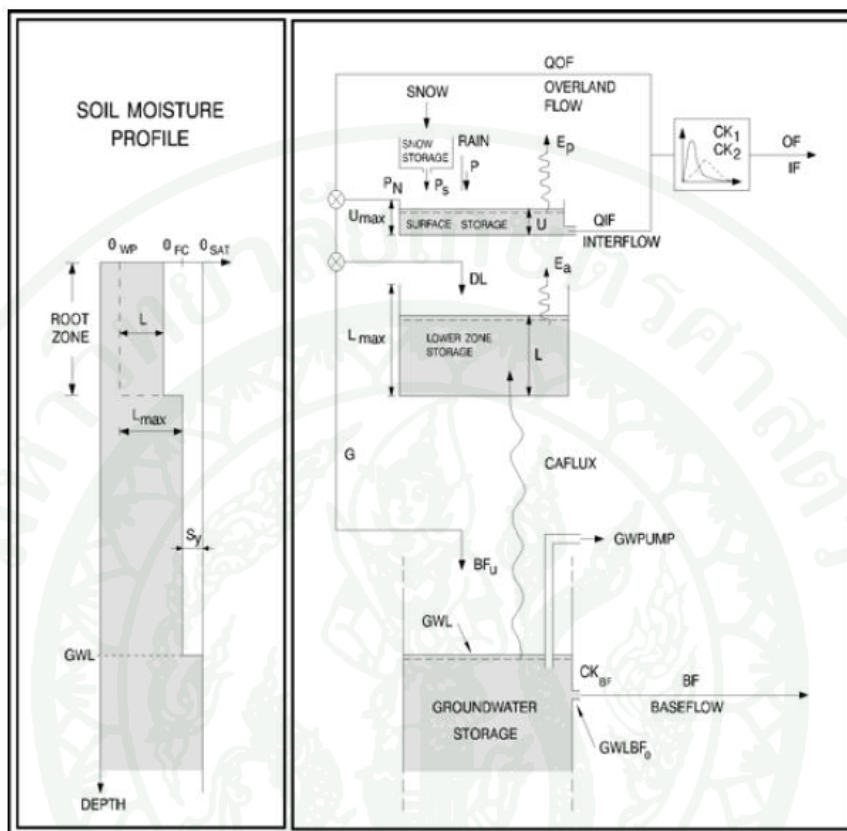
แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (NAM Model) ใช้จำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่า โดยแบ่งเป็น 4 ส่วน ตามความชื้น (Moisture Content) เพื่อแทนลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ Snow Layer : การไหลของน้ำจากการละลายของหิมะ Surface Zone : การไหลของน้ำผิวดิน Root Zone : การไหลของน้ำในชั้นรากพืชถึงระดับที่พืชดึงน้ำมาใช้ได้ Ground Water : การไหลของน้ำใต้ดิน

สำหรับแต่ละพื้นที่ย่อย แบบจำลองจะคำนวณน้ำท่าตามเวลาจากข้อมูลน้ำฝนและการระเหย โดยแบบจำลองสามารถอธิบายความต่อเนื่องของพารามิเตอร์ต่างๆ ตามเงื่อนไขทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำรวมถึงปริมาณน้ำของการเก็บกักทั้ง 4 ส่วนข้างต้น และแบบจำลองสามารถพยากรณ์น้ำรวมทั้งเหตุการณ์ในอนาคต

ในการประเมินปริมาณน้ำท่า แบบจำลอง NAM จะแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่รับน้ำย่อยโดยใช้สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ เป็นจุดออกของน้ำ (River Outlet) และใช้แนวเขา คลอง ถนน และทางรถไฟเป็นเกณฑ์กำหนดแบ่งทิศทางการไหลของน้ำฝนไปยังพื้นที่รับน้ำย่อยนั้นๆ ในแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อยจะมีการคำนวณปริมาณน้ำท่าตามเวลา โดยแบบจำลองจะคำนวณน้ำท่าตามเวลาจากข้อมูลน้ำฝนและการระเหย ซึ่งแบบจำลองสามารถอธิบายความต่อเนื่องของพารามิเตอร์ต่างๆ ตามเงื่อนไขทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำ รวมถึงปริมาณน้ำของการเก็บกักทั้ง 4 ส่วนข้างต้น การคำนวณน้ำฝน-น้ำท่าจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลเริ่มต้น เพื่อประเมินการไหลของน้ำในแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อยที่จะไหลลงแม่น้ำสายหลักและลำน้ำสาขา โดยจำลองสภาพน้ำท่าอย่างต่อเนื่องเริ่มจากพื้นที่แห้งแล้งจนกระทั่งปริมาณน้ำฝนที่กลายเป็นน้ำท่า (Direct Effective Rainfall) รวมถึงการพิจารณาการระเหยในพื้นที่การไหลซึมลงใต้ดิน และการไหลระหว่างชั้นดิน ทั้งนี้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ได้ อย่างอัตโนมัติกับแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic Model) ของแบบจำลอง NAM

โครงสร้างของแบบจำลอง เป็นการเลียนแบบวัฏจักรทางอุทกวิทยานผิวดิน โดยน้ำจะถูกเก็บกักในแหล่งต่างๆ เริ่มตั้งแต่ฝนที่ตกลงมาจะถูกดักโดยพืชและซังตามทีลุ่มในบริเวณชั้นผิวดินอยู่ในรูปของ surface storage โดยมีค่าเก็บกักสูงสุดเท่ากับ U_{max} ซึ่งปริมาณน้ำใน surface storage (U) จะลดลงอย่างต่อเนื่องโดยการระเหย การให้น้ำของพืช และการไหลในแนวราบ (interflow) ปริมาณน้ำในชั้นนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณฝนแต่เมื่อปริมาณน้ำขึ้นถึงระดับ U_{max} น้ำส่วนเกิน P_n

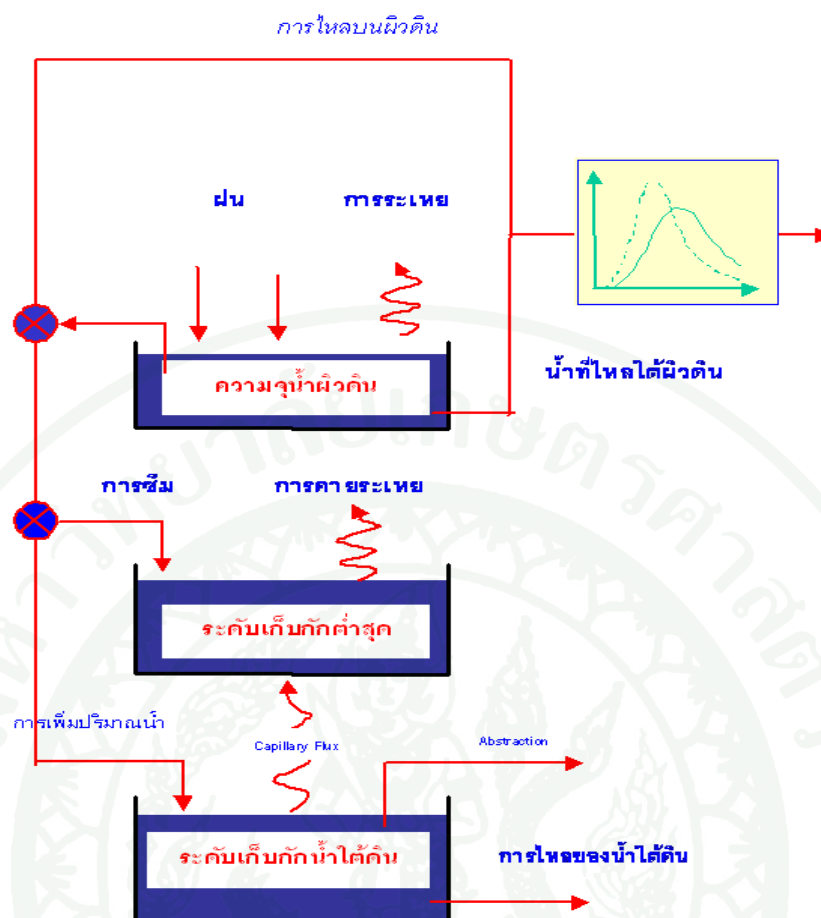
จะไหลออกในลักษณะ Overland flow และมีบางส่วนไหลซึมลงสู่ Lower storage และ Groundwater storage ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ลักษณะโครงสร้างของแบบจำลอง MIKE 11 – NAM

ที่มา: MIKE11 User Guide (2007)

ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลฝนรายวันและปริมาณการระเหยจากถาดรายวัน (Potential Evaporation) ผลที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นปริมาณน้ำท่ารายวันซึ่งแสดงถึงลักษณะการเกิดของน้ำท่าจากผลของอุทกวิทยา เช่น การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินและการไหลของน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 13 โครงสร้างของแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า

ที่มา: พงษ์รัตน์ (2556)

แบบจำลอง NAM จะกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยเป็นหนึ่งหน่วย ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จะเป็นค่าเฉลี่ยตัวแทนของลุ่มน้ำพารามิเตอร์ บางตัวสามารถประมาณจากลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำ เช่น ความลาดชันของลุ่มน้ำ ความลาดชันของแม่น้ำ ความหนาแน่นของแม่น้ำในลุ่มน้ำ ลักษณะดิน ลักษณะชั้นดินและชนิดของพืชที่ปลูกแต่ในที่สุดค่าพารามิเตอร์จะประมาณได้จากการเทียบมาตรฐานของข้อมูลที่สอดคล้องกัน

จากภาพที่ 13 เมื่อฝนตกลงมา ปริมาณฝนส่วนหนึ่งจะไหลลงสู่แม่น้ำลำธาร ในขณะที่อีกส่วนจะสะสมเป็นความชื้นในชั้นผิวดิน จนกระทั่งเกินความจุของชั้นผิวดินจึงจะไหลล้นลงสู่ดินชั้นรากพืช และชั้นน้ำใต้ดิน ในขณะที่เดียวกันก็จะมีการระเหย และการดูไปใช้โดยพืช จากชั้นผิวดิน และชั้นรากพืช และในชั้นน้ำใต้ดินจะมีปริมาณน้ำส่วนหนึ่งที่ไหลซึมออกสู่แม่น้ำลำธารเป็น

Baseflow ซึ่งเมื่อรวมกับปริมาณน้ำที่ไหลออกจากชั้นผิวดินต่างๆ ก็จะได้ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำลำธารทั้งหมด ซึ่งความสัมพันธ์ของการไหลระหว่างชั้นดิน และการไหลออกจากกลุ่มน้ำจะถูกแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดได้จริงในแม่น้ำ สามารถเขียนแทนด้วยสมการดังนี้

Q_{OF} จะเป็นส่วนของ P_n ที่แปรสภาพเป็น overland flow โดยจะเป็นสัดส่วนกับ P_n และแปรผันโดยตรงกับค่าความจุความชื้นสัมพัทธ์ในดิน (L/L_{max}) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{OF} = \begin{cases} CQ_{OF} \frac{L/L_{max} - TOF}{1 - TOF} P_n & \text{for } L/L_{max} > TOF \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq TOF \end{cases} \quad (7)$$

CQ_{OF} = overland flow runoff coefficient

TOF = ค่าคงที่ที่น้ำเริ่มแปรสภาพเป็น overland flow

ปริมาณน้ำส่วนที่กลายเป็น interflow จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำเก็บกักชั้นบน (U) และขึ้นกับปริมาณความชื้นในชั้น Lower zone storage (L/L_{max}) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$Q_{IF} = \begin{cases} CK_{IF} \frac{L/L_{max} - TIF}{1 - TIF} U & \text{for } L/L_{max} > TIF \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq TIF \end{cases} \quad (8)$$

CK_{IF} = time constant for interflow โดยทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 500 -1000 ชม.

TIF = ค่าคงที่สำหรับ root zone ที่น้ำเริ่มแปรสภาพเป็น interflow

ปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน P_n (excess rainfall) ส่วนที่ไม่กลายเป็น overland flow จะไหลซึมลงสู่ชั้น Lower zone storage ในปริมาณเท่ากับ $(P_n - Q_{OF})$ ซึ่งน้ำส่วนนี้จะแยกลงสู่ชั้นใต้ดินที่ลึก

กล่าวคือ groundwater storage ในปริมาณเท่ากับ G จะเหลือส่วนที่อยู่ใน Lower zone storage เท่ากับ DL

$$\text{โดยที่ } DL = (P_n - Q_{OF}) - G \quad (9)$$

$$G = \begin{cases} (P_n - Q_{OF}) \frac{L/L_{\max} - TG}{1 - TG} & \text{for } L/L_{\max} > TG \\ 0 & \text{for } L/L_{\max} \leq TG \end{cases} \quad (10)$$

TG = ค่าคงที่สำหรับ root zone ที่น้ำจะเริ่มไหลซึมลงสู่ groundwater storage
($0 \leq TG \leq 1$)

ปริมาณการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration) จะเป็นข้อมูลตัวแรกที่ต้องทราบค่าเพื่อใช้ในการคำนวณในส่วนของ surface storage ถ้าปริมาณน้ำ U น้อยกว่าปริมาณการคายระเหยนี้ พืชจะใช้น้ำจาก Lower zone storage ในอัตรา E_a โดยจะเป็นสัดส่วนกับ E_p (Potential Evapotranspiration) ดังนี้

$$E_a = E_p * L/L_{\max} \quad (11)$$

Capillary Flux ของน้ำจาก groundwater table มายัง Lower zone storage จะกำหนดให้ขึ้นกับความลึกของ groundwater table จากระดับผิวดิน (GWL) และความจุความชื้นสัมพัทธ์ในชั้น Lower zone storage (L/L_{\max}) โดยคำนวณจาก

$$CAFLUX = (1 - L/L_{\max})^{1/2} \left(\frac{GWL}{GWLFL_1} \right)^{-\alpha} = 1 \text{ mm/day} \quad (12)$$

$$\text{เมื่อ } \alpha = 1.5 + 0.45 \text{ GWLFL}_1$$

$GWLFL_1$ = ค่าความลึกของ groundwater table ของดินซึ่งทำให้ capillary flux มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิเมตร/วัน ในสภาพที่ Lower zone storage แห่งสนิท ($L = 0$)

ระดับน้ำใต้ดินจะคำนวณจากปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้ามา คือ G และ capillary flux (CAFLUX) และ baseflow (BF) ซึ่ง baseflow จะคำนวณเป็นการไหลออกจาก linear reservoir โดย time constant CK_{BF}

$$BF = \begin{cases} (GWLBF_o - GWL)s_y (CK_{BF})^{-1} & \text{for } GWL \leq GWLBF_o \\ 0 & \text{for } GWL > GWLBF_o \end{cases} \quad (13)$$

เมื่อ GWL = ความลึกของ groundwater table จากระดับผิวดิน
 $GWLBF_o$ = ความลึกน้ำใต้ดินมากที่สุดที่ทำให้เกิด baseflow
 S_y = Specific yield ของ groundwater reservoir

การเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำในส่วน interflow และ overland flow จะถูก routing ในลักษณะของอ่างเชิงเส้น 2 ครั้ง ด้วยค่าคงที่ของเวลา CK_1 และ CK_2

$$CK = \begin{cases} CK_{par} & OF \leq OF_{min} \\ CK_{par} \left(\frac{OF}{OF_{min}} \right)^{-\beta} & OF > OF_{min} \end{cases} \quad (14)$$

เมื่อ OF = อัตราการไหลของ overland flow (มม./ชม.)
 CK_{par} = ค่าพารามิเตอร์ CK_1 หรือ CK_2 (ชม.)
 OF_{min} = บิดจำกัดต่ำสุดสำหรับ non-linear routing dynamics 0.4 (มม./ชม.)
 β = ค่าสัมประสิทธิ์ตามพลศาสตร์การไหลของ Chezy = 0.33

6. แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model)

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model) ที่นำมาศึกษา คือ แบบจำลอง InfoWorks RS และ MIKE11-HD เป็นแบบจำลองที่ใช้จำลองสภาพการไหลของน้ำในแม่น้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ InfoWorks-RS

แบบจำลอง InfoWorks-RS เป็นการพัฒนาแบบจำลองโดยการรวมคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ของการรวมปฏิบัติการจำลองการไหลจากโปรแกรม ISIS, การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และระบบของฐานข้อมูล จึงทำให้ผู้ใช้งานสามารถปฏิบัติงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสภาพทางชลศาสตร์ของระบบแม่น้ำได้อย่างรวดเร็ว และกำหนดส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบแม่น้ำและทางน้ำไหลได้อย่างแน่นอน เพื่อนำไปสู่การวางแผน จัดรูปแบบการจัดการน้ำ การตรวจสอบ ติดตามและดูแลรักษากระบวนการทำงานของแบบจำลองตั้งแต่ต้นไปจนถึงผลลัพธ์สุดท้าย การแสดงผลลัพธ์ของระบบแสดงได้ทั้งรูปแบบของแผนที่ภูมิศาสตร์ หน้าตัดตามยาว หน้าตัดตามขวางของลำน้ำ พื้นที่น้ำท่วมถึง รวมทั้งจัดทำรายงานผลการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ในรูปแบบของตารางและกราฟคุณสมบัติของโปรแกรม InfoWorks-RS โดยมีดังต่อไปนี้ คือ ขอบเขตของแบบจำลอง การคำนวณทางชลศาสตร์ การควบคุมอาคารชลศาสตร์ การจัดการฐานข้อมูล และด้านการแสดงผล

ทฤษฎีและหลักการทำงานของแบบจำลอง InfoWorks-RS เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองการไหลในทางน้ำเปิด (open channel) และการไหลล้นตลิ่งของโครงข่ายทางน้ำ ทั้งโครงข่ายทางน้ำแบบวงรอบ (loop) และแบบกิ่งก้านสาขาต่างๆ (branch) รวมไปถึงการจำลองสภาพชลศาสตร์ที่เกิดขึ้นในอาคารชลศาสตร์ประเภทต่างๆ ทฤษฎีและหลักการทำงานของแบบจำลองสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ พื้นฐานของการคำนวณและเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง

6.1.1 คำนวณทางชลศาสตร์

โปรแกรม InfoWorks-RS สามารถคำนวณการไหลได้ทั้งการไหลแบบทรงตัวมัน (steady state flow) และการไหลแบบไม่ทรงตัวมัน (unsteady state flow) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. การคำนวณการไหลแบบทรงตัวมัน (Steady state flow)

การคำนวณการไหลแบบทรงตัวมัน มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดค่าสภาวะทางชลศาสตร์เริ่มต้น (Initial condition) ในทุก ๆ จุด (node) และทุก ๆ การต่อเชื่อม (link) ของแบบจำลองโครงข่ายทางน้ำก่อนที่จะนำไปสู่การจำลองสภาพชลศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (unsteady state flow) ในการจำลองการไหลแบบทรงตัวมันจะสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ

1) Direct Method วิธี Direct Method ถือเป็นวิธีการหลักในการหาผลลัพท์ทาง steady state flow ซึ่งมีกระบวนการที่รวดเร็วและแน่นอนกว่า Pseudo-Time stepping และยังต้องการข้อมูลเริ่มต้นที่น้อยกว่า ในการคำนวณสภาพการไหลแบบ steady state อาศัยสมการ Saint-Venant ที่ลดรูปให้อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ ซึ่งจะถูกใช้ในการควบคุมขนาดของช่วงห่างของหน้าตัดในการหาผลลัพท์อย่างอัตโนมัติ และแสดงส่วนของหน้าตัดเสริมที่จำเป็นต้องแทรกลงในแบบจำลองในรูปแบบที่เหมาะสมประเด็นหลักที่นำมาพิจารณาในการคำนวณหาผลลัพท์ของโครงข่ายนั้น ก็คือ การพิจารณาตามกฎทรงมวล และกำหนดให้ระดับน้ำที่หน้าตัดทางน้ำที่จุดบรรจบ/จุดต่อเชื่อม (junction) มีระดับเท่ากัน ซึ่งกระบวนการคำนวณนี้จะทำซ้ำเพื่อปรับแก้ค่าอัตราการไหลและระดับน้ำที่จุดบรรจบของแม่น้ำ จนกว่าผลต่างของอัตราการไหลในระบบจะมีการปรับแก้้น้อยกว่า 0.1% และผลต่างของระดับน้ำน้อยกว่า 1 มม. ที่จุดบรรจบความถูกต้องของการคำนวณจะขึ้นอยู่กับความถูกต้องและความสอดคล้องของช่องว่างหรือระยะห่างระหว่าง 2 หน้าตัด ซึ่งในขณะที่แบบจำลองได้ทำการคำนวณเพื่อหาผลลัพท์โดยใช้หน้าตัดเสริม (interpolated section) แทรกระหว่าง 2 หน้าตัดจริง แบบจำลองจะทำการตรวจสอบและทำการแจ้งหากต้องมีการเพิ่มหน้าตัดจากการสำรวจ หรือมีจำนวนของหน้าตัดเสริมถูกบรรจุอยู่ระหว่างหน้าตัดจริงมากเกินไป ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของหน้าตัดจริงทั้งสองหน้าตัดที่ติดกันที่มีมากเกินไป หรือความโค้งของทางน้ำที่มากเกินไป วิธีนี้จะเร็วกว่า Pseudo-Time stepping เพราะสามารถเจาะจงตัวข้อมูลที่มีปัญหาหรือพื้นที่ส่วนที่มีผลกระทบในแบบจำลอง ซึ่งการชี้ถึงพื้นที่ปัญหาภายใน โดยอัตโนมัติจะเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญ

2) Pseudo-Time stepping Method การคำนวณหาผลลัพท์ด้วยวิธี pseudo-time stepping จะกระทำโดยการประมาณ ค่าอัตราการไหลและระดับน้ำในแต่ละ node เป็นเงื่อนไขกำหนดเริ่มต้นซึ่งเงื่อนไขกำหนดเริ่มต้นเหล่านี้จะถูกใช้สำหรับการจำลองการไหลแบบ steady state โดยก้าวเวลา (time step) ที่ถูกกำหนดอยู่ในเงื่อนไขขอบอย่างคงที่เป็นสิ่งจำเป็นในการหาผลลัพท์ด้วยวิธีการนี้ Time step เริ่มต้นคือสิ่งที่สำคัญสำหรับเริ่มต้นการทำงาน (run) โดยที่ค่า time step จะต้องทำการเปลี่ยนแปลงหากสภาวะเริ่มต้นมีการผันผวนมาก ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลมีความไม่เสถียรมากขึ้น

จึงจำเป็นต้องมีการกำหนด time step ใหม่ (อาจใช้ได้จ้นต่ำกว่า 10 วินาที) โดยที่ค่า time step สามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้จนกระทั่งอัตราการไหลมีความไม่เสถียรน้อยที่สุดแบบจำลองจะทำงานจนกระทั่งความผิดปกติและความไม่แน่นอนทั้งหมดในเงื่อนไขเริ่มต้นที่ประมาณไว้ถูกกระจายไปจนระบบของแบบจำลองมีความเสถียร ซึ่งขบวนการนี้จะต้องใช้เวลานาน โดยเฉพาะแบบจำลองที่มีพื้นที่ที่น้ำท่วม Storage Area ขนาดใหญ่ ซึ่งหน้าแสดงผลจะแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อค่าพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงน้อยมาก (ปกติจะน้อยกว่า 0.5×10^{-3}) และ time step มากกว่า 200-500 วินาที แล้วการคำนวณ steady ก็จะสำเร็จ แต่บางครั้งเป็นการยากที่จะ Run แบบจำลองบางแบบจำลองที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลง time step ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า time step นั้น จะทำให้แบบจำลองเกิดการ diverge (การลู่ออกของตัวแปร) ได้

ข. การคำนวณการไหลแบบไม่ทรงตัวมัน (Unsteady state flow)

สำหรับพื้นฐานการคำนวณการไหลแบบไม่ทรงตัวมันจะอาศัยสมการ Saint-Venant แบบเต็มรูปแบบ ส่วนการแก้ไขสมการทางคณิตศาสตร์จะอาศัยวิธี Preissman four-Point implicit finite difference และวิธีทางเมตริกต์ ในการแก้สมการเพื่อหาผลลัพธ์ในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละระยะทางตามที่ใช้กำหนด การจัดทำแบบจำลองของทางน้ำจะพิจารณาถึงผลกระทบซึ่งกันและกันระหว่างทางน้ำกับการควบคุมภายในและภายนอกของทางน้ำ การพิจารณาสภาพชลศาสตร์ดังกล่าวจะต้องพิจารณาถึงมวลและ โมเมนตัมของรูปร่างของทางน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การไหลแบบพลวัตของทางน้ำ (Hydrodynamic Channel Flows) ในการเคลื่อนตัวของมวลน้ำในทางน้ำเปิดสามารถอธิบายได้โดยสมการ Saint-Venant ซึ่งประกอบด้วย 2 สมการ คือ

(1) สมการต่อเนื่อง (continuity equation)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (15)$$

(2) สมการ โมเมนตัม (Momentum equation)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} - gAS_t = 0 \quad (16)$$

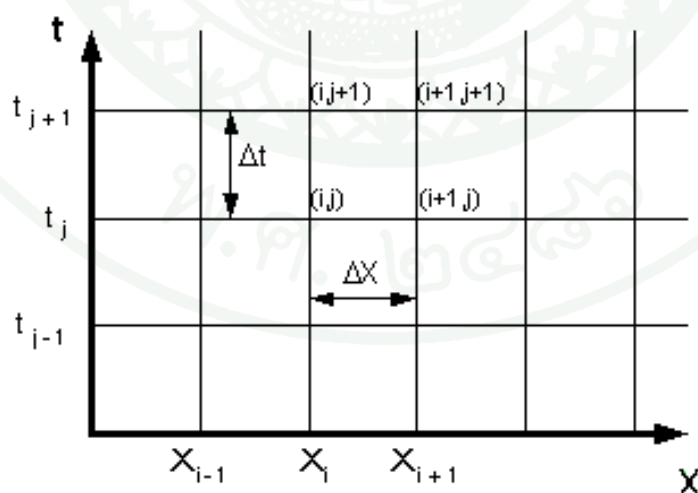
เมื่อ q เป็นอัตราการไหลออกด้านข้าง

$$S_t = \frac{Q|Q|}{K^2} \alpha = \text{FrictionsSlope}$$

และ K เรียกว่า Channel Conveyance โดยคำนวณจาก $K = \frac{A^2 R^{3/2}}{n}$

สมการต่อเนื่องจะนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพระหว่างอัตราการไหลเข้าและไหลออกของพื้นที่ที่พิจารณา สำหรับสมการ โมเมนต์จะใช้เพื่อปรับคุณภาพของแรงที่กระทำต่อมวลของน้ำที่เกิดจากแรงเฉื่อย, การกระจายตัว, แรงดึงดูดของโลกและแรงเสียดทานของทางน้ำ การแก้ปัญหของสมการ Saint-Venant โดยวิธีตรง (Analytically Solution) มีความยุ่งยากและไม่มีความยืดหยุ่นในการคำนวณ ดังนั้น โปรแกรม InfoWorks-RS จึงใช้วิธีทางตัวเลข (Numerical Solution) มาใช้ในการแก้สมการ ซึ่งจะมีความเหมาะสมมากกว่าและให้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับการทำงานในด้านวิศวกรรม ทั้งนี้ โปรแกรม InfoWorks-RS ได้นำวิธีของ Preissman Implicit หรือ Preissman 4 Point มาใช้ในการคำนวณ โดยมีหลักการคำนวณดังนี้

เมื่อให้ค่า f เป็นค่าแสดงความลึกน้ำหรืออัตราการไหล หรือเป็นฟังก์ชันของความลึกน้ำหรือฟังก์ชันของอัตราการไหลที่จุดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 วิธีของ Preissman Implicit

ซึ่งจะได้ว่าค่า f เป็นอนุพันธ์ต่อเนื่องที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับเวลา โดยจะได้ว่า

$$f(x, t) = \frac{1}{2} [\theta (f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1}) + (1 - \theta)(f_{i+1}^j + f_i^j)] \quad (17)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{\Delta x} [\theta \theta (f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1}) + (1 - \theta)(f_{i+1}^j - f_i^j)]$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2\Delta x} [(f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^j) + (f_i^{j+1} - f_i^j)]$$

เมื่อ θ เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1
 f_i^j เป็นค่าของ f ที่ตำแหน่ง (x_i, t_j)

จากการใช้วิธี Preissmann implicit ร่วมกับสมการ Saint-Venant สามารถเปลี่ยนรูปของสมการให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น ดังต่อไปนี้

$$aQ_i^{j+1} + bH_i^{j+1} + cQ_{i+1}^{j+1} + dH_{i+1}^{j+1} = e \quad (18)$$

โดยค่าคงที่ a, b, c, d และ e จะถูกคำนวณใหม่ในทุกๆ ครั้งของการทำซ้ำในแต่ละบัพ

6.1.2 การกำหนดขอบเขตของแบบจำลอง

ขอบเขตหรือเงื่อนไขของแบบจำลอง InfoWorks-RS จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

ก. ขอบเขตภายนอก (External Boundaries)

คุณลักษณะของสมการ Saint-Venant สามารถใช้แสดงได้ทั้งการเกิดสภาวะการไหลต่ำกว่าวิกฤต (Sub-critical flow) และการไหลสูงกว่าวิกฤต (Super-critical flow) โดยการไหลต่ำกว่าวิกฤตจะเกิดคลื่นการไหลไปทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ส่วนการไหลสูงกว่าวิกฤตจะเกิด

คลื่นการไหลไปทางด้านท้ายน้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งการเกิดสภาวะการไหลต่ำกว่าวิกฤตจะเกี่ยวเนื่องจากเงื่อนไขขอบทางด้านเหนือน้ำและเงื่อนไขทางด้านท้ายน้ำ สำหรับการไหลสูงกว่าวิกฤตจะเกี่ยวข้องเฉพาะเงื่อนไขทางด้านเหนือน้ำเท่านั้นการกำหนดรูปแบบของเงื่อนไขขอบเขตจะกำหนด ดังนี้ 1) อัตราการไหลเทียบกับเวลา 2) ระดับน้ำเทียบกับเวลา 3) ระดับน้ำเทียบกับอัตราการไหล

ข. ขอบเขตภายใน (Internal Boundaries)

ในการแสดงโครงข่ายระบบทางน้ำแบบหนึ่งมิติ (one-dimensional) โครงข่ายจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ ด้วยขอบเขตภายใน ซึ่งอาจจะเป็นอาคารควบคุม, การสูญเสียพลังงาน, อ่างพักน้ำหรือบึงพักน้ำ และจุดต่อเชื่อม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) อาคารควบคุม (Control Structures) ในรูปแบบของโครงสร้างต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในทางน้ำเปิดจะมีการกำหนดความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและระดับน้ำที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งโดยปกติจะมีรูปแบบของสมการคำนวณเป็น

$$Q = ah^b \quad (19)$$

โดยที่

- h คือ ระดับความลึก
- a คือ ค่าสัมประสิทธิ์บางค่าที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างนั้น ๆ
- b จะมีค่าตามปกติมากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ในกรณีของฝาย และมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ในกรณีของการไหลอย่างอิสระภายใต้บานระบาย

ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะได้จากการสังเกตตามธรรมชาติและการปรับเทียบค่า ซึ่งโดยปกติจะอ้างอิงกับสมการที่ได้จากการทดลองในเอกสารรายงานหรือการวิจัยต่างๆ ที่มีอยู่ โดยลักษณะของรูปแบบของอาคารควบคุมจะประกอบด้วยรูปแบบดังต่อไปนี้ Abstraction, Arch Bridge, US BPR Bridge, Orifice, Pump, Spill, Radial Sluice Gate, Vertical Sluice Gate, Pond, Bernoulli Loss, Blockage, General Headloss, Round Nosed Broad Crested Weir, Sharp Crested Weir, Flow-Head Control, Gated Weir, Notional Weir, Crump Weir, Weir, Siphon Spillway, Culvert Bend, Culver Inlet, Culvert Outlet

2) อ่างพักน้ำหรือบึงพักน้ำ (Reservoirs) ในการพิจารณาอ่างพักน้ำหรือบึงพักน้ำจะบ่งบอกในลักษณะของพื้นที่เก็บกัก (Storage Area) เทียบกับระดับอ้างอิง โดยสมมติให้ผิวน้ำในพื้นที่เก็บกักอยู่ในแนวราบ และไม่คำนึงถึงผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของผิวน้ำ และการนำยูนิตอ่างพักน้ำมาจำลองเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่น้ำท่วมก็สามารถทำได้การคำนวณสมมูลของอัตราการไหลเข้าและไหลออกเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ (ความสูงพลังงาน) จะพิจารณาจากสมการ

$$\frac{h_{\text{new}} - h_{\text{old}}}{\Delta t} = \frac{Q_{\text{net}}}{\text{Area}} \quad (20)$$

3) การสูญเสียพลังงาน (Losses) การคำนวณการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการขยายออกหรือบีบเข้าของทางน้ำจะใช้สมการของ Bernoulli Loss โดยมีความสัมพันธ์กับกำลังสองของความเร็วน้ำทางด้านเหนือหน้า แสดงดังสมการต่อไปนี้ คือ

$$\Delta H = k \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

4) จุดต่อเชื่อม (Junctions) ในกรณีของการจำลองโครงข่ายแบบวงรอบหรือแบบแขนง ยูนิตจุดต่อเชื่อม (Junction) จะต้องนำมาใช้เพื่อนำมาพิจารณาถึงระดับน้ำของบัพที่จุดต่อเชื่อม โดยใช้กฎทรงมวลและพัฒนาทฤษฎีของเคอร์ซอพมาใช้กับอัตราการไหล ผลกระทบจากปริมาตรเก็บกักของจุดต่อเชื่อมจะไม่นำมาพิจารณา แต่ถ้ามีผลกระทบจากปริมาตรเก็บกักก็สามารถแทนยูนิตจุดต่อเชื่อมได้ด้วยยูนิตอ่างเก็บน้ำได้เช่นกันยูนิตต่อเชื่อมไม่สามารถต่อกับจุดต่อเชื่อมอื่นหรือยูนิตอ่างเก็บน้ำอื่นได้และส่วนที่สามารถนำมาต่อกับจุดต่อเชื่อมมีได้สูงสุดได้ไม่เกินสิบการต่อเชื่อม

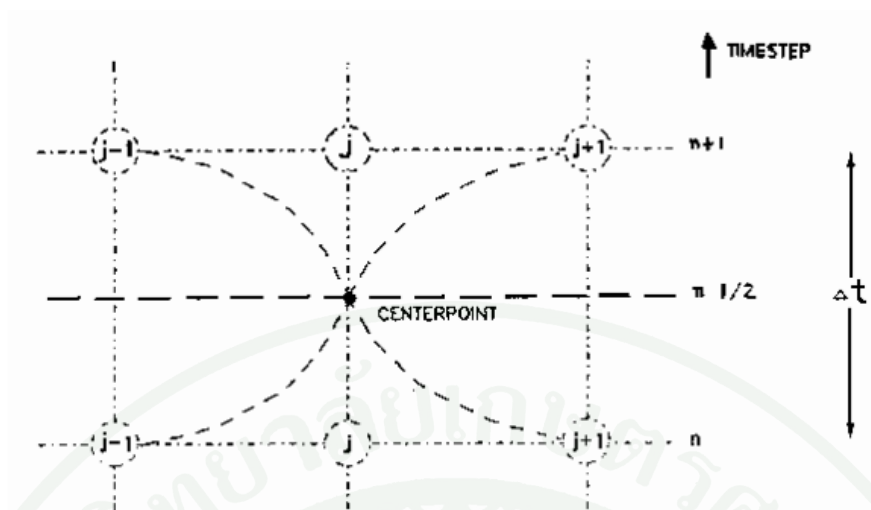
6.2 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11-HD

การจำลองสภาพการไหลในแม่น้ำแม่วังทองทั้งสภาพการไหลล้น (Overtopping) ข้ามคันกันน้ำและการรั่วของแนวป้องกันน้ำท่วมที่ตำแหน่งต่าง ๆ แบบจำลอง MIKE 11 สามารถจำลองการสูบน้ำและโครงสร้างการควบคุมแบบถาวรและแบบชั่วคราว เช่น ฝาย ท่อลอด และปฏิบัติการควบคุมการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับน้ำและการไหลในแม่น้ำ หรือข้อมูลการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำในอดีต

การจำลองพื้นที่ลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 จะสามารถแทนสภาพกายภาพจริงได้ทั้งหมดด้วยวิธีการหลายๆ วิธี อันจะช่วยให้สามารถคำนวณและให้ผลที่ถูกต้อง ในการคำนวณแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า โดยเฉพาะการจำลองน้ำท่วมมีสาเหตุมาจากฝนที่ตกในพื้นที่และการระบายน้ำในพื้นที่ไม่เพียงพอ โดยข้อมูลที่ควรใช้ประกอบด้วย 1) ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำและโครงข่ายแม่น้ำจากผลการสำรวจ 2) ข้อมูลอาคารชลศาสตร์ (เขื่อน ประตูระบายน้ำ สถานีสูบน้ำ) 3) ข้อมูลระบบป้องกันน้ำท่วมและระบบระบายน้ำในปัจจุบัน 4) ข้อมูลระบบแผนป้องกันน้ำท่วมของโครงการต่างๆ 5) ข้อมูลสภาพพื้นที่น้ำท่วม 6) ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 7) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายและความเดือดร้อนจากอุทกภัย 8) ข้อมูลบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการเตือนภัยน้ำท่วม

แบบจำลอง MIKE 11 ออกแบบโดยเน้นค่าความน่าเชื่อถือของตัวเลข อย่างไรก็ตามในการจำลองเหตุการณ์จำเป็นต้องให้ความสำคัญในการกำหนดเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างที่ใส่ในแบบจำลอง เนื่องจากจะมีผลต่อความมีเสถียรภาพหรือความน่าเชื่อถือของแบบจำลองต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ รวมถึงการทดสอบโดยใช้เหตุการณ์น้ำท่วมที่รอบปีการเกิดสูง

6.2.1 แบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ใช้ Finite Difference Method แบบ Implicit โดยวิธีของ Abbott ชนิด 6 จุด ในการคำนวณสภาพการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) ในลำน้ำและบริเวณปากแม่น้ำ โดยแบบจำลองทางพลศาสตร์สามารถอธิบายสภาพการไหลได้ทั้งการไหลแบบต่ำกว่าวิกฤต (Sub-Critical Flow) และการไหลแบบเหนือวิกฤต (Super-Critical Flow) รวมทั้งสามารถคำนวณการไหลในระบบลำน้ำที่มีการไหลเข้าด้านข้างและแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time) และสถานที่ (Space) ดังมีรายละเอียดดังนี้



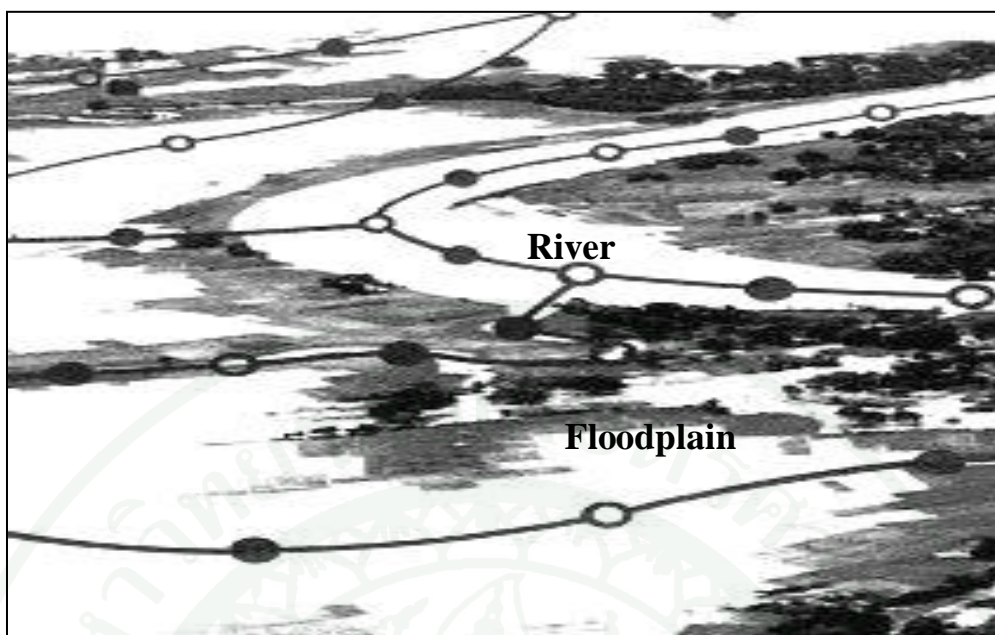
ภาพที่ 15 การแก้สมการเชิงเส้นคณิตศาสตร์โดยวิธี 6-point Abott-scheme

$$\text{สมการการไหลต่อเนื่อง} \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (22)$$

$$\text{สมการโมเมนตัม} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (23)$$

โดยที่	Q	=	อัตราการไหล (m ³ /s)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m ²)
	q	=	อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (m ³ /s/m)
	h	=	ความลึกของน้ำ (m)
	α	=	ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้โมเมนตัม
	C	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy
	g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
	x	=	ระยะทาง (m)
	t	=	เวลา (s)

แบบจำลอง MIKE11-HD จะทำการแบ่งแม่น้ำออกเป็นช่วงๆ โดยที่ข้อมูลหน้าตัดของแม่น้ำจะใช้ข้อมูลจริงที่ได้จากการวัดในภาคสนาม รวมทั้งจะต่อขยายหน้าตัดแม่น้ำออกไปจนถึงส่วนที่เป็นพื้นที่น้ำท่วมบางส่วนด้วย ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การจำลองระบบแม่น้ำของแบบจำลอง MIKE11-HD

6.2.2 สภาพเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เงื่อนไขขอบเขตที่ต้องกำหนดในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (HD Module) แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขขอบเขต คือ

ก. ขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูล 1) อัตราการไหลคงที่จากอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อน 2) อัตราการไหลของกราฟน้ำท่าจากเหตุการณ์ต่างๆ

ข. ขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูล 1) ระดับน้ำคงที่ เช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ 2) ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ระดับการขึ้น-ลงของน้ำทะเล 3) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับและอัตราการไหล (Rating curve)

6.3 ความต้านทานที่ท้องน้ำ

แบบจำลองนี้จะทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหลเนื่องจากความเสียดทานที่ท้องน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการของ Chezy หรือ Manning สำหรับสมการ Chezy แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 24

$$Q = AC\sqrt{RS} \quad (24)$$

- เมื่อ Q คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
 A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)
 R คือ รัศมีอุทกพลศาสตร์ (เมตร)
 C คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy

สำหรับสมการ Manning แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = MAR^{2/3} S^{1/2} \quad (25)$$

- เมื่อ n คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Manning
 M คือ Manning number ซึ่งมีค่าสมมูลกับสัมประสิทธิ์ของ Strickler

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

สัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ของ Manning ซึ่งแสดงความสัมพันธ์โดย Cunge et al. (1980) แสดงได้ดังสมการที่ 26

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = MR^{1/6} \quad (26)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล (C, n หรือ M) นั้นสามารถประเมินได้โดยการเปรียบเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยเปรียบเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม นอกจากนี้ยังสามารถประเมินค่า Manning's n ได้จากการประมาณการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไปซึ่งแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องลำน้ำของทางน้ำเปิด

ชนิดและลักษณะทางน้ำ	ค่าน้อย	ค่าปกติ	ค่ามาก
1. แม่น้ำสายรอง (ความกว้างผิวน้ำที่เกิดอุทกภัย 100 ฟุต)			
1.1 แม่น้ำบนที่ราบ			
1) สะอาดตรง ระดับสูง ไม่มีแยกและบ่อลึก	0.025	0.030	0.033
2) เหมือนข้อแรกแต่มีหินและวัชพืชมากกว่า	0.030	0.035	0.040
3) สะอาด คดเคี้ยว มีบ่อและแก่งตื้นน้ำ	0.033	0.040	0.045
4) เหมือนข้อ 3) แต่มีวัชพืชและหิน	0.035	0.045	0.050
5) เหมือนข้อ 4) ความลาดเทและรูปตัดไม่แน่นอน	0.040	0.048	0.055
6) เหมือนข้อ 4) แต่มีหินมากกว่า	0.045	0.050	0.060
7) ช่วงที่ไหลช้า วัชพืช บ่อลึก	0.050	0.070	0.080
8) ช่วงที่มีวัชพืชมาก บ่อลึกหรือทางอุทกภัยที่มีคันไม้	0.075	0.100	0.150
1.2 แม่น้ำในหุบเขาไม่มีวัชพืชในทางน้ำ ตลิ่งลาดชัน คันไม้และพุ่มไม้ตามตลิ่งอยู่ตื้นน้ำที่ระดับการไหลสูง			
1) ก้น : กรวด ก้อนหิน และหินก้อนใหญ่ๆ เล็กน้อย	0.030	0.040	0.050
2) ก้น : ก้อนหิน หินก้อนใหญ่กว่าข้อแรก	0.040	0.050	0.070
2. พื้นที่ราบริมฝั่งแม่น้ำ			
2.1 ทุ่งหญ้า ไม่มีพุ่มไม้			
1) หญ้าสั้น	0.025	0.030	0.035
2) หญ้ายาว	0.030	0.035	0.050
2.2 พื้นที่เพาะปลูก			
1) ไม่มีพืช	0.020	0.030	0.040
2) พืชเป็นแถวที่แก่	0.025	0.035	0.045
3) พืชไร่ที่แก่	0.030	0.040	0.050
2.3 ไม้พุ่ม			
1) ไม้พุ่มกระจุกกระจาย วัชพืชขึ้นหนา	0.035	0.050	0.070
2.4 คันไม้			
1) พื้นที่ว่างเปล่ามีตอไม้ไม่มีหน่อ	0.030	0.040	0.050
2) เหมือนข้อ 1) แต่มีหน่อมาก	0.050	0.060	0.080
3) มีไม้ยืนต้นมากมีไม้ล้มเล็กระดับน้ำต่ำกว่ากิ่งก้าน	0.080	0.100	0.120

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ชนิดและลักษณะทางน้ำ	ค่าน้อย	ค่าปกติ	ค่ามาก
4) เหมือนข้อ 3) แต่ระดับน้ำถึงกึ่งก้าน	0.100	0.120	0.160
3. ลำน้ำหลัก (ผิวน้ำเมื่อเกิดอุทกภัยกว้าง 100 ฟุต) ค่าน้อยกว่า			
3.1 รูปตัดสมมาตร ไม่มีก้อนหินหรือไม้พุ่ม	0.025		0.060
3.2 ไม่สมมาตร และรูปตัดขรุขระ	0.035		0.100

ที่มา: Bedient, *et al.* (2008)

7. แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ (Flood Forecasting Model)

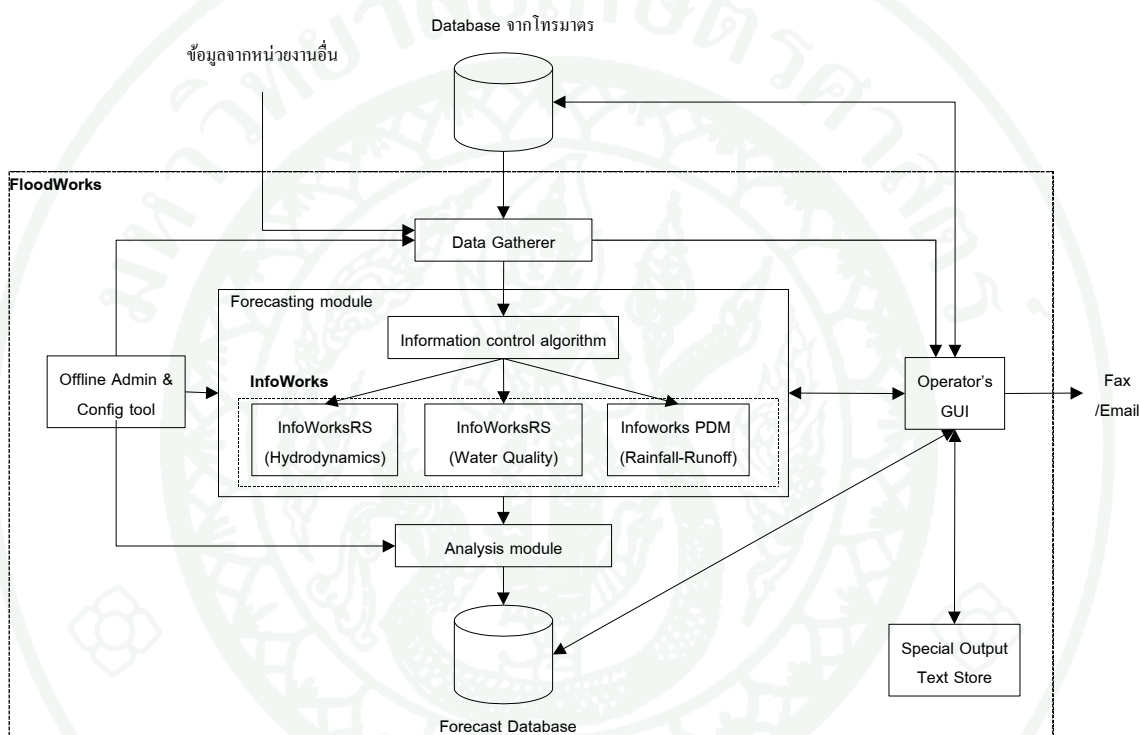
แบบจำลองการพยากรณ์น้ำเพื่อใช้พยากรณ์ระดับน้ำและปริมาณการไหลล่งหน้าโดยแบบจำลองที่นำมาศึกษา คือ แบบจำลอง FloodWorks และ MIKE11-DA มีหลักการดังนี้

7.1 แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ FloodWorks

FloodWorks จะทำหน้าที่ในการควบคุมสั่งการแบบจำลอง InfoWorks ที่ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าให้ทำงานแบบอัตโนมัติ (Automation) และแบบกำหนดเอง (User Define) ดังแสดงโครงสร้างการทำงานเชื่อมโยงระหว่าง InfoWorks กับ FloodWorks ในภาพที่ 11 โดยเริ่มจาก FloodWorks ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เช่น ระบบโทรมาตร และข้อมูลจากระบบพยากรณ์อื่นๆ พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล แล้วส่งไปเก็บยังระบบฐานข้อมูลใช้งาน (Hydro-Informatic Database) จากนั้นส่วนควบคุมการทำงานจะส่งข้อมูลในฐานข้อมูลใช้งานเข้าสู่แบบจำลองย่อยแต่ละชนิดใน InfoWorks ตามลักษณะการใช้งานข้อมูลของแบบจำลองย่อยนั้นๆ และจะควบคุมการทำงานร่วมกันระหว่างแบบจำลองย่อยโดยอัตโนมัติ เมื่อได้ผลพยากรณ์แล้วจะส่งข้อมูลไปเก็บยังส่วนฐานข้อมูลผลการพยากรณ์ (Forecast Database) เพื่อรอนำไปใช้งานต่อไป ในการทำงานของระบบผู้ใช้งานหรือผู้ควบคุมระบบสามารถตรวจสอบได้ทุกขั้นตอนของการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 17

7.1.1 FloodWorks จะมีการปรับแก้ผลการคาดการณ์อัตโนมัติ โดยอาศัยการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการคาดการณ์กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดของระบบโทรมาตรมา

ประเมินความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการคาดการณ์ และนำไปใช้สำหรับปรับแก้ผลคาดการณ์ในลำดับถัดไปเพื่อให้การคาดการณ์ในลำดับถัดไปมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผลการคาดการณ์ในรูปแบบของอนุกรมเวลาจากส่วนการคาดการณ์จะผ่านกระบวนการวิเคราะห์เพื่อประมวลผลที่ได้และแสดงผล ประกอบด้วย 1) แผนที่น้ำท่วม 2) กราฟระดับน้ำ/ปริมาณการไหล และกราฟปริมาณฝน 3) ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดที่มีปริมาณฝนหรือระดับน้ำสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 4) ตารางสรุปผลการคาดการณ์



ภาพที่ 17 การทำงานเชื่อมโยงระหว่าง InfoWorks กับ FloodWorks

นอกจากนี้ โปรแกรมจะทำการสรุปผลการคาดการณ์ ซึ่งผลสรุปในรูปแบบของอนุกรมเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการในการเตือนภัยสำหรับแต่ละตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยตารางสรุปเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะแสดงข้อมูลอ้างอิงทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้อ้างอิงกับแผนที่น้ำท่วมที่แสดง และข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อรอการนำข้อมูลกลับมาใช้หรือส่งข้อมูลดังกล่าวผ่านโทรสาร หรือจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) ต่อไป

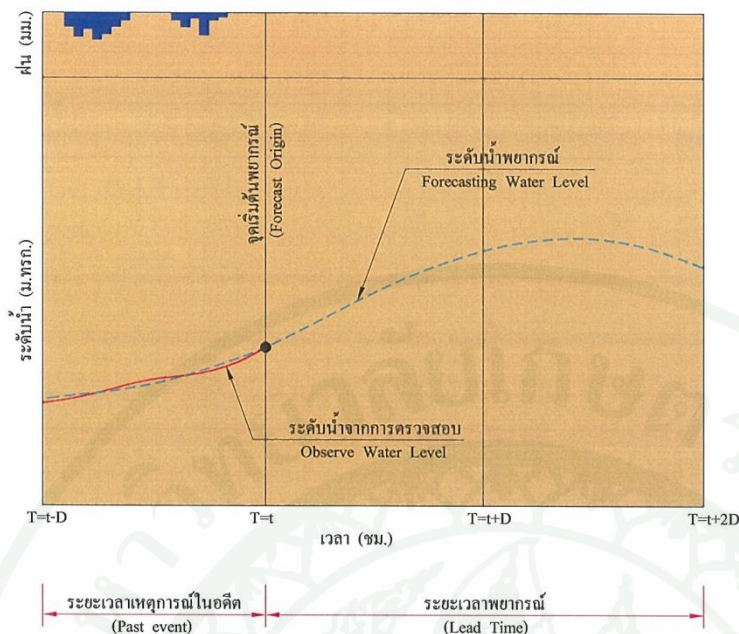
7.1.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์น้ำ หรือ ARMA Module

ARMA Module (Auto-Regressive Moving-Average) เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับคำนวณระดับน้ำหรือปริมาณน้ำตามจุดที่สนใจ (Key Station) ล่วงหน้าตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยได้เพิ่มความสามารถพิเศษ ในการปรับผลการคำนวณจากแบบจำลอง และผลที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีระบบโทรมาตรให้มีค่าตรงกันก่อนที่จะพยากรณ์ล่วงหน้า หรือที่เรียกว่า Updating Mode ซึ่งช่วยให้ได้ผลการพยากรณ์น้ำ มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น การ Update ผลการคำนวณก่อนที่จะพยากรณ์ทำได้เฉพาะตำแหน่งที่มีการตรวจวัดข้อมูลจริง ซึ่งสามารถที่จะ Update ได้ทั้งระดับน้ำ และปริมาณน้ำ แสดงภาพที่ 18

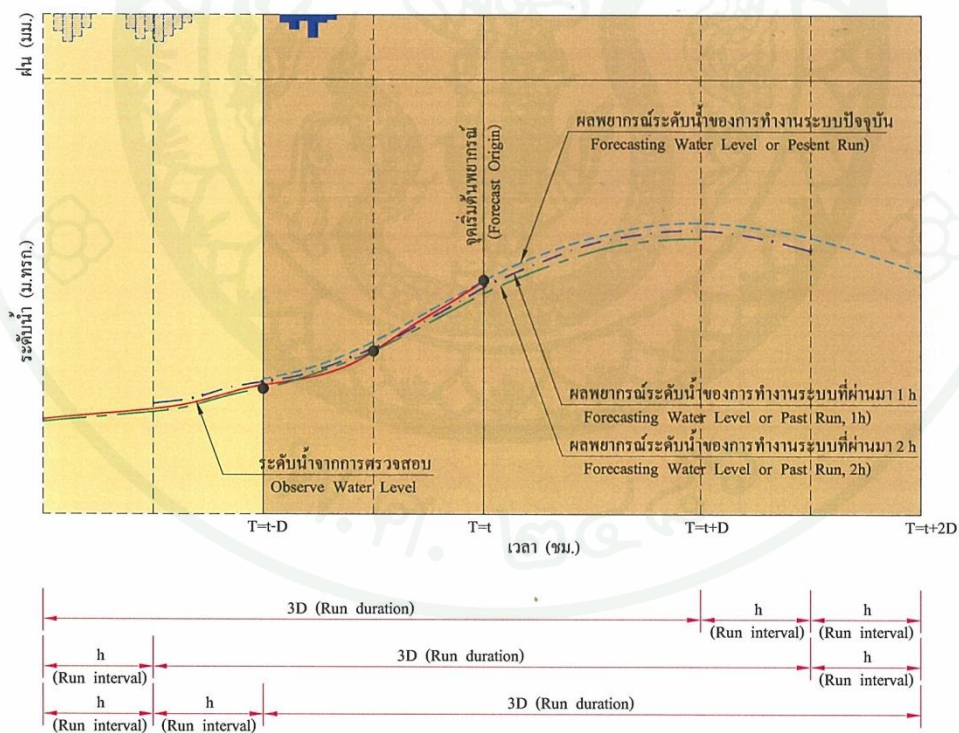
สำหรับทุกขั้นตอนของการพยากรณ์ที่พัฒนาเพิ่มเติมขึ้นมาใหม่นี้ สามารถประยุกต์ใช้ได้ทันที โดยที่ไม่ต้องการปรับเทียบตัวแปร (Parameter) ใด ๆ โดยผู้ใช้งานเพียงกำหนดช่วงเวลาในการพยากรณ์ (TOF; Time of Forecast) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาที่จะต้องจัดเตรียมข้อมูล Real-time ซึ่งเก็บอยู่ในฐานข้อมูลของแบบจำลอง และทำการพยากรณ์น้ำในแต่ละครั้ง หรือเรียกว่า Runtime โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา โดยยึดเวลา TOF เป็นตัวแบ่ง ดังแสดงภาพที่ 19 ได้แก่

ก. Hindcast Period หรือช่วงเวลาย้อนหลังเวลา TOF (เป็นค่าที่กำหนดไว้ในโปรแกรม FloodWorks Configuration) เป็นช่วงเวลามีข้อมูลปริมาณน้ำฝน และระดับน้ำที่ตรวจสอบแล้วจากทุกสถานีของระบบโทรมาตร (Measurement Data) ซึ่งถ้าข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมาก ก็จะทำให้ผลของการพยากรณ์น้ำในช่วง Forecast Period มีความถูกต้องมากตามไปด้วย

ข. Forecast Period หรือช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำล่วงหน้า TOF (เวลาพยากรณ์ล่วงหน้า เป็นค่าที่กำหนดไว้ใน FloodWorks Configuration) เป็นช่วงเวลาที่แบบจำลองจะประมาณค่าขอบเขต ซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำ และการปล่อยน้ำจากเขื่อนในช่วงพยากรณ์ล่วงหน้า ซึ่งแบบจำลองจะนำไปใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)



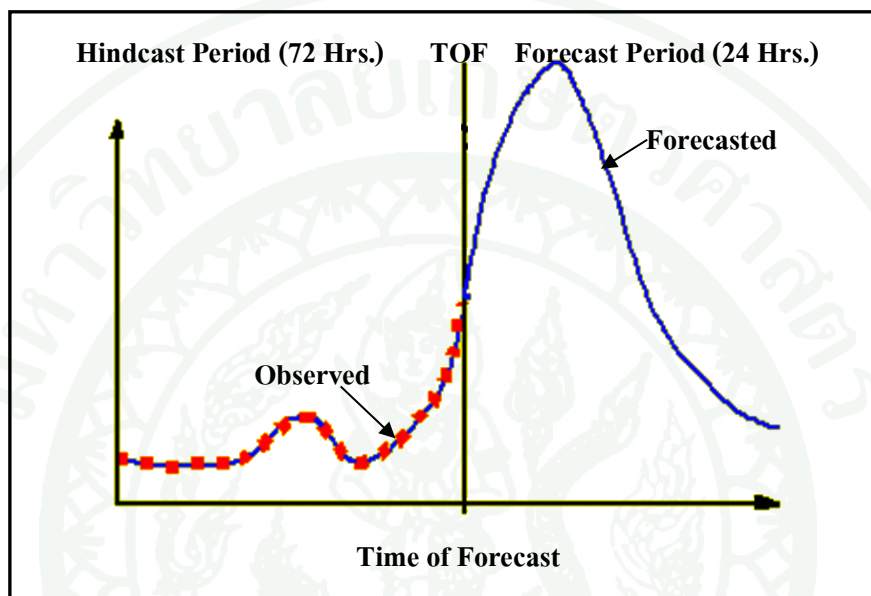
(1) ระยะเวลาการพยากรณ์



(2) การปรับปรุงผลการพยากรณ์แบบอัตโนมัติตามเวลาจริง (Real Time)

ภาพที่ 18 การทำงานของระบบพยากรณ์น้ำหลากแบบอัตโนมัติจากข้อมูลตามเวลาจริง

โดยสรุปช่วงเวลาทั้ง Hindcast Period และ Forecast Period จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาในการคำนวณแบบจำลอง ARMA Module ในแต่ละครั้ง (Runtime) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้เองตามสถานการณ์ และเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ได้ผลการพยากรณ์ที่มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือมากที่สุด



ภาพที่ 19 แสดงช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Runtime) ของ ARMA Module

7.2 แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA

แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA (Data Assimilation) แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ จะทำหน้าที่คำนวณค่าที่แตกต่างจากการพยากรณ์น้ำที่ผ่านมา และค่าจริงจากการตรวจวัดที่เป็นข้อมูลปัจจุบัน (Update Process) ทั้งในแง่ความผิดพลาดของค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำ (Amplitude Error) และความแตกต่างของเวลา (Phase Error) แล้วนำไปปรับแก้การพยากรณ์น้ำในเวลาข้างหน้าต่อไป ทำให้สามารถพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ใกล้เคียงมากที่สุด การดำเนินการนี้จะทำอย่างอัตโนมัติโดยวิธี Kalman Filter ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการดังนี้ 1) ความผิดพลาดจากการคาดการณ์น้ำฝน 2) ความผิดจากการตรวจวัดฝนในสนาม รวมทั้งการไม่ทำงานของสถานีตรวจวัดฝน 3) ความผิดพลาดในการแปลงน้ำฝนเป็นน้ำท่าที่มีขบวนการที่ยู่ยากซับซ้อน

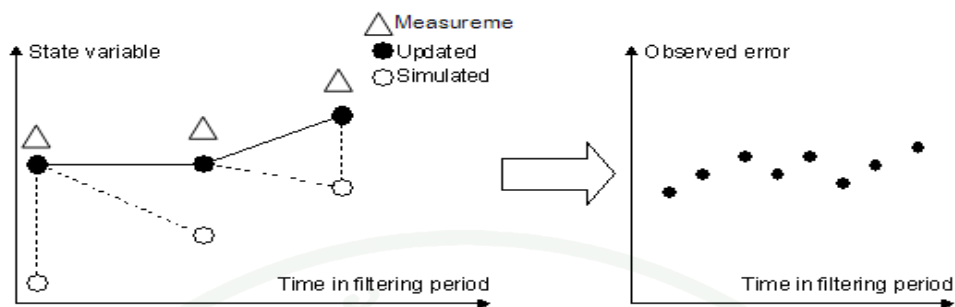
การปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะทำให้สถานีที่มีการตรวจวัดน้ำต่างๆที่มีการเชื่อมข้อมูลปัจจุบันเข้ามาในระบบ ตัวอย่างการปรับแก้ค่าระดับน้ำหรืออัตราการไหล (Update Process) ก่อนที่ทำการพยากรณ์น้ำดังแสดงในภาพที่ 20 สำหรับทุกขั้นตอนของการพยากรณ์ที่พัฒนาเพิ่มเติมขึ้นมาใหม่นี้ (MIKE11-DA) สามารถประยุกต์ใช้ได้ทันที โดยที่ไม่ต้องการปรับเทียบตัวแปร (Parameter) ใด ๆ เหมือนกับวิธีการพยากรณ์ในแบบ MIKE11-FF โดยผู้ใช้งานเพียงกำหนดช่วงเวลาในการพยากรณ์ (TOF; Time of Forecast) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาที่จะต้องจัดเตรียมข้อมูล Real-time ซึ่งเก็บอยู่ในฐานข้อมูลของแบบจำลอง และทำการพยากรณ์น้ำในแต่ละครั้ง หรือเรียกว่า Runtime โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ดังแสดงในภาพที่ 21 โดยยึดเวลา TOF เป็นตัวแบ่งได้แก่

7.2.1 Hindcast Period หรือช่วงเวลาย้อนหลังเวลา TOF (เป็นค่าที่กำหนดไว้ใน FLOOD WATCH configuration) เป็นช่วงเวลามีข้อมูลปริมาณน้ำฝน และระดับน้ำที่ตรวจสอบแล้วจากทุกสถานีของระบบโทรมาตร (Measurement Data) ซึ่งถ้าข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากก็จะทำให้ผลของการพยากรณ์น้ำในช่วง Forecast Period มีความถูกต้องตามไปด้วย

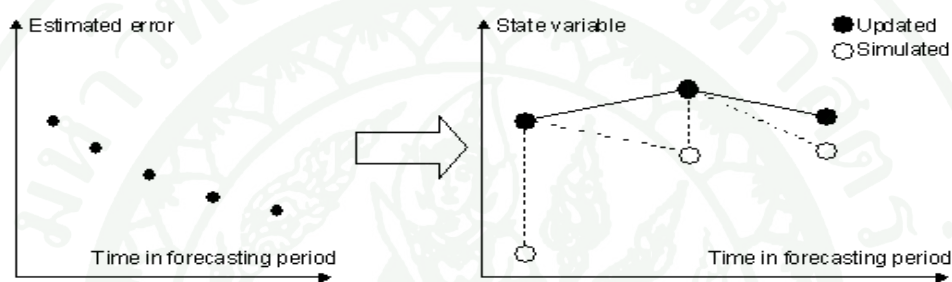
7.2.2 Forecast Period หรือช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำล่วงหน้า TOF (เวลาพยากรณ์ล่วงหน้า เป็นค่าที่กำหนดไว้ใน FLOODWATCH Configuration) เป็นช่วงเวลาที่แบบจำลอง จะประมาณค่าขอบเขต ซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำ และการปล่อยน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์ ในช่วงพยากรณ์ล่วงหน้า ซึ่งแบบจำลองจะนำไปใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

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

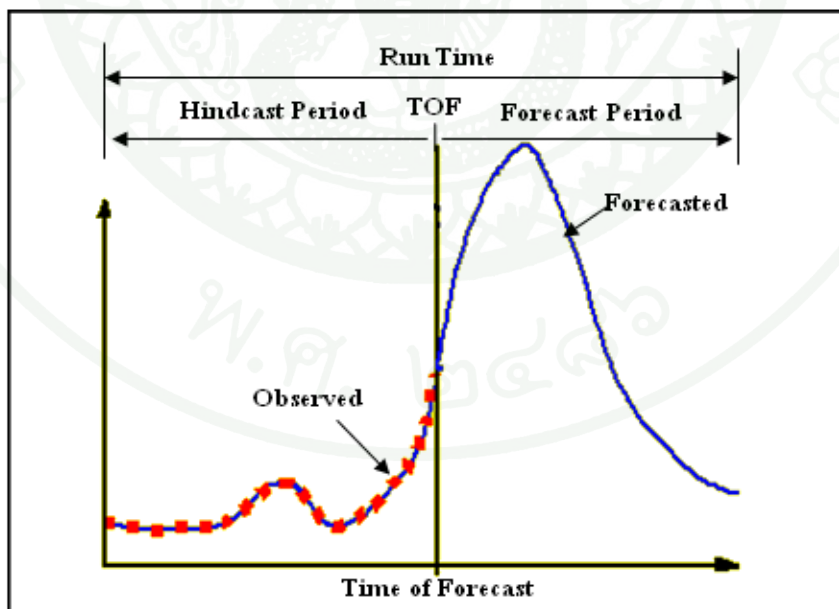
เทคนิคการ Filtering โดยทฤษฎีของ Kalman ในช่วง Hindcast Period



การพยากรณ์ล่วงหน้า โดยใช้ Error Forecast Model ในช่วง Forecast Period



ภาพที่ 20 การปรับแก้ค่าระดับน้ำก่อนการพยากรณ์น้ำ



ภาพที่ 21 ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Runtime) ของแบบจำลอง MIKE 11- DA

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรรถพล (2544) ศึกษาสภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างด้วยแบบจำลอง ISIS ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้พัฒนาขึ้นในทางน้ำเปิด นำมาจำลองสภาพน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างเพื่อศึกษาสภาพน้ำท่วมในแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำสาขาต่างๆและหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลในแม่น้ำ โดยทำการเปรียบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจากเหตุการณ์เกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 1 กันยายน ถึง 30 พฤศจิกายน 2538 พร้อมทั้งศึกษาแนวทางบรรเทาอุทกภัยที่เกิดขึ้นจากการจำลองสภาพน้ำท่วมปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลในแม่น้ำช่วงน้ำท่วม คือค่าสัมประสิทธิ์ขรุขระของการไหลในลำน้ำ 0.025 ถึง 0.035 ส่วนที่ราบตลิ่งมีค่าระหว่าง 0.025 ถึง 0.100 สำหรับแนวทางบรรเทาอุทกภัยคือ การเสริมคันกั้นน้ำของแม่น้ำตั้งแต่ 1.5 เมตร ถึง 5.0 เมตร การสร้างทางผันน้ำจากบางไทรสู่อ่าวไทยด้วยความจุ 1,500 ลบ.ม./วินาที และการผันน้ำสู่พื้นที่เก็บน้ำชั่วคราวแก้มลิง ในทุ่งน้ำท่วมเหนือบางไทรปริมาตรเก็บกักไม่น้อยกว่า 4,200 ล้าน ลบ.ม. แนวทางทั้งสามมีผลต่อการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างที่เหมือนกันแต่มีความแตกต่างกันในด้านการลงทุน ด้านเศรษฐกิจและสังคม

วิษณุวัฒน์ (2546) ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดของลุ่มน้ำคลองท่าตะเภาและลุ่มน้ำคลองหุมพร โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา 2 แบบจำลองได้แก่แบบจำลอง NAM และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองซึ่งพัฒนาโดย วีระพล (2545) ซึ่งใช้วิธีคำนวณจากพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า โดยใช้ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2541- 2544 และทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสองในการคาดคะเนปริมาณน้ำนองสูงสุด ที่เกิดจากพายุฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองหุมพรซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 2,227 และ 521 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ พบว่าทั้งแบบจำลอง NAM และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำทั้งสองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดได้ดี แต่แบบจำลอง NAM จะให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดได้ดีกว่าแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองเป็นส่วนใหญ่

ทรงศักดิ์ (2546) ได้ศึกษาการพยากรณ์สภาพน้ำท่วมของลุ่มน้ำลำภาชี 2 วิธี ได้แก่แบบจำลอง MIKE11 และการทำนายปริมาณน้ำด้วยโครงข่ายประติสัมพันธ์ โดยใช้ข้อมูลฝนและน้ำท่ารายวัน โดยแบบจำลอง MIKE11 ใช้ข้อมูลดิน การใช้ที่ดิน สภาพกายภาพพื้นที่และคุณลักษณะลำน้ำ เพื่อหาความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่า ด้วย unit hydrograph module และ hydrodynamic module ส่วนแบบจำลองโครงข่ายประสาทประติสัมพันธ์ใช้ข้อมูลฝนและน้ำท่าในการทำนายปริมาณน้ำด้วยวิธี feed-forward back propagation แบบ 5-5-1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Nash พบว่า

ประสิทธิภาพของแบบจำลอง MIKE11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ มีค่าเท่ากับ 0.644 และ 0.998 ส่วนในการฝึกอบรมมีค่าเท่ากับ 0.180 และ 0.590 ตามลำดับ สรุปได้ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์มีความเหมาะสมมากกว่าแบบจำลอง แบบจำลอง MIKE11

กิติเวช (2547) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง InforWorks-RS สำหรับการคำนวณน้ำหลากในลำน้ำของและพื้นที่ราบริมฝั่งลำน้ำที่สถานีต่างๆ ของลุ่มน้ำชี โดยพิจารณาตั้งแต่สถานีอุทกวิทยา E.5 ถึงสถานีอุทกวิทยา E.20A เปรียบเทียบกับข้อมูลในช่วง 1 เมษายน ถึง 31 กรกฎาคม 2544 จากการศึกษาพบว่าระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงในช่วงฤดูน้ำหลากและเริ่มเอ่อล้นตลิ่งออกสู่พื้นที่ราบริมฝั่งของลำน้ำชีเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ขรุขระของแมนนิ่งที่ทำให้ชลภาพอัตราการไหลมีความคล้ายคลึงและมีลักษณะใกล้เคียงกัน ในเชิงวิชาสถิติ พร้อมใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินสัมประสิทธิ์ขรุขระของแมนนิ่งพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำโดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลคือค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ 0.040 ถึง 0.045 ส่วนพื้นที่ราบริมฝั่งลำน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.043 ถึง 0.086 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำมีผลต่อชลภาพค่อนข้างมาก

กานต์ (2550) จำลองสภาพการระบายน้ำของลำน้ำสาขาที่ไหลลงแม่น้ำป่าสักตอนบนเหนือเขตเมืองเพชรบูรณ์ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ InforWorks-RS โดยจำลองเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ. 2545 เกิดจาก 2 สาเหตุคือ น้ำท่วมเนื่องจากฝนตกหนักเฉพาะถิ่น และน้ำท่วมที่เกิดจากน้ำหลากล้นตลิ่งแม่น้ำป่าสัก เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำอยู่ในช่วง 0.045-0.055 และการแก้ไขอุทกภัยที่คาบอุบัติ 10 ปี 20 ปี และ 50 ปี จากมาตรการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ขุดลอกแม่น้ำป่าสักและสร้างคันกันน้ำสูงประมาณ 0.6 เมตร ผลที่ได้สามารถบรรเทาอุทกภัยได้ถึงน้ำท่าคาบอุบัติ 50 ปี

ปิยะพงษ์ (2551) ศึกษาแนวทางบรรเทาอุทกภัยพื้นที่ชุมชนเชียงใหม่ เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการพัฒนาชุมชนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ของกลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ InforWorks-RS โดยจำลองเหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ. 2548 โดยกำหนดทางเลือกแบบมาตรฐานใช้สิ่งก่อสร้างและมาตรการไม่ใช่สิ่งก่อสร้าง ผลการจำลองสภาพแม่น้ำปิงช่วงที่ไหลผ่านเทศบาลนครเชียงใหม่และพื้นที่ชุมชนได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำระหว่าง 0.030 ถึง 0.035 และในทุ่งน้ำท่วมเท่ากับ 0.080 ได้เสนอแนวทางการบรรเทาอุทกภัยโดยการขุดลอกปรับปรุงแม่น้ำปิงจะลดระดับน้ำหลากสูงสุดบริเวณที่ศึกษาได้มากที่สุด

ประเสริฐ (2553) จำลองการบริหารจัดการอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำวังในการศึกษาลุ่มน้ำปิงตั้งแต่ท้ายเขื่อนภูมิพลและลุ่มน้ำวังตั้งแต่ท้ายเขื่อนกิ่วลมจนถึงสถานี P.17 จังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ InforWorks-RS โดยจำลองสภาพการหลากในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2549 โดยกำหนดทางเลือกแบบมาตรฐานใช้สิ่งก่อสร้างและมาตรการไม่ใช่สิ่งก่อสร้างเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำอยู่ในช่วง 0.025-0.033 จากผลการจำลองสภาพน้ำหลากได้เสนอแนวทางการบริหารจัดการการอ่างเก็บน้ำก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่เพิ่มและขุดลอกตะกอนแม่น้ำ

วิญวัฒน์และกิตติพงศ์ (2554) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองพยากรณ์น้ำในลุ่มน้ำชีตอนบนด้วยการประยุกต์ใช้ชุดของแบบจำลอง MIKE11-NAM/HD/DA แล้วเลือกใช้เหตุการณ์อุทกภัยในอดีตช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2547-2550 ส่วนแบบจำลองพยากรณ์น้ำ DA ได้ถูกทดสอบประสิทธิภาพโดยเลือกเหตุการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่ที่สุดที่เคยเกิดขึ้นในช่วงเดือนตุลาคม ปี 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

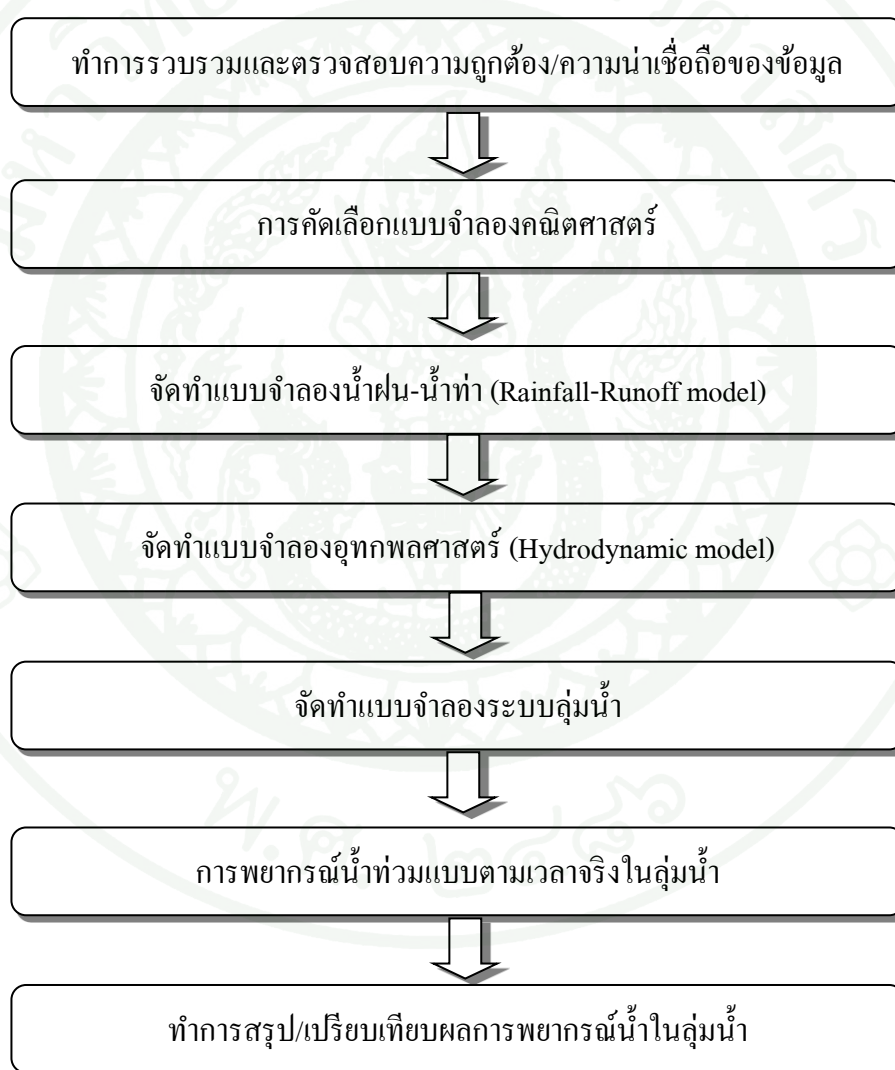
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. โปรแกรมแบบจำลอง InfoWorks ประกอบด้วยแบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลอง InfoWorks-PDM, InfoWorks-RS และ FloodWorks พร้อมคู่มือ
3. โปรแกรมแบบจำลอง MIKE 11 ประกอบด้วยแบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลอง NAM, Hydrodynamic และ Data Assimilation พร้อมคู่มือ
4. โปรแกรมจัดการเอกสาร MS-Word, MS-Excel และ MS-PowerPoint
5. โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS)
6. แผนที่ภูมิประเทศบริเวณลุ่มน้ำแม่วังทอง มาตรฐาน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร
7. ข้อมูลอุทก-อุตุนิยมหาวิทยาลัยที่มีการบันทึกไว้ของลุ่มน้ำแม่วังทองและบริเวณลุ่มน้ำใกล้เคียง ซึ่งได้แก่ ข้อมูลน้ำฝนรายวัน ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือน ข้อมูลตรวจวัดน้ำฝน-น้ำท่าราย 15 นาที จากสถานีระบบโทรมาตร ข้อมูลปริมาณการระเหยจากถาดรายวัน และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves)
8. รูปตัดขวางของลำน้ำ รวบรวมจากผลสำรวจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

วิธีการ

การศึกษาครั้งนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนการศึกษาทั้งสิ้น 7 ส่วน ได้แก่ 1) ทำการรวบรวมและตรวจสอบความถูกต้อง/ความน่าเชื่อถือของข้อมูล 2) การคัดเลือกแบบจำลองคณิตศาสตร์ 3) จัดทำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model) 4) ทำจัดทำแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model) 5) จัดทำแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ 6) การพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในลุ่มน้ำ และ 7) ทำการสรุป/เปรียบเทียบผลการพยากรณ์น้ำในลุ่มน้ำ



ภาพที่ 22 ขั้นตอนการศึกษา

โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. ทำการรวบรวมและตรวจสอบความถูกต้อง/ความน่าเชื่อถือของข้อมูล

1.1 การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ขอบเขตการปกครอง ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่ตั้งของสถานีตรวจวัดข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา ตลอดจนที่ตั้งของอาคารชลศาสตร์ต่างๆในลำน้ำของกลุ่มน้ำแม่วังทอง และบริเวณลุ่มน้ำข้างเคียง จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมแผนที่ทหาร กรมทรัพยากรน้ำและกรมอุตุนิยมวิทยา

1.2 การรวบรวมข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา

จากการรวบรวมข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แบ่งตามชนิดของข้อมูลได้ดังนี้

1.2.1 ข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศ ได้แก่ ข้อมูลการระเหย ซึ่งรวบรวมจากสถานีตรวจอากาศประจำจังหวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองและบริเวณใกล้เคียง โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงสถานีตรวจอากาศในพื้นที่ศึกษา

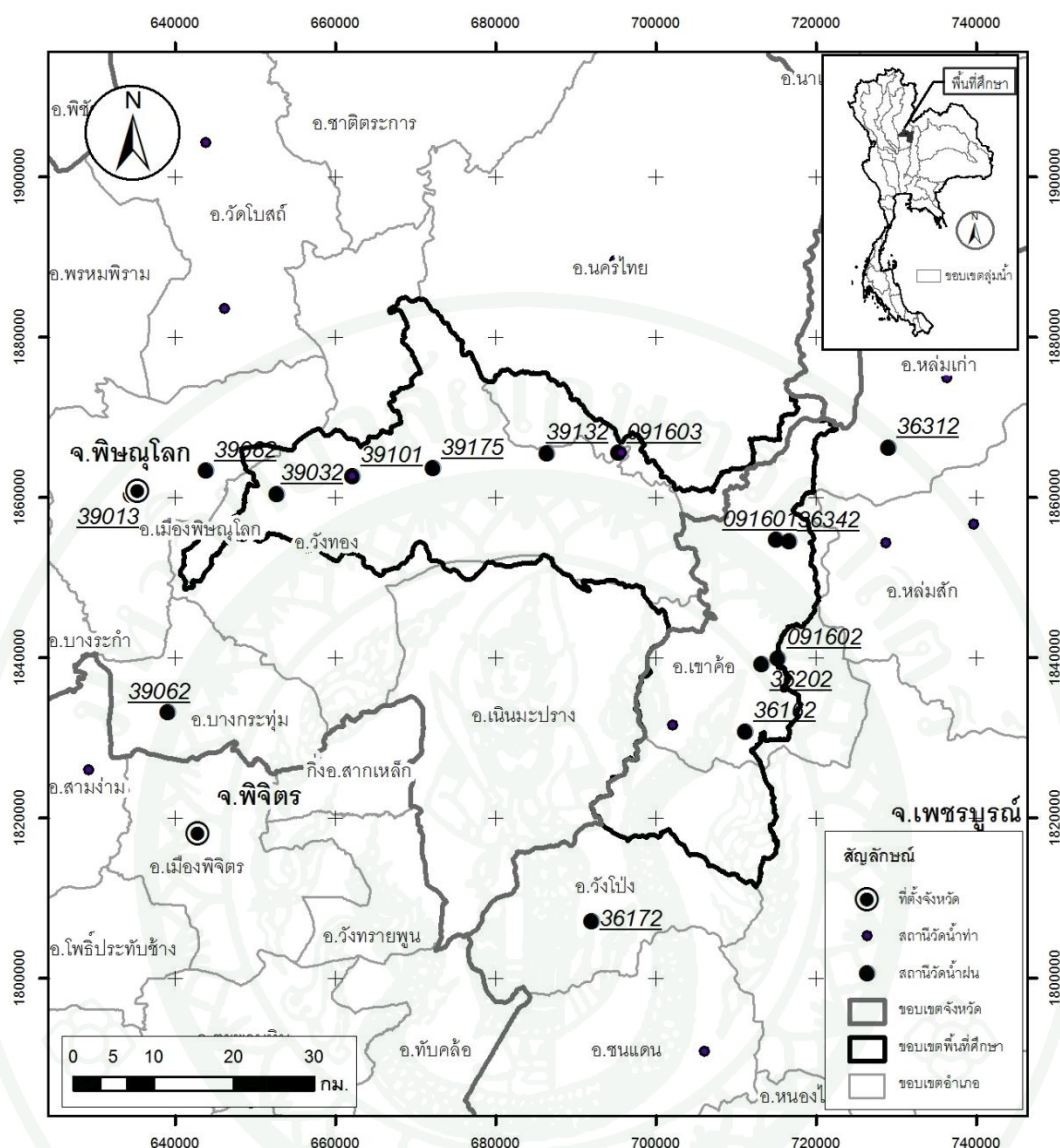
ลำดับที่	จังหวัดที่ตั้ง	อำเภอ	ช่วงปีที่มีข้อมูล
1	พิษณุโลก	เมือง	2523 -2552
2	เพชรบูรณ์	เมือง	2523 -2552
3	เพชรบูรณ์	หล่มสัก	2523 -2552

1.2.2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

รวบรวมจากสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง จำนวน 10 สถานี และบริเวณลุ่มน้ำข้างเคียง 5 สถานี รวมทั้งสิ้น 15 สถานี ดังแสดงรายละเอียดสถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยดังในตารางที่ 6 และภาพที่ 23

ตารางที่ 6 แสดงสถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ในการศึกษา

ลำดับ	รหัส	ที่ตั้ง	จังหวัด	พิกัด(UTM)	
				UTM_E	UTM_N
1	36162	พระตำหนักเขาค้อ กิ่ง อ.เขาค้อ	เพชรบูรณ์	711153	1830755
2	36202	ที่ว่าการอำเภอเขาค้อ	เพชรบูรณ์	713204	1839176
3	36342	ร.ร.บ้านเหล่าหญ้า	เพชรบูรณ์	716675	1854552
4	39032	ที่ว่าการอำเภอวังทอง	พิษณุโลก	652668	1860444
5	39101	วังนกแอ่น(N.24) อ.วังทอง	พิษณุโลก	662135	1862661
6	39132	สวนป่าเขากระยาง อ.วังทอง	พิษณุโลก	686406	1865485
7	39175	บ้านโป่งร้อน อ.วังทอง	พิษณุโลก	672143	1863637
8	091601	บ้านเหล่าหญ้า	เพชรบูรณ์	714968	1854689
9	091602	บ้านนุ่งคล้า	เพชรบูรณ์	715224	1839927
10	091603	น้ำเข็กที่บ้านเข็กใหญ่	พิษณุโลก	695249	1865565
11	36172	ที่ว่าการอำเภอวังโป่ง	เพชรบูรณ์	691937	1807125
12	39013	สภ.พิษณุโลก	พิษณุโลก	634447	1860287
13	39062	ที่ว่าการอำเภอบางกระทุ่ม	พิษณุโลก	638993	1833154
14	39082	ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก อ.วังทอง	พิษณุโลก	643804	1863303
15	36312	บ้านภูโปด	เพชรบูรณ์	729024	1866205



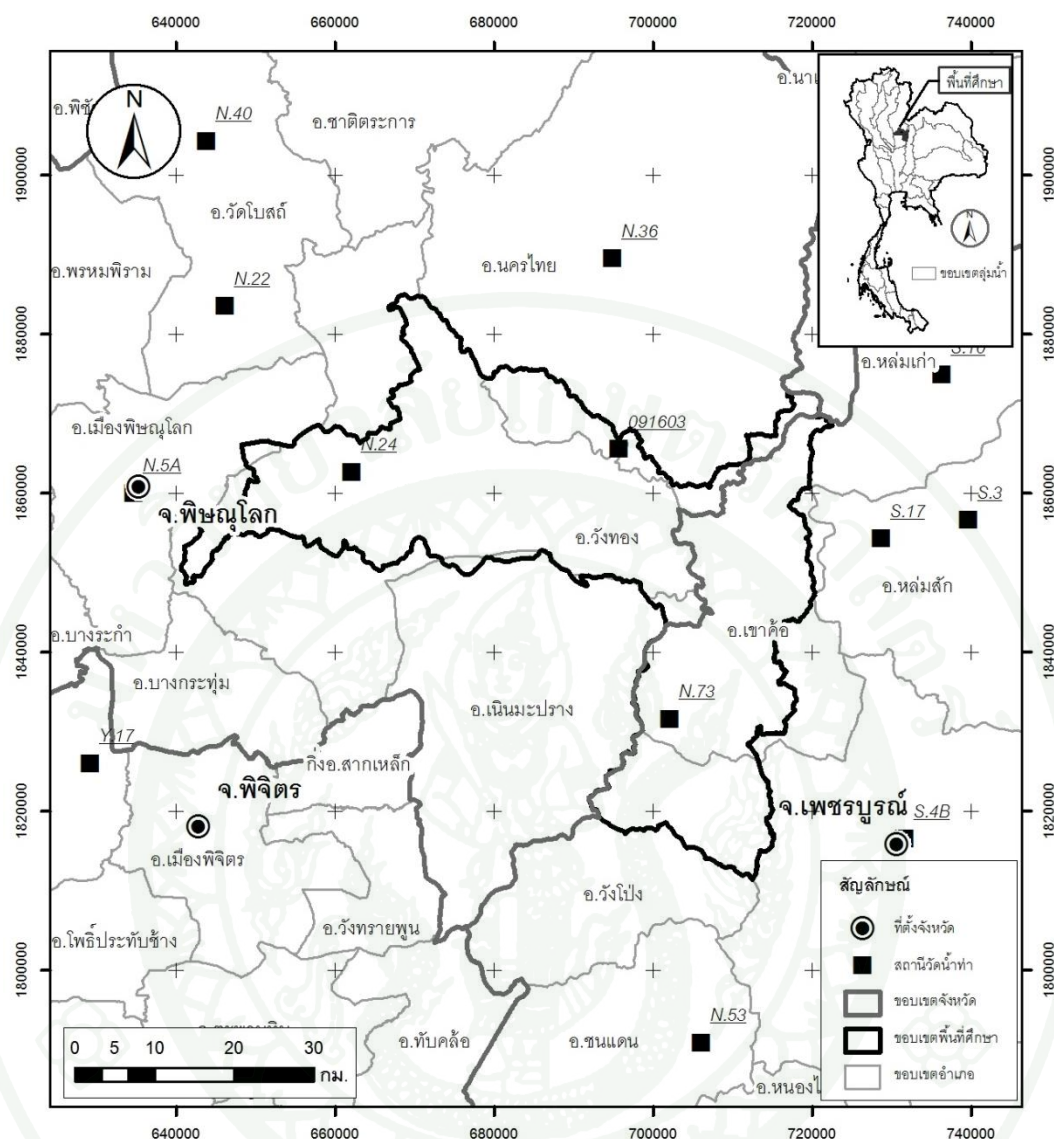
ภาพที่ 23 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนทั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองและพื้นที่ใกล้เคียง

1.2.3 ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

ใช้ข้อมูลสถานีที่มีการวัดทั้งระดับน้ำและปริมาณน้ำในกลุ่มวังทอง จำนวน 3 สถานี และสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำข้างเคียงจำนวน 12 สถานี ซึ่งเป็นข้อมูลรายเดือนและรายวัน โดยเป็นสถานีของกรมชลประทานและกรมทรัพยากรน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 7 รายละเอียดสถานีวัดน้ำท่า และภาพที่ 24

ตารางที่ 7 รายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่า

ลำดับที่	รหัสสถานี	ที่ตั้ง	จังหวัด	หน่วยงาน	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม)	พิกัด	
						UTM_X	UTM_Y
1	N.24	บ้านวังนกนางแอ่น	พิษณุโลก	กรมชลประทาน	1,861	662110	1862659
2	N.73	บ้านหนองแม่นา	เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	213	702072	1831564
3	091603	บ้านเข็กใหญ่	พิษณุโลก	กรมทรัพยากรน้ำ	993	695702	1865572
4	N.22	บ้านยาง	พิษณุโลก	กรมชลประทาน	4,841	646113	1883512
5	N.36	บ้านหนองกระท้าว	พิษณุโลก	กรมชลประทาน	1,651	694919	1889512
6	N.40	บ้านหนองบอน	พิษณุโลก	กรมชลประทาน	4,340	643779	1904328
7	N.5A	ในเมือง	พิษณุโลก	กรมชลประทาน	25,286	634662	1860012
8	N.53	บ้านห้วยตุม	เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	111	706088	1790842
9	S.3	บ้านตาลเดี่ยว	เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	1,047	739685	1856637
10	S.4B	ในเมือง	เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	3,566	731696	1816489
11	S.17	บ้านฝายวังบอน	เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	67	728727	1854302
12	S.10	บ้านหินฮาว	เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	268	736311	1874881
13	Y.16	บ้านบางระกำ	พิษณุโลก	กรมชลประทาน	20,841	620211	1853153
14	Y.17	สามง่าม	พิจิตร	กรมชลประทาน	21,415	629221	1826023
15	Kh.61	บ้านแก่งบง	เลย	กรมชลประทาน	562	723900	1895503



ภาพที่ 24 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่าและพื้นที่ใกล้เคียง

1.2.4 ข้อมูลสถานีระบบโทรมาตร

ข้อมูลสถานีระบบโทรมาตรวัดน้ำฝน-น้ำท่า ราย 15 สถานี ได้ที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำแม่วังทองจำนวนทั้งสิ้น 6 สถานี โดยเป็นสถานีของกรมชลประทานรายชื่อสถานีและที่ตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 25

ตารางที่ 8 แสดงรายชื่อสถานีระบบโทรมาตรในกลุ่มน้ำแม่วังทอง

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	ลำน้ำ	พิกัด		พื้นที่รับ น้ำ (ตร.กม)
				UTM_X	UTM_Y	
1	TN wt.22	อำเภอวังทอง	แม่น้ำวังทอง	652627	1860500	1,955
2	TN wt.15	วังนกแอ่น	แม่น้ำวังทอง	667995	1862725	1,695
3	TN wt.17	บ้านร่มเกล้า	-	678922	1854379	-
4	TN wt.6	บ้านโป่งปะ	แม่น้ำวังทอง	688833	1865448	1,090
5	TN wt.5	บ้านเล่าลือเก่า	-	710825	1860404	-
6	TN wt.21	บ้านหนองแม่นา	ลำน้ำเข็ก	701847	1832826	225

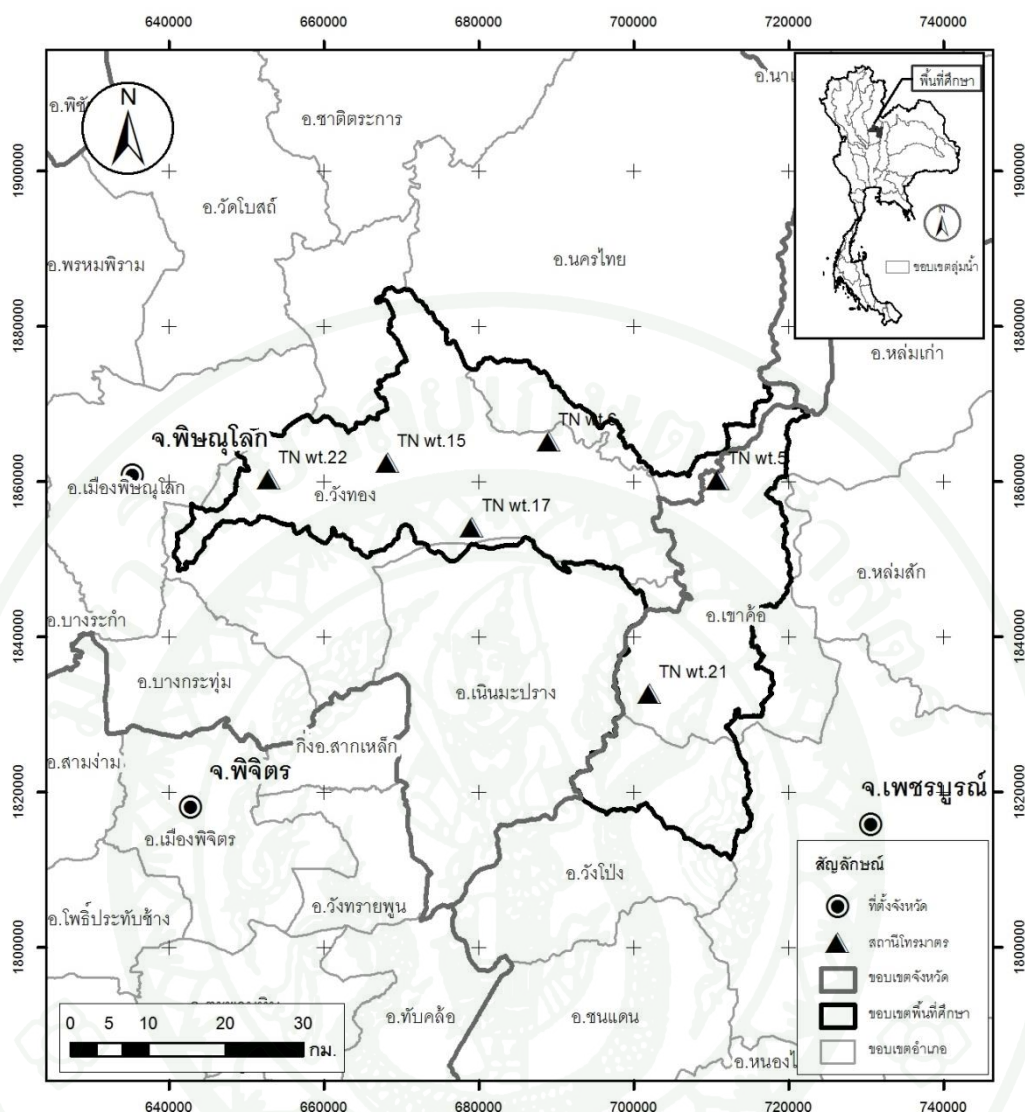
ได้พิจารณาข้อมูลตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรในกลุ่มน้ำแม่วังทองจำนวน 6 สถานี เริ่มการบันทึกข้อมูลน้ำฝนราย 15 นาที ตั้งแต่ใน ปี พ.ศ. 2555-2556 และได้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธี Double Mass Curve แสดงในภาคผนวก ก. โดยข้อมูลที่เบี่ยงเบน จะทำการปรับแก้ให้สอดคล้องกับความเป็นจริงและจะพิจารณาคัดเลือกช่วงปีของข้อมูลน้ำฝนน้ำท่า และการระเหยมาใช้ในการเปรียบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลองในช่วงซึ่งเกิดเหตุการณ์อุทกภัยปี 2556

1.2.5 ข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves)

ข้อมูล Rating Curves ใช้ข้อมูลที่วัดจริง (Actual Rating Curves) จากสถานีโทรมาตรวัดน้ำท่า ของกรมชลประทาน ในช่วงปี พ.ศ. 2553 จำนวน 4 สถานี ได้แก่ สถานี TN wt.21, TN wt.6, TN wt.15 และ TN wt.22

1.2.6 ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ (Cross section)

รวบรวมได้จากผลสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อปี พ.ศ. 2553 ตั้งแต่สถานี TN wt.21 คลองเข็กใหญ่บนเทือกเขาสูง จ. เพชรบูรณ์ จนถึงสถานีระบบโทรมาตร TN wt.22 แม่น้ำวังทอง อ.วังทอง จ.พิษณุโลก จำนวน 106 รูปตัด ระยะทางรวม 136 กม.



ภาพที่ 25 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีระบบโทรมาตร

2. การคัดเลือกแบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์น้ำที่ใช้ศึกษาในหน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ รวมถึงนักวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้จำลองสภาพการเกิดอุทกภัยและใช้คาดการณ์อุทกภัยได้ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ จะเป็นแบบจำลองสำเร็จรูปที่มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องที่ยาวนานและสามารถใช้งานได้สะดวก สามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจและคาดการณ์การเกิดอุทกภัยล่วงหน้าได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยจะทำการรวบรวมและทบทวนข้อมูลลิขสิทธิ์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่กรมชลประทานมีอยู่แล้ว

การรวบรวมและทบทวนข้อมูลของแบบจำลองต่างๆ ที่กรมชลประทานมีลิขสิทธิ์อยู่แล้วในโครงการระบบโทรมาตรของกลุ่มน้ำต่างๆ สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบและการคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ โปรแกรมประยุกต์เพื่อการพยากรณ์ที่จะนำมาใช้ในครั้งนี้ได้ พบว่า แบบจำลองที่กรมชลประทานมีลิขสิทธิ์ในโครงการระบบโทรมาตรที่ผ่านมาในอดีตจำนวน 20 โครงการ จำนวน 4 แบบจำลองฯ ได้แก่ 1) MIKE11/ MIKE FloodWatch จำนวน 12 โครงการ คิดเป็นร้อยละ 60 2) InfoWorks/FloodWorks จำนวน 6 โครงการ คิดเป็นร้อยละ 30 3) SOBEK จำนวน 1 โครงการ คิดเป็นร้อยละ 5 และ 4) ROM จำนวน 1 โครงการ คิดเป็นร้อยละ 5 ได้ดังในตารางที่ 9

การศึกษการพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในกลุ่มน้ำแม่วังทองจะใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้มาทดสอบเปรียบเทียบ คือ Mike11-NAM/HD/MIKE11-DA และ InfoWorks PDM/RS/FloodWorks มาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์น้ำครั้งนี้

ตารางที่ 9 แบบจำลองที่กรมชลประทานมีลิขสิทธิ์อยู่แล้วในโครงการระบบโทรมาตรของกลุ่มน้ำต่างๆ

ลำดับ	โครงการระบบโทรมาตร	แบบจำลองที่ใช้
1	ลุ่มน้ำป่าสัก (2542)	MIKE11
2	ลุ่มน้ำปากพนัง (2545)	ROM
3	ลุ่มน้ำท่าตะเภา (2546)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
4	ลุ่มน้ำเจ้าพระยา (2546)	InfoWorks และ FloodWorks
5	ลุ่มน้ำอู่ตะเภา (2547)	InfoWorks และ FloodWorks
6	ลุ่มน้ำจันทบุรี (2548)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
7	ลุ่มน้ำปึงตอนบน (2549)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
8	ลุ่มน้ำลำปาว (2549)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
9	ลุ่มน้ำบางปะกง (2550)	InfoWorks และ FloodWorks
10	ลุ่มน้ำเพชรบุรี (2551)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
11	ลุ่มน้ำปึงตอนบนส่วนขยาย (2551)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
12	ลุ่มน้ำมูลตอนล่าง (2552)	SOBEK
13	ลุ่มน้ำนครศรีธรรมราช (2553)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
14	ลุ่มน้ำวัง (2553)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
15	ลุ่มน้ำปราณบุรี (2553)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
16	ลุ่มน้ำแม่วังทอง (2554)	InfoWorks และ FloodWorks
17	ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (2554)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
18	ลุ่มน้ำปราจีนบุรี (2555)	InfoWorks และ FloodWorks
19	ลุ่มน้ำยม (2555)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch
20	ลุ่มน้ำท่าจีน (2555)	MIKE11 และ MIKE FloodWatch

3. จัดทำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model)

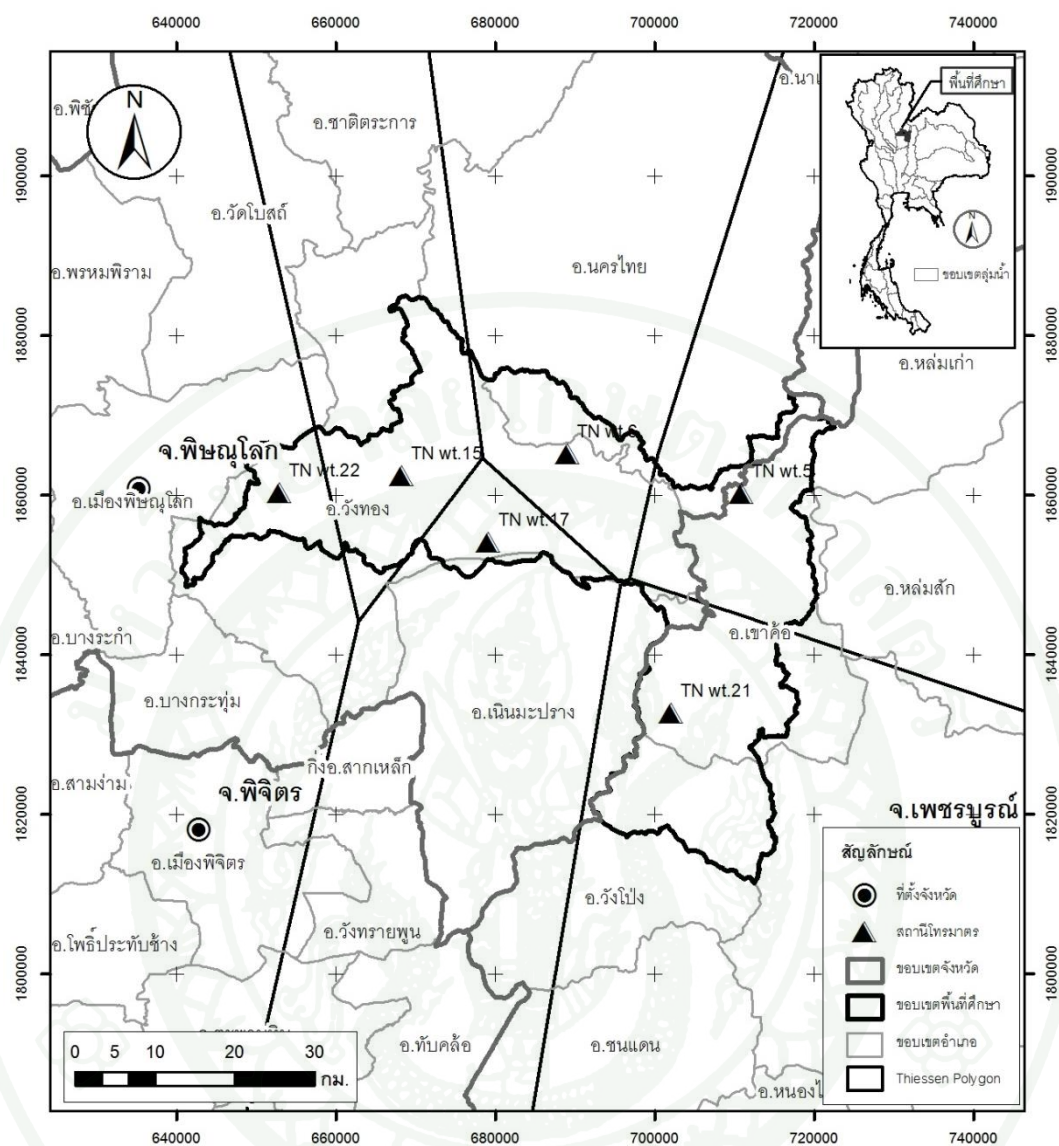
แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model) ที่ได้นำมาศึกษา คือ แบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11-NAM โดยจะใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณฝนเฉลี่ยของพื้นที่ระบายน้ำ อัตราการระเหย และปริมาณการไหล ณ จุดออกของพื้นที่ระบายน้ำ เพื่อนำมาใช้ประกอบการประเมินค่าของตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการจัดทำแบบจำลองที่มีความแม่นยำ โดยมีรายละเอียดข้อมูลและขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล ก่อนที่จะนำข้อมูลนั้นเข้าสู่ฐานข้อมูลของแบบจำลองในการจัดทำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า PDM และ NAM ประกอบด้วย

3.1 ข้อมูลปริมาณฝน

ข้อมูลปริมาณฝน ได้พิจารณาใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณาและสถานีวัดน้ำฝนบริเวณใกล้เคียง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน โดยมีสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนแต่ละสถานีที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา โดยปริมาณฝนตามพื้นที่นั้น สามารถคำนวณได้โดยวิธี Thiessen Polygon ดังแสดงในภาพที่ 26

3.2 ข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลการระเหยจากผิวดินและการระเหย ใช้ข้อมูลการระเหย จากสถานีตรวจอากาศประจำจังหวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองและบริเวณใกล้เคียงจำนวน 3 สถานี สถานีตรวจอากาศพิษณุโลก สถานีตรวจอากาศอำเภอหล่มสัก และสถานีตรวจอากาศเพชรบูรณ์ โดยทำการสรุปตัวแปรสภาพภูมิอากาศที่สำคัญในช่วงปีพ.ศ. 2523 ถึง 2552 (30 ปี) โดยนำมาหาค่าเฉลี่ยราย 15 นาที จากข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน เพื่อใช้เป็นค่าการระเหยเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ของลุ่มน้ำแม่วังทอง



ภาพที่ 26 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำ และรูปเหลี่ยม Thiessen Polygon

3.3 ข้อมูลปริมาณการไหล

เป็นข้อมูลปริมาณการไหลราย 15 นาที ที่ได้จากสถานีวัดน้ำท่าซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำแม่วังทอง โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน

การเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks-PDM และ MIKE11-NAM มีขั้นตอนประกอบด้วย

3.3.1 ทำการวิเคราะห์ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝนราย 15 นาที ด้วยวิธี การวิเคราะห์ Double Mass Curve ของสถานีโทรมาตรในกลุ่มน้ำแม่วังทองแล้วปรับแก้ค่าปริมาณฝนแต่ละสถานีให้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนสะสมของสถานีข้างเคียง

3.3.2 ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11-NAM โดยใช้วิธีการปรับเทียบแบบอัตโนมัติ (Auto-Calibration) ซึ่งจะช่วยให้การ Trial and Error เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น

3.3.3 ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณฝนที่ดีขึ้น

3.3.4 ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11-NAM ขั้นสุดท้าย โดยประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบมาได้ กับกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ

การปรับเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า PDM และ NAM เลือกใช้สถานีโทรมาตร TN wt.6 และสถานี TN wt.15 โดยกำหนดเกณฑ์ในการประเมินผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง PDM และ NAM ซึ่งจะใช้ค่าดัชนีทางสถิติ 3 ตัว ดังแสดงในสมการ (27) (28) และ (29) ดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือ correlation coefficient (r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o) \times (Q_{ci} - \bar{Q}_c)}{\left[\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \times \sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2 \right]^{0.5}} \quad (27)$$

2) ค่าความคลาดเคลื่อน root mean square error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Q_{oi} - Q_{ci}]^2} \quad (28)$$

3) ค่าความแม่นยำ (Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q})^2} \quad (29)$$

เมื่อ Q_i คือ ปริมาณการไหลหรือระดับน้ำ ที่เวลา i ส่วน \bar{Q} คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณการไหลหรือระดับน้ำ โดยที่ subscript O กับ C คือ ค่าที่ตรวจวัดได้และค่าที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง ตามลำดับ และ N คือ จำนวนของข้อมูล

ในการเปรียบเทียบผลการศึกษาจะใช้ข้อมูลทางสถิติมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบและตัดสินใจประกอบด้วยวิธีทาง Goodness-of-fit ประกอบไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือ correlation coefficient (r) ค่า r มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r กำลังสองของค่า r หรือ r^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้า r มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีสหสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างสมบูรณ์ ส่วนค่า root mean square error (RMSE) ยังมีค่าน้อยยิ่งดี แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลตรวจวัดน้อย ส่วนค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) คำนี้นิยมใช้ในการบอกค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (Model Accuracy) หรือประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลของแบบจำลอง (Model Performance) ในการคาดคะเนค่าที่ต้องการและรายละเอียดเกี่ยวกับเกณฑ์ระดับต่างๆ ดังตารางที่ 10

การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพิสูจน์ (Model Calibration and Verification) ความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า InfoWorks PDM และ MIKE11- NAM โดยคัดเลือกสถานีโทรมาตรวัดน้ำฝน-น้ำท่า จำนวน 2 สถานี ได้แก่ สถานี TN wt.6 และสถานี TN wt.15 โดยมีการเปรียบเทียบและตรวจ จะพิจารณาเลือกช่วงปีของข้อมูลน้ำฝน น้ำท่า และการระเหยมาใช้ในการเปรียบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลองในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม ปี พ.ศ. 2556 สำหรับข้อมูลได้พิจารณาใช้ข้อมูลจากสถานีโทรมาตรวัดน้ำฝน-น้ำท่า ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทอง แสดงรายละเอียดในตารางที่ 11

ตารางที่ 10 การแปลความหมายค่า NSE

เกณฑ์	ความหมาย
1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยไม่มี ความผิดพลาด (Perfect Fit)
> 0 ถึง < 1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean)
0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำไม่ต่างจากการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย
< 0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำน้อยกว่าการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย
≥ 0.75	Good prediction (Lian et al.,2007)
0.36 - 0.75	Satisfactory prediction (Lian et al.,2007)

ที่มา: วราวุธ (2553)

ตารางที่ 11 รายชื่อสถานีโทรมาตรวัดน้ำฝน-น้ำท่าที่พิจารณาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	ลำน้ำ	ตรวจวัด ข้อมูล	พิกัด	
					UTM_X	UTM_Y
1	TN wt.22	อำเภอวังทอง	แม่น้ำวังทอง	น้ำฝน-ระดับน้ำ	652627	1860500
2	TN wt.15	วังนกแอ่น	แม่น้ำวังทอง	น้ำฝน-ระดับน้ำ	667995	1862725
3	TN wt.17	บ้านร่มเกล้า	-	น้ำฝน	678922	1854379
4	TN wt.6	บ้านโป่งปะ	แม่น้ำวังทอง	น้ำฝน-ระดับน้ำ	688833	1865448
5	TN wt.5	บ้านเล่าลือเก่า	-	น้ำฝน	710825	1860404
6	TN wt.21	บ้านหนองแม่นา	ลำน้ำเจ๊ก	น้ำฝน-ระดับน้ำ	701847	1832826

ก. ในการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11-NAM จะปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการสมมุติคำตอบ (Trial and Error) ก่อนโดยอัตโนมัติเป็นการปรับอย่างหยาบและจะทำการปรับอย่างละเอียดในภายหลัง โดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการประมวลผลแล้วปรับค่าพารามิเตอร์ที่ละตัวเพื่อให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณน้ำฝน มีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ในแบบจำลอง NAM Model มีพารามิเตอร์จำนวน 15 พารามิเตอร์ แต่ที่สำคัญที่สุดมี 3 พารามิเตอร์ คือ L_{max} , U_{max} และ CQOF ซึ่งรายละเอียดของพารามิเตอร์ แต่ละตัวมีดังนี้

1) L_{max} เป็นค่าความชื้นสูงสุดของดินในชั้นรากพืช มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 100–250 มิลลิเมตร ค่า L_{max} จะมีค่าสูงในดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว และมีค่าต่ำในดินทราย การเพิ่มค่า 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 ช้าลง

8) CK_1 เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำท่าในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CK_1 จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูง และฐานเวลาสั้น

9) CK_2 เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของ Overland Flow และ Interflow ในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CK_2 จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูง และมีฐานเวลาสั้น ปกติจะกำหนดให้ $CK_1 = CK_2$

10) CK_{BF} เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของ Base Flow ในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CK_{BF} จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูงขึ้น และฐานเวลาสั้นลง ปกติ CK_{BF} มากกว่า CK_1 และ CK_2

11) S_y เป็นค่า Specific Yield ของชั้นน้ำใต้ดิน ปกติจะกำหนดให้ มีค่า = 0.1

12) $GWLBF_0$ เป็นค่าความลึกสูงสุดของชั้นน้ำใต้ดินที่ทำให้เกิด Base Flow ปกติกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 เมตร

13) GWL_{min} เป็นระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด ปกติเท่ากับ 0 เมตร

14) $GWLFL_1$ เป็นความลึกของน้ำใต้ดิน ที่จะทำให้เกิดการไหลซึมขึ้น (Capillary Flux) หนึ่งหน่วย (1 มิลลิเมตรต่อวัน) จากชั้นน้ำใต้ดิน ปกติกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 เมตร

15) CAREA เป็นอัตราส่วนระหว่าง พื้นที่รับน้ำของชั้นน้ำใต้ดิน ต่อพื้นที่รับน้ำฝน โดยปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

หลักเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM (วิญวัฒน์, 2546) มีดังนี้

1) สมดุลของปริมาณน้ำท่า (Water Balance) การเทียบมาตรฐานแบบจำลอง โดยปกติแล้ว จะเริ่มจากการปรับสมดุลของปริมาณน้ำท่า (Water Balance) ของระบบลุ่มน้ำ โดยพิจารณาค่าระหว่างปริมาณการคายระเหยทั้งหมด (EA) ที่ทำให้ปริมาณน้ำท่าในแหล่งเก็บกักลดลง

กับปริมาณน้ำฝน (P) ที่ทำให้ปริมาณน้ำในแหล่งเก็บกักเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ L_{max} และ U_{max}

2) การปรับค่าปริมาณการไหลสูงสุดให้สอดคล้องกัน (Fit of Flood Peaks) การปรับค่าปริมาณการไหลสูงสุด (Flood Peaks) จะทำได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด Overland Flow ได้แก่ 1) CQOF เพื่อปรับปริมาตรและขนาดของ Flood Peaks ซึ่งพารามิเตอร์ตัวนี้มีความสำคัญต่อการเกิดทั้ง Overland Flow และ Recharge ให้กับชั้นน้ำใต้ดิน 2) TOF เพื่อปรับช่วงเวลาของการเกิด Flood Peaks และ 3) CK1 และ CK2 เพื่อปรับรูปร่างของ Hydrograph ซึ่งพารามิเตอร์สองตัวนี้ ไม่ทำให้ปริมาตรของ Flood Peaks เปลี่ยนแปลง

3) การปรับค่าปริมาณไหลระดับต่ำให้สอดคล้องกัน (Fit of Low Flows) การปรับค่าปริมาณไหลระดับต่ำ (Low Flows) จะทำได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการ Base Flow ได้แก่ 1) CQOF เพื่อปรับปริมาตรของ Recharge ในชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิด Base Flow 2) TG เพื่อปรับช่วงเวลาของการเกิด Base Flow และ 3) CKBF เพื่อปรับรูปร่างของ Hydrograph ของ Base Flow

4) ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น นับว่ามีความสำคัญ โดยเฉพาะค่าของปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของดินชั้นรากพืช (L/L_{max}) ถ้าช่วงเวลาเริ่มต้นของการปรับเทียบเป็นช่วงหลังจากฤดูฝน เช่น เริ่มต้นเดือนมกราคม ซึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้นับว่าเป็นช่วงหลังฤดูฝน ความชื้นในดินจะยังคงมีค่าสูงอยู่ ดังนั้น เงื่อนไขเริ่มต้นของ L/L_{max} ควรจะต้องกำหนดให้มากกว่า 0.8 เป็นต้น

ข. การปรับเทียบแบบจำลอง InfoWorks PDM จะปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการสมมุติคำตอบ (Trial and Error) ก่อนโดยอัตโนมัติเป็นการปรับอย่างหยาบและจะทำการปรับอย่างละเอียดในภายหลัง โดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการประมวลผลแล้วปรับค่าพารามิเตอร์ทีละตัวเพื่อให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณน้ำฝน มีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด มีพารามิเตอร์จำนวน 20 พารามิเตอร์ ตารางผนวกที่ 11 แต่พารามิเตอร์เริ่มต้นแบบจำลอง InfoWorks PDM มีพารามิเตอร์จำนวน 9 พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่

- 1) rainfc เป็นค่าตัวคูณของปริมาณฝน เพื่อควบคุมปริมาณน้ำท่า

2) c_{min} เป็นค่าความจุปริมาตรเก็บกักต่ำสุด ส่งผลกระทบต่อเวลาการเกิดน้ำท่าและการชุ่มชื้นของดิน มีค่าไม่ต่ำกว่า 10

3) c_{max} เป็นค่าความจุปริมาตรเก็บกักสูงสุดต่ำสุด ส่งผลกระทบต่อเวลาการเกิดน้ำท่าและการชุ่มชื้นของดิน มีค่าไม่เกิน 500

4) b เป็นค่าเลขยกกำลังสองของฟังก์ชันการกระจายแบบ Pareto ที่ขึ้นอยู่กับการแปรผันเชิงพื้นที่ มีค่าระหว่าง 0.1 – 5

5) k_1 เป็นค่าคงที่ของการไหลบนผิวดิน เพื่อควบคุมปริมาณน้ำท่าสูงสุด มีค่าระหว่าง 1 – 50

6) k_b เป็นค่าคงที่ของปริมาณน้ำฐาน เพื่อควบคุมระยะของการลู่เข้า มีค่าระหว่าง 10-500

7) k_g เป็นค่าคงที่ของเวลาการไหลซึมของน้ำลงใต้ดิน เพื่อควบคุมการไหลซึมของน้ำลงดิน

8) b_g เป็นค่าเลขยกกำลังของการไหลซึมของน้ำลงใต้ดิน เพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความไวของการไหลกลับของดินแห้ง มีค่าระหว่าง 0 – 3

9) $tdly$ เป็นค่าเวลาหน่วงของกราฟชลภาพ มีค่าระหว่าง 0 – 20

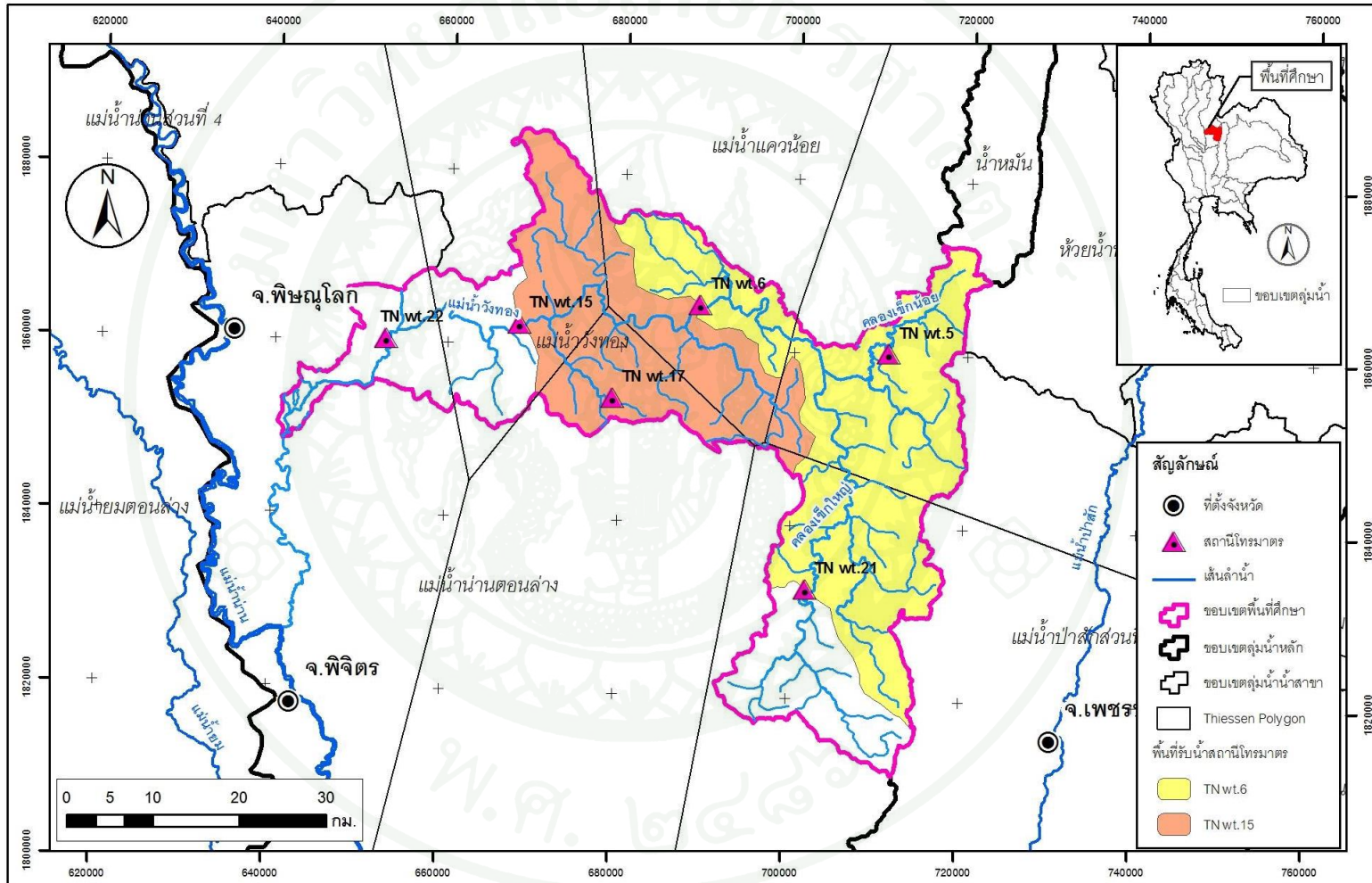
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง PDM (Sensitivity Analysis Model) เพื่อดูว่าปริมาณการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร โดยเพิ่มและลดลงของค่าพารามิเตอร์ โดยแสดงในภาคผนวก ง2 พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อปริมาณการไหลมากที่สุดได้แก่ ค่า $rainfc$ ค่า k_1 และ ค่า b_g

การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11- NAM ที่สถานี
TN wt.6

สถานี TN wt.6 ตรวจวัดระดับน้ำในแม่น้ำวังทองที่บ้านโป่งปะ ตำบลแก่งโสภา อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่รับน้ำ 865 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ทางตอนกลางของกลุ่มน้ำแม่วังทอง มีสถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่จำนวน 3 สถานี คือ สถานี TN wt.21 บ้านหนองแม่นา ตำบลหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ สถานี TN wt.5 บ้านเล่าลือเก่า ตำบลเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และสถานี TN wt.6 บ้านโป่งปะ ตำบลแก่งโสภา อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นสถานีของกรมชลประทาน โดยค่าแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝน TN wt.21 TN wt.5 และ TN wt.6 มีค่าเท่ากับ 0.38 0.43 และ 0.19 ตามลำดับ ส่วนค่าการระเหยจากภาคพิจารณาใช้สถานีของกรมอุตุนิคมวิทยาที่อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ดังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำและรูปเหลี่ยมทริเอสเซน (Thiessen Polygon) สำหรับคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ TN wt.6 ดังภาพที่ 26

การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11- NAM ที่สถานี
TN wt.15

สถานี TN wt.15 ตรวจวัดระดับน้ำในแม่น้ำวังทองที่บ้านวังนกแอ่น ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่รับน้ำ 605 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ทางตอนกลางของกลุ่มน้ำแม่วังทอง มีสถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่จำนวน 4 สถานี คือ สถานี TN wt.5 บ้านเล่าลือเก่า ตำบลเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ สถานี TN wt.6 บ้านโป่งปะ ตำบลแก่งโสภา อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก สถานี TN wt.17 บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปรางค์ จังหวัดพิษณุโลก และสถานี TN wt.15 บ้านวังนกแอ่น ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นสถานีของกรมชลประทาน โดยค่าแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝน TN wt.5 TN wt.6 TN wt.17 และ TN wt.15 มีค่าเท่ากับ 0.06 0.31 0.28 และ 0.35 ตามลำดับ ส่วนค่าการระเหยจากภาคพิจารณาใช้สถานีของกรมอุตุนิคมวิทยาที่อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ดังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำและรูปเหลี่ยมทริเอสเซน (Thiessen Polygon) สำหรับคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ TN wt.15 ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ตำแหน่งสถานีโทรมาตรตรวจวัดน้ำฝน-น้ำท่าและและรูปเหลี่ยม Thiessen Polygon

4. จัดทำแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model)

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model) ที่ได้นำมาศึกษา คือ แบบจำลอง InfoWorks RS และ MIKE11-HD โดยขั้นตอนการศึกษาจะต้องปรับเทียบค่าพารามิเตอร์เพื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ Manning's n ของแม่น้ำวังทอง ด้วยวิธีการสมมุติค่าตอบ (Trial and Error) ให้ตรงกับสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติ โดยจะทำการปรับเทียบข้อมูลตรวจวัด 2 สถานี คือ TN wt.6 และ TN wt.15 โดยนำค่าที่คำนวณได้และปริมาณการไหลที่สัมพันธ์กันไปพล็อตลงใน Rating Curves ที่สถานี TN wt.6 และ TN wt.15 เพื่อเปรียบเทียบกับ Rating Curves ในแบบจำลอง โดยจะหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n ของลำน้ำ (Channel) และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระทุ่งน้ำท่วม (Flood Plain)

การนำข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ InfoWorks-RS และ MIKE11-HD โดยรายละเอียดของข้อมูลและขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลประกอบด้วย

4.1 ข้อมูลรูปตัดขวางของแม่น้ำวังทอง

นำเข้ารูปตัดขวางในแม่น้ำวังทองจำนวน 106 รูปตัด รวมเป็นระยะทาง 137 กม. โดยรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน ดังแสดงตำแหน่งในภาพที่ 28

4.2 ข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves)

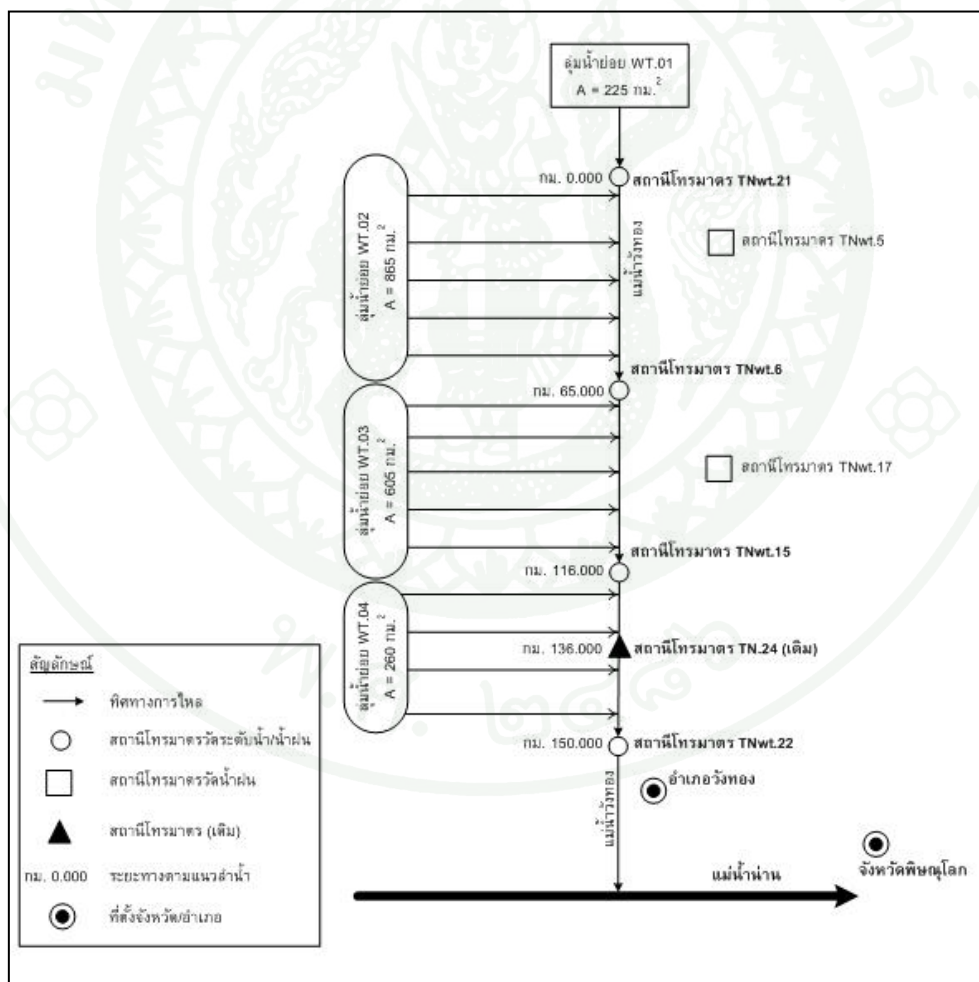
โดยทำการตรวจวัดปริมาณน้ำในสนามเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณการไหล Rating Curves เป็นตัวแทนของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำแม่วังทอง มีจำนวนสถานีโทรมาตร 4 สถานี ได้แก่ สถานี TN wt.21 สถานี TN wt.6 สถานี TN wt.15 และสถานี TN wt.22 ในปี พ.ศ. 2553 โดยรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน

4.3 ขอบเขตแบบจำลอง (Boundary)

การกำหนดขอบเขตแบบจำลองจะต้องทำการกำหนดขอบเขต ด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) และขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำของกลุ่มน้ำแม่วังทองที่สถานี TN wt.21 โดยสมมติค่าปริมาณการไหลให้มี

5. จัดทำแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ

การจัดทำแบบจำลองระบบลุ่มน้ำขึ้นหลังจากทำการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model) InfoWorks-PDM และ MIKE11-NAM และแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model) InfoWorks RS และ MIKE11-HD แยกส่วนกันแล้ว โดยการศึกษาจะครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองทั้งหมด คิดเป็นพื้นที่ 1,955 ตร.กม. จากต้นน้ำลงไปจนถึงสถานีระบบโทรมาตร TN.wt.22 แม่น้ำวังทอง อ.วังทอง จ.พิษณุโลก ซึ่งถือเป็นขอบเขตด้านท้ายน้ำของแบบจำลองโดยคิดเป็นระยะทางตามแนวลำน้ำตั้งแต่ขอบเขตด้านเหนือน้ำลงมาจนถึงด้านท้ายน้ำรวมทั้งสิ้น 136 กิโลเมตร ดังแสดงในแผนภูมิแสดงระบบการไหลของน้ำในลุ่มน้ำแม่วังทอง ดังภาพที่ 29

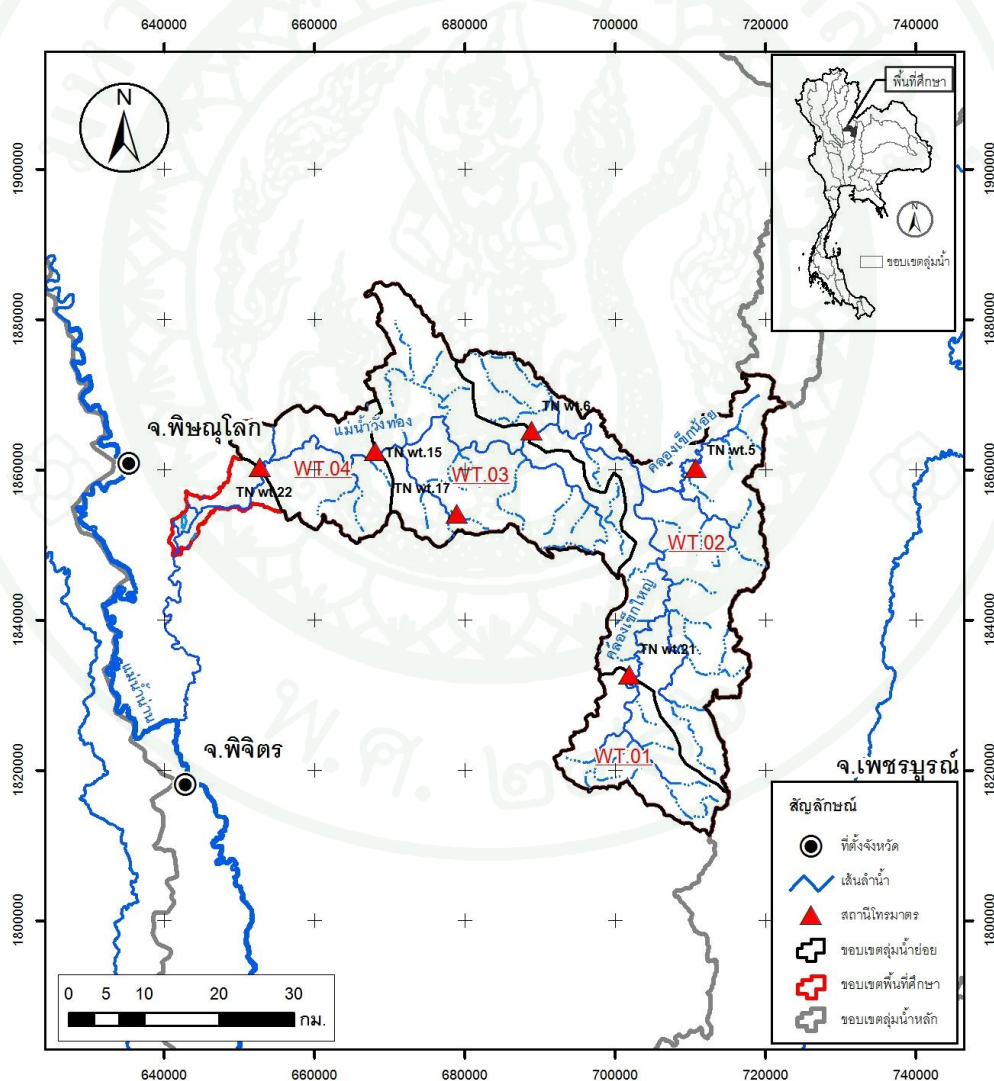


ภาพที่ 29 แผนภูมิแสดงระบบการไหลของน้ำในลุ่มน้ำแม่วังทอง (พื้นที่ลุ่มน้ำรวม 1,955 ตร.กม.)

การนำข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลของแบบจำลองในการจัดทำแบบจำลอง InflowWorks PDM ร่วมกับ RS และ MIKE11-NAM ร่วมกับ HD โดยรายละเอียดของข้อมูลและขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลประกอบด้วย

5.1 ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ

การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำแม่วังทองโดยพิจารณาถึงลักษณะภูมิประเทศจุดบรรจบของลำน้ำย่อย และสถานีวัดน้ำที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำ ทำการแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำแม่วังทองโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ลุ่มน้ำย่อย ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 30 และตารางที่ 12



ภาพที่ 30 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำแม่วังทอง

ตารางที่ 12 รายชื่อลุ่มน้ำย่อยของระบบลุ่มน้ำแม่วังทอง

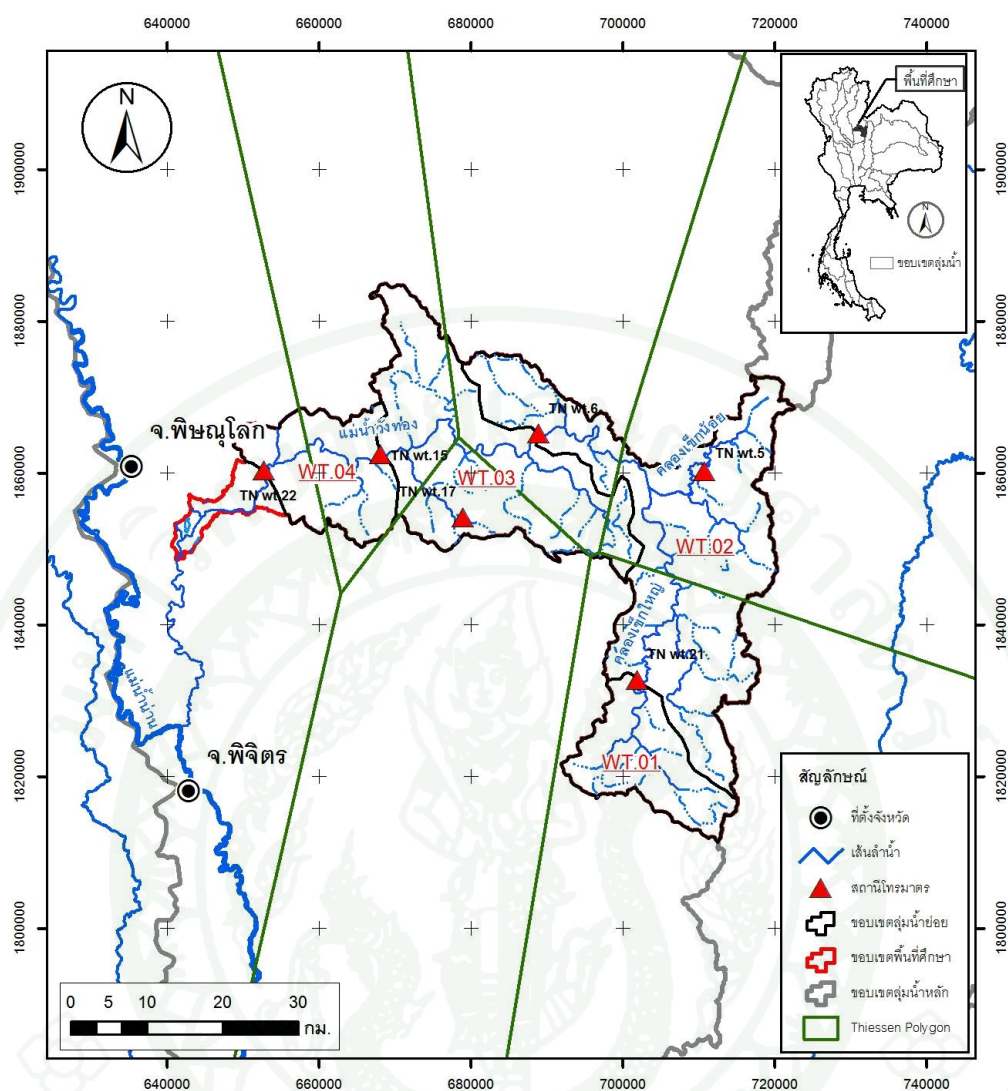
รหัส ลุ่มน้ำ	ลุ่มน้ำย่อยที่ไหลลง	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
WT.01	ต้นน้ำคลองเข็กใหญ่ตอนบนถึงสถานี TN wt.21	225
WT.02	แม่น้ำวังทองตอนบนระหว่างสถานี TN wt.21 ถึง TN wt.6	865
WT.03	แม่น้ำวังทองตอนกลางระหว่างสถานี TN wt.6 ถึง TN wt.15	605
WT.04	แม่น้ำวังทองตอนล่างระหว่างสถานี TN wt.15 ถึง TN wt.2	260
พื้นที่ลุ่มน้ำรวม		1,955

5.2 ข้อมูลปริมาณฝน

พิจารณาใช้ข้อมูลปริมาณฝนราย 15 นาที จากสถานีโทรมาตรวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำที่
โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน โดยมีสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝน
แต่ละสถานีที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่สถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณานั้น โดยใช้วิธี Thiessen Polygon เพื่อ
คำนวณปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 31 และสัดส่วนของค่าการถ่วงน้ำหนักของแต่ละ
สถานีวัดน้ำฝนได้แสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สัดส่วนค่าการถ่วงน้ำหนักของสถานีโทรมาตรในระบบลุ่มน้ำแม่วังทอง

รหัส ลุ่มน้ำ	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	รหัสสถานีโทรมาตร					
		TN wt.21	TN wt.5	TN wt.6	TN wt.17	TN wt.15	TN wt.22
WT.01	225	1	-	-	-	-	-
WT.02	865	0.368	0.439	0.193	-	-	-
WT.03	605	0.00293	0.0172	0.307	0.288	0.386	-
WT.04	260	-	-	-	-	0.552	0.448



ภาพที่ 31 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำแม่วังทอง

5.3 ข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลการระเหยจากผิวดินและการระเหยใช้ข้อมูลการระเหยจากสถานีตรวจอากาศประจำจังหวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วังทองและบริเวณใกล้เคียงจำนวน 3 สถานี สถานีตรวจอากาศพิษณุโลก สถานีตรวจอากาศอำเภอหล่มสัก และสถานีตรวจอากาศเพชรบูรณ์ โดยทำการสรุปตัวแปรสภาพภูมิอากาศที่สำคัญในช่วงปี.ศ. 2523 ถึง 2552 (30 ปี) โดยนำมาหาค่าเฉลี่ยราย 15 นาที จากข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน เพื่อใช้เป็นค่าการระเหยเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ของลุ่มน้ำแม่วังทอง

5.4 ข้อมูลปริมาณการไหล

เป็นข้อมูลปริมาณการไหลราย 15 นาที ที่ได้จากสถานีโทรมาตรวัดน้ำท่าซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำแม่วังทอง โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน โดยจะประยุกต์ใช้แบบจำลองย่อยทั้งสองในการจำลองสภาพน้ำหลากในช่วงปี พ.ศ. 2556 โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของระบบลุ่มน้ำแม่วังทอง ได้ดังนี้

5.4.1 ขอบเขตด้านเหนือน้ำ กำหนดให้ใช้สำหรับแม่น้ำวังทองใช้ปริมาณการไหลราย 15 นาทีที่สถานี TN wt.21 ในแบบจำลอง InfoWorks RS และ MIKE11-HD

5.4.2 ขอบเขตด้านท้ายน้ำ กำหนดให้ใช้โค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล หรือ Rating Curves ที่สถานี TN wt.22 ในแบบจำลอง InfoWorks RS และ MIKE11-HD

5.4.3 ปริมาณการไหลเข้าด้านข้างของลุ่มน้ำกำหนดให้ใช้ปริมาณการไหลที่ประเมินได้จากแบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11-NAM

6. การพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในลุ่มน้ำ

การพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในลุ่มน้ำแม่วังทองที่นำมาศึกษา คือแบบจำลอง MIKE11-DA โดยการจัดทำแบบจำลองพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA ได้จากการนำแบบจำลอง MIKE11-NAM/HD ที่ผ่านการปรับเทียบร่วมกันมาแล้วมาประยุกต์ใช้โดยทดสอบผลการพยากรณ์น้ำช่วงฤดูน้ำหลากในอดีตช่วงปีจำลองสภาพการเกิดอุทกภัยในปี พ.ศ.2556 ในการสอบเทียบผลการพยากรณ์น้ำที่ได้จากแบบจำลอง MIKE11-DA นั้น จะมีการพิจารณาคำหนดจุดและชนิดของข้อมูลที่จะทำการพยากรณ์น้ำในแม่น้ำวังทอง จำนวน 4 จุด ได้แก่ สถานี TN wt.21 บ้านหนองแม่นา สถานี TN wt.6 บ้านโป่งปะ สถานี TN wt.15 บ้านวังนกแอ่น และ สถานี TN wt.22 อำเภอวังทอง โดยทุกจุดจะเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำมาทำการ Update กับผลการรันของแบบจำลอง

จากการพิจารณาเหตุการณ์น้ำหลากในปี 2556 พบว่าลุ่มน้ำการทดสอบรัน โดยตั้งค่าช่วง Hindcast Period เท่ากับ 3 วันย้อนหลัง และค่าช่วง Forecast Period เท่ากับ 1 วันล่วงหน้า และทำการพยากรณ์น้ำต่อเนื่องทุกๆ 1 วัน ราย 15 นาที ในช่วง ระยะเวลา 6.00 น. 12.00 น. 18.00 น. 24.00 น. ในแม่น้ำวังทองจะถูกตรวจสอบค่าความแม่นยำในรูปของค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าระดับน้ำที่

ตรวจวัดได้จริงกับค่าระดับน้ำที่แบบจำลองพยากรณ์น้ำล้นหน้าออกไป 1 วัน จากสมการที่ (15) ดังนี้

$$\epsilon = \left| \frac{WL_{obs} - WL_{sim}}{WL_{obs}} \right| \times 100 \quad (30)$$

เมื่อ ϵ = ค่าความคลาดเคลื่อน (หน่วยเป็น ร้อยละ)

WL_{obs} = ค่าระดับน้ำรายวันที่ตรวจวัดได้จริง (หน่วยเป็น ม.รทก.)

WL_{sim} = ค่าระดับน้ำรายวันที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลอง (หน่วยเป็น ม.รทก.)

7. ทำการสรุป/เปรียบเทียบผลการพยากรณ์น้ำในลุ่มน้ำแม่วังทอง

สรุปผลเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงในสนามจากผลการรันของแบบจำลอง ระบบลุ่มน้ำ MIKE11-NAM/HD ที่นำมาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองการพยากรณ์น้ำในแบบจำลอง MIKE11-DA เพื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของแบบจำลองการพยากรณ์น้ำล้นหน้ามีมากหรือน้อยเพียงใดโดยใช้สมการหาความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จริงกับค่าระดับน้ำที่แบบจำลอง

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model)

สถานี TN wt.6 มีผลการเปรียบเทียบและผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้โดยแสดงดังภาพที่ 32 และ 33 จากรูปแสดงการพล็อตกราฟระหว่างค่าปริมาณการไหลที่ตรวจวัดได้จริงที่สถานี TN wt.6 (เส้นทึบ) กับค่าปริมาณการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า PDM (เส้นประ) และ NAM (เส้นจุด) ดังตารางที่ 14 ซึ่งพบว่า ค่าทางสถิติของแบบจำลอง NAM มีค่า r เท่ากับ 0.88 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากมีค่าความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และค่าทางสถิติของแบบจำลอง PDM มีค่า r เท่ากับ 0.87 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากมีค่าความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11 - NAM ดังตารางที่ 15 และ 16

สถานี TN wt.15 มีผลการเปรียบเทียบและผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้โดยแสดงดังภาพที่ 34 และ 35 จากรูปแสดงการพล็อตกราฟระหว่างค่าปริมาณการไหลที่ตรวจวัดได้จริงที่สถานี TN wt.15 (เส้นทึบ) กับค่าปริมาณการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า PDM (เส้นประ) และ NAM (เส้นจุด) ดังตารางที่ 14 ซึ่งพบว่า ค่าทางสถิติของแบบจำลอง NAM มีค่า r เท่ากับ 0.83 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากมีค่าความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และค่าทางสถิติของแบบจำลอง PDM มีค่า r เท่ากับ 0.85 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากมีค่าความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks PDM และ MIKE11 - NAM ดังตารางที่ 15 และ 16

ตารางที่ 14 ค่าทางสถิติที่ได้จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

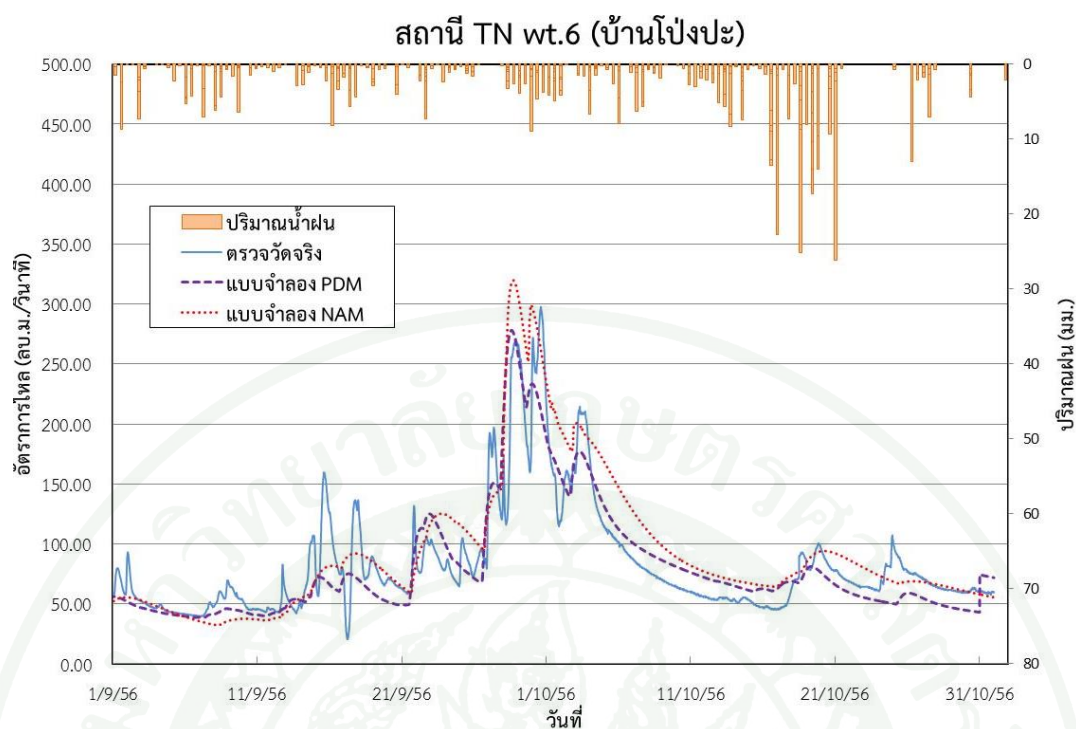
สถานี โทร มาตร	เกณฑ์ทางสถิติในการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า					
	ค่า r		ค่า RMSE (cms)		ค่า NSE	
	NAM	PDM	NAM	PDM	NAM	PDM
TNwt.6	0.88	0.87	24.10	19.74	0.62	0.75
TNwt.15	0.83	0.85	47.99	43.81	0.66	0.72

ตารางที่ 15 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบของแบบจำลอง InfoWorks PDM ของสถานี TN wt.6 และสถานี TN wt.15

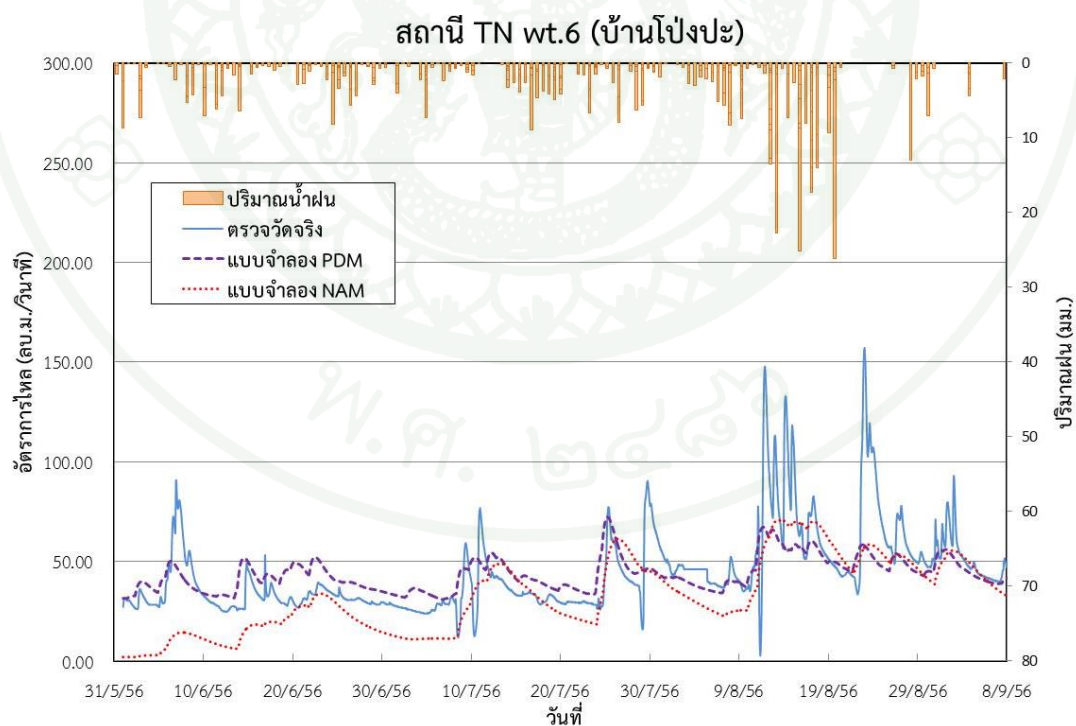
สถานี	TN wt.6	TN wt.15
พารามิเตอร์	ค่าการปรับเทียบ	ค่าการปรับเทียบ
rainfc	2.381	3.927
cmin	0.00	0.00
cmax	451	460
b	3.141	1.202
be	7.036	8.801
k1	18.83	19.29
kb	499.36	242.77
kg	40232	41846
bg	2.774	1.941
kin f	104.48	130.47
tdly	3.25	0.511

ตารางที่ 16 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบของแบบจำลอง MIKE11 - NAM ของ
สถานี TN wt.6 และสถานี TN wt.15

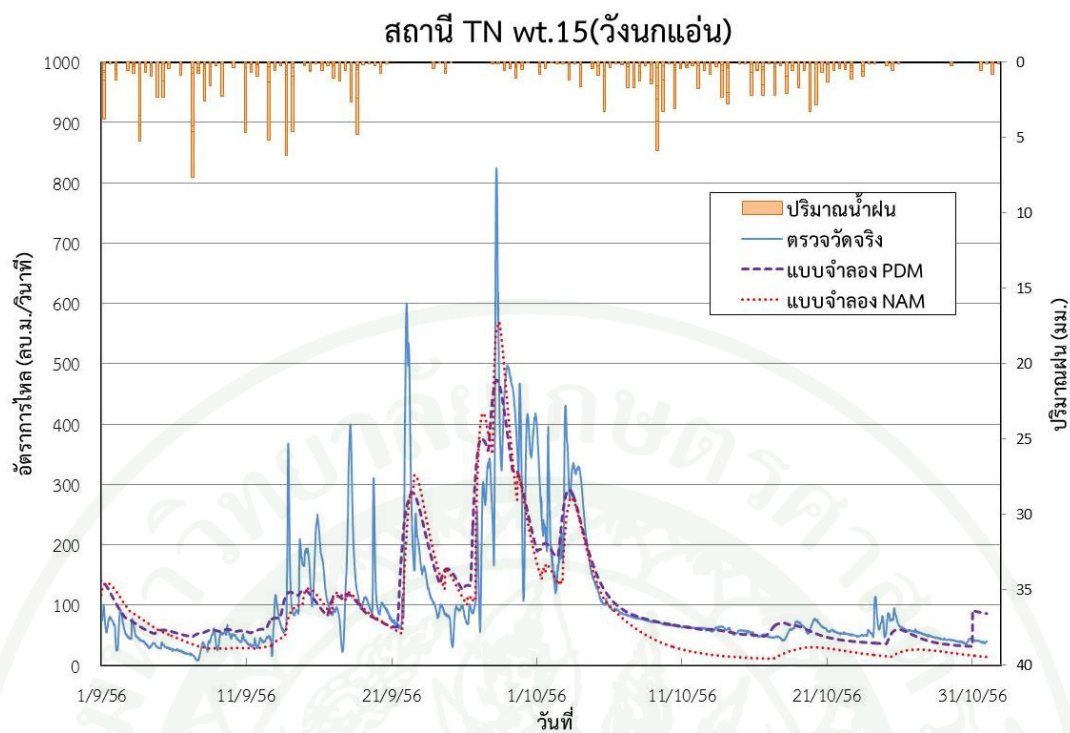
สถานี	TN wt.6	TN wt.15
พารามิเตอร์	ค่าการเปรียบเทียบ	ค่าการเปรียบเทียบ
Umax	13.0	10.4
Lmax	101	113
CQOF	0.341	0.917
CKIF	472.1	947.5
CK1,2	45.7	49.6
TOF	0.336	0.177
TIF	0.55	0.382
TG	0.207	0.474
CKBF	1165	1157
Carea	1	1
Sy	0.1	0.1
GWLBF0	10	10
GWLBF1	0	0
Cqlow	0.251	0.724
Cklow	18753	6547



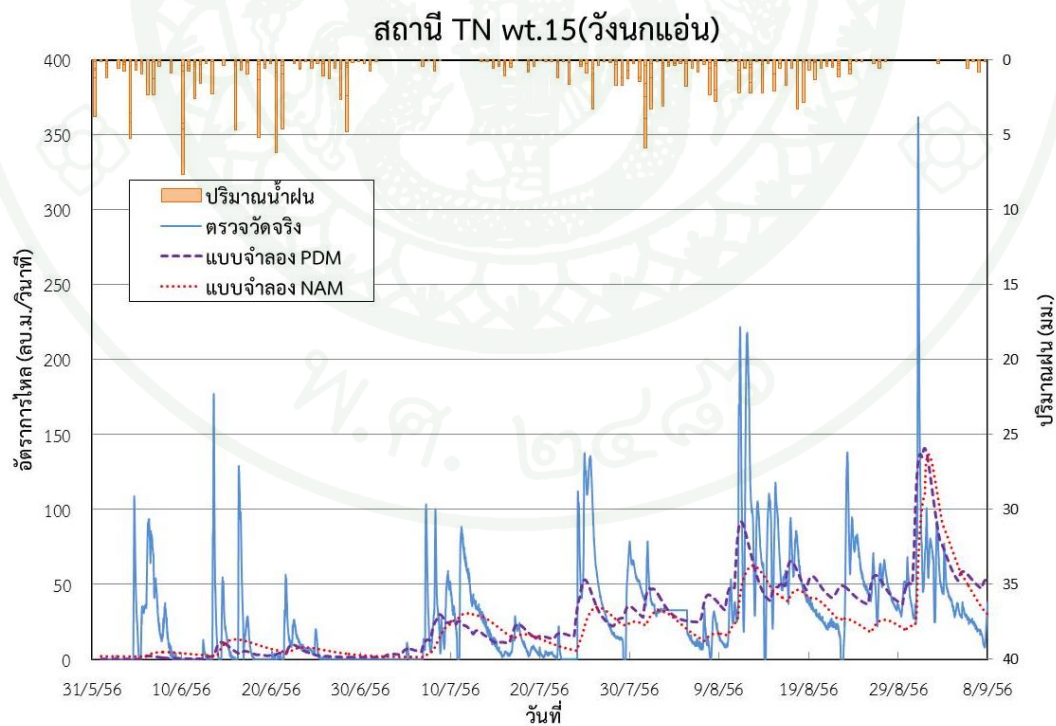
ภาพที่ 32 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เดือน ก.ย.- ต.ค. ปี 2556 ที่สถานี TN wt.6



ภาพที่ 33 ผลการพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เดือน มิ.ย.- ส.ค. ปี 2556 ที่สถานี TN wt.6



ภาพที่ 34 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เดือน ก.ย.- ต.ค. ปี 2556 ที่สถานี TN wt.15



ภาพที่ 35 ผลการพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เดือน มิ.ย.- ส.ค. ปี 2556 ที่สถานี TN wt.15

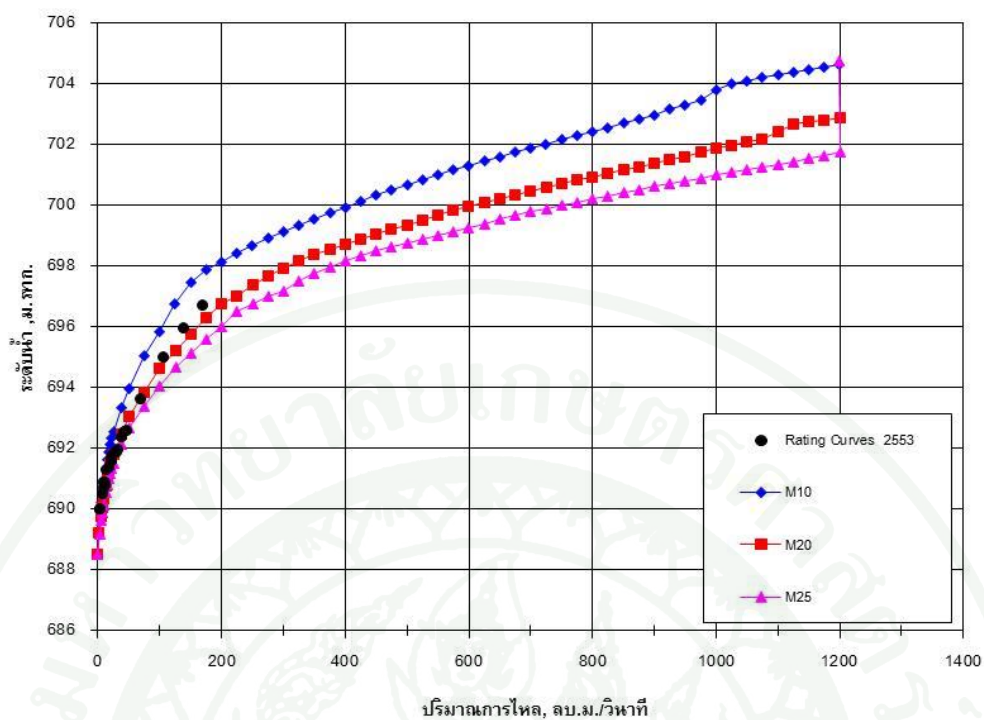
2. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model)

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ InfoWorks RS และ MIKE11 - HD จะแสดงในรูปของโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับระดับน้ำ (Rating Curves) ที่ได้จากการสมมุติให้มีการไหลแบบ Steady State เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ หรือ Manning'n ให้ตรงกับสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติของสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำวังทอง สรุปผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD ด้วยวิธีการสมมุติค่าตอบ (Trial and Error) จนได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่เหมาะสมและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยมีรูปตัดขวางในแม่น้ำวังทองจำนวน 106 รูปตัด รวมเป็นระยะทาง 137 กม. ดังในตารางที่ 17 และดังภาพที่ 36 - 39

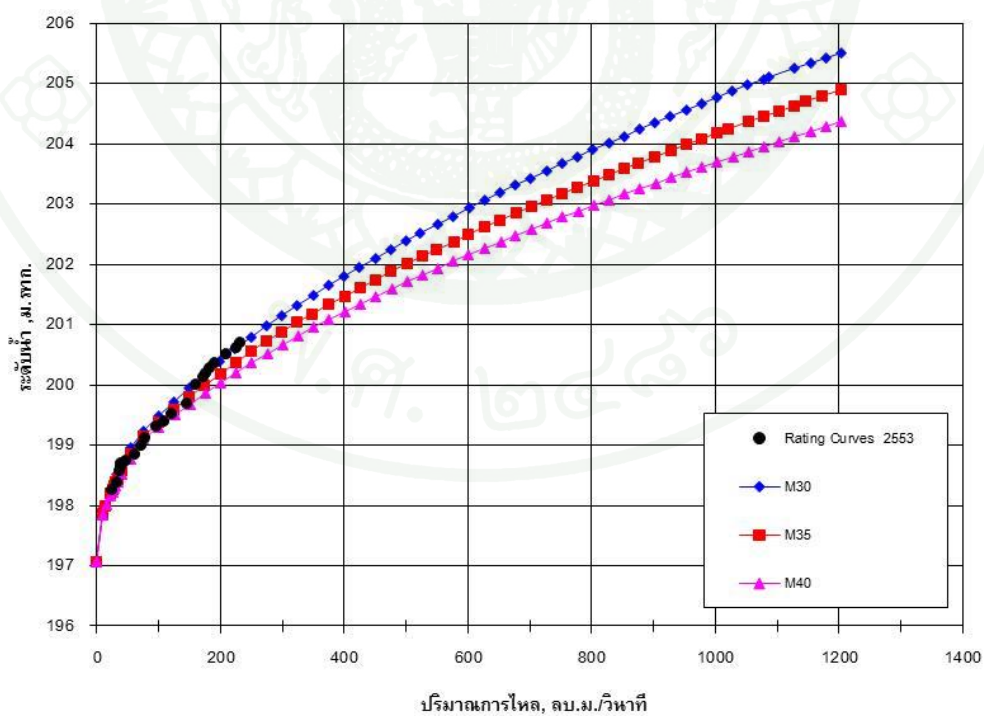
ตารางที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning'n) ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง HD

ชื่อสถานี	ลำน้ำ	ระยะทาง (กม.)	Manning'n
สถานี TN wt.21	คลองเข็กใหญ่	+0.000	0.050
สถานี TN wt.6	แม่น้ำวังทอง	+72.277	0.033
สถานี TN wt.15	แม่น้ำวังทอง	+108.260	0.033
สถานี TN wt.22	แม่น้ำวังทอง	+136.090	0.025

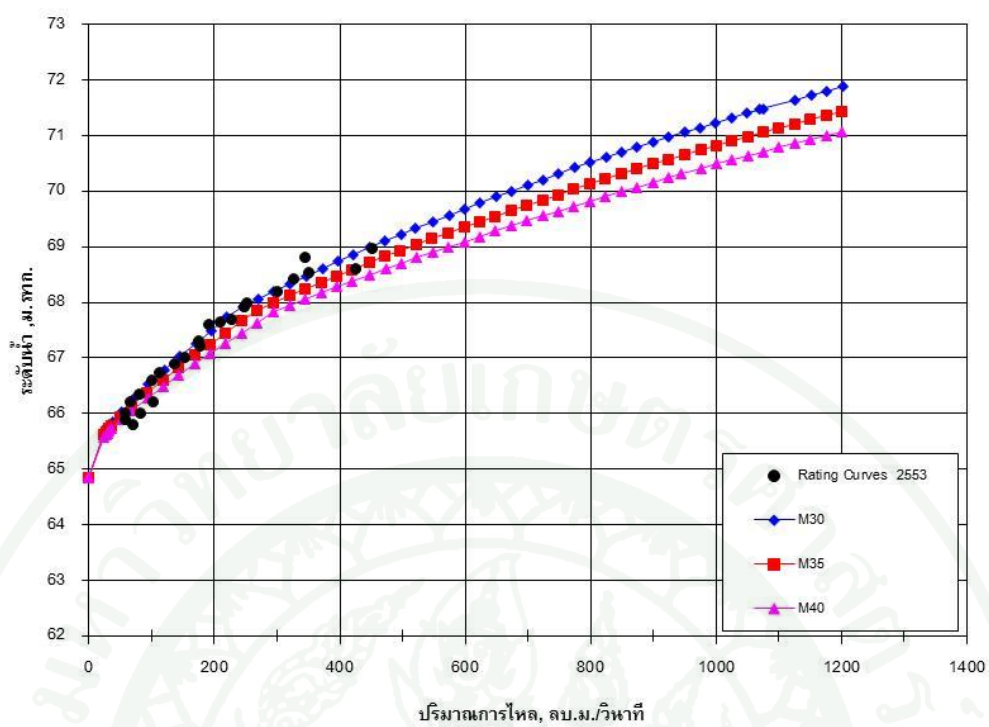
ผลการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks RS ที่ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์เพื่อกำหนดหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ Manning's n ของแม่น้ำวังทอง ด้วยวิธีการสมมุติค่าตอบ (Trial and Error) ให้ตรงกับสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติ ดังแสดงตารางที่ 4 โดยจะทำการปรับเทียบกับข้อมูลตรวจวัดสถานี TN wt.6 และ สถานี TN wt.15 โดยเลือกใช้วันที่ 8 สิงหาคม 2555 – 9 ตุลาคม 2555 ซึ่งเป็นช่วงฤดูน้ำหลาก ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัด พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n ของลำน้ำ (Channel) แม่น้ำวังทอง ดังในตารางที่ 18 อยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.09 และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระทุ่งน้ำท่วม (Flood Plain) อยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.10 ดังแสดงในรูปที่ 40 และรูปที่ 41



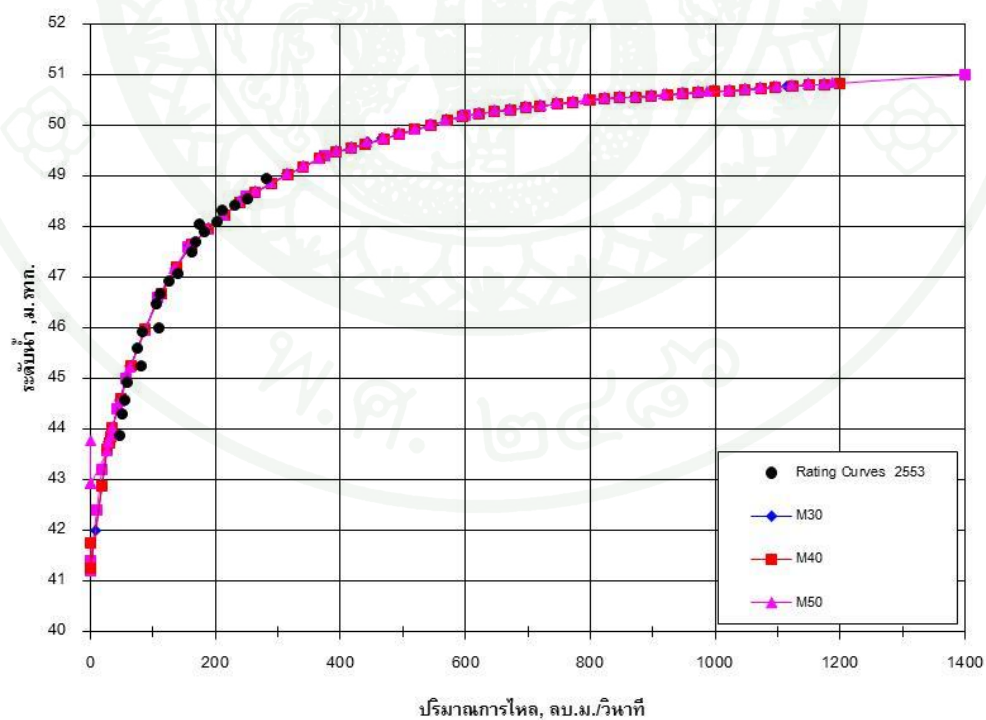
ภาพที่ 36 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD โดยใช้ Rating Curves สถานี TN wt.21



ภาพที่ 37 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD โดยใช้ Rating Curves สถานี TN wt.6



ภาพที่ 38 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD โดยใช้ Rating Curves สถานี TN wt.15



ภาพที่ 39 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11- HD โดยใช้ Rating Curves สถานี TN wt.22

ตารางที่ 18 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning'n) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

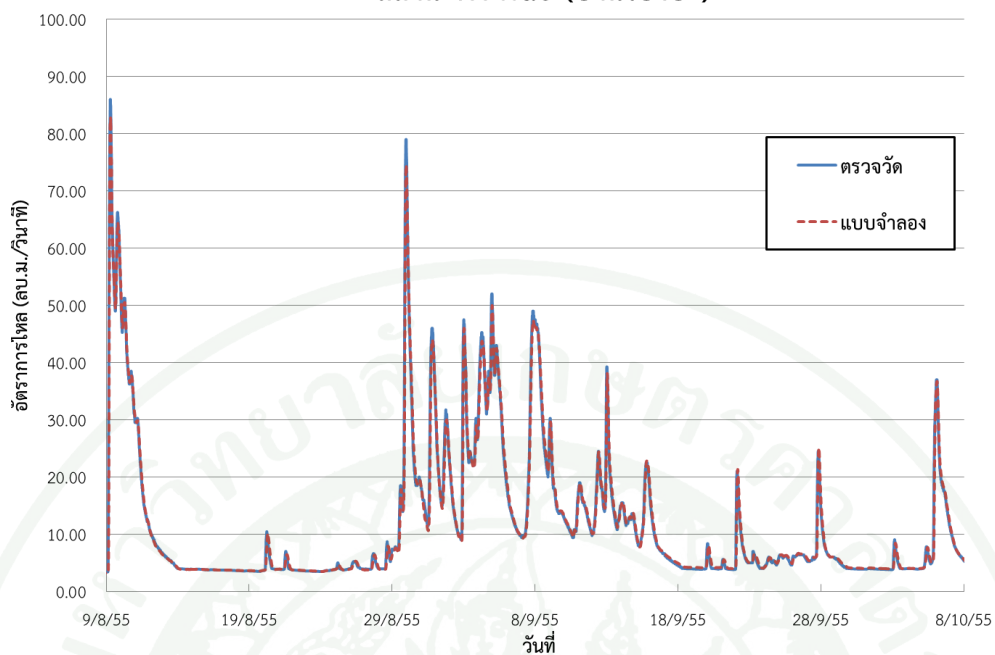
ลำน้ำ	ช่วงลำน้ำ	Manning'n	
		MIKE11-HD	InfoWorks RS
คลองเข็กใหญ่	สถานี TN wt.21 - สถานี TN wt.6	0.050 - 0.033	0.040 - 0.090
แม่วังทอง	สถานี TN wt.6 - สถานี TN wt.15	0.033	0.040 - 0.070
แม่วังทอง	สถานี TN wt.15 - สถานี TN wt.22	0.033 - 0.025	0.040 - 0.030

จากผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์นำมาหาค่าทางสถิติเพื่อวัดความใกล้เคียงและแม่นยำเพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจเลือกผลการเปรียบเทียบซึ่งจะทำให้ค่าปริมาณการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง ดังแสดงในตารางที่ 19 ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (Correlation of Determination, R^2) เท่ากับ 0.988 และ 0.916 และค่าความแม่นยำ (Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE) เท่ากับ 0.988 และ 0.901 ตามลำดับ ค่าจากแบบจำลองนั้นมีค่าเข้าใกล้ 1 ทำให้มีสหสัมพันธ์กับค่าตรวจวัด และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) เท่ากับ 1.383 และ 2.889 ตามลำดับ อยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้ถ้ายิ่งค่าเข้าใกล้ศูนย์ความแม่นยำจะสูง

ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองกับค่าตรวจวัดแบบจำลอง InfoWorks RS

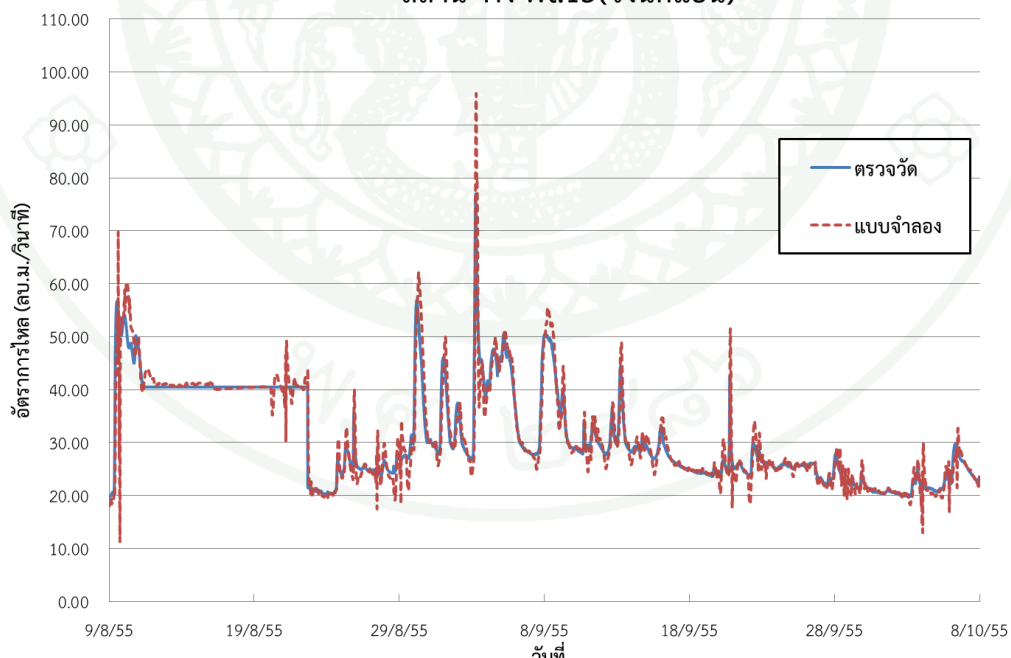
สถานีระบบโทรมาตร	เกณฑ์ทางสถิติในการเปรียบเทียบ		
	ค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2)	ค่าความแม่นยำ (NSE)
TNwt.6	1.383	0.988	0.988
TNwt.15	2.889	0.916	0.901

สถานี TN wt.6 (บ้านโป่งปะ)



ภาพที่ 40 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks - RS สถานี TN wt.6 วันที่ 8 ส.ค. – 9 ต.ค. 55

สถานี TN wt.15(วังนกแอ่น)



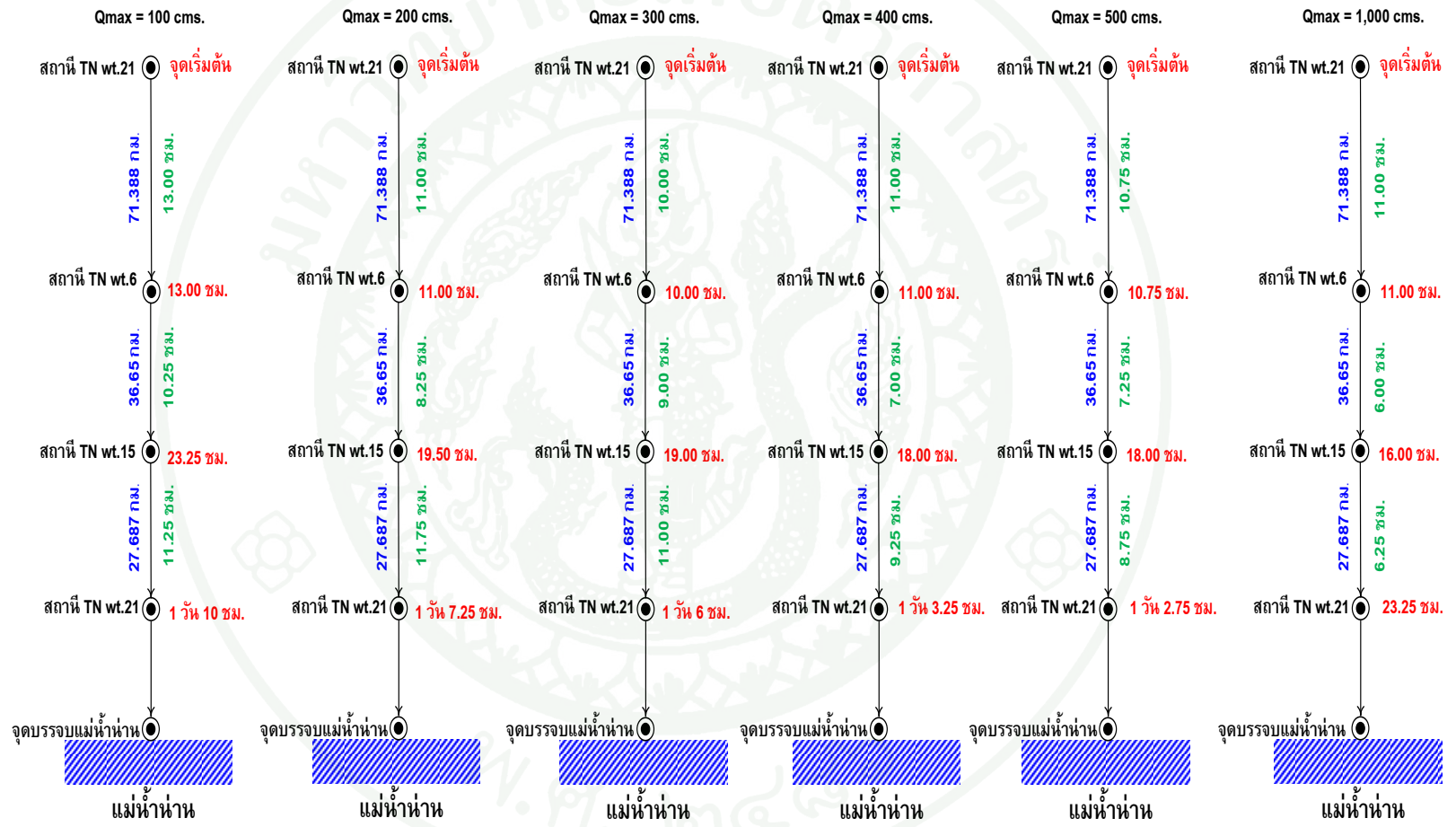
ภาพที่ 41 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง InfoWorks - RS สถานี TN wt.15 วันที่ 8 ส.ค. – 9 ต.ค. 55

ในการนำแบบจำลองจากที่ผ่านการปรับเทียบมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากของแม่น้ำวังทอง โดยกำหนดขอบเขตการไหลด้านเหนือน้ำที่สถานี TN wt.21 เป็นปริมาณการไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งมีค่าระหว่าง 100 จนถึง 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และกำหนดขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำที่สถานี TN wt.22 โดยแสดงเป็นแผนภูมิระยะเวลาการเดินทางของน้ำหลากได้ในภาพที่ 42 และตารางที่ 20 จะพิจารณาการไหลสูงสุดผ่านแต่ละสถานีโทรมาตรคือ สถานี TN wt.21, TN wt.6, TN wt.15 และ TN wt.22 รวมเป็นระยะทางประมาณ 136 กิโลเมตร โดยจะใช้เวลาในการเคลื่อนตัวของน้ำหลากน้อยสุด 23.25 ชั่วโมง ที่อัตราการไหล 1,000 ลบ.ม./วินาที และจะใช้เวลาเคลื่อนตัวของน้ำหลากน้อยสุดที่ 34.50 ชั่วโมง ที่อัตราการไหล 100 ลบ.ม./วินาที

ตารางที่ 20 การเคลื่อนตัวของน้ำหลากในแม่น้ำวังทอง

อัตราการไหลสูงสุด (ม ³ /วินาที)	เวลาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากแต่ละสถานีโทรมาตร						รวมทั้งหมด (ชั่วโมง)
	TN wt.21 ถึง TN wt.6		TN wt.6 ถึง TN wt.15		TN wt.15 ถึง TN wt.22		
	กม.	กม.	กม.	กม.	กม.	กม.	
	0+000	71+388	71+388	108+038	108+038	135+725	
100	13.00		10.25		11.25	34.50	
200	11.00		8.50		11.75	31.25	
300	10.00		9.00		11.00	30.00	
400	11.00		7.00		9.25	27.25	
500	10.75		7.25		8.75	26.75	
1000	11.00		6.00		6.25	23.25	

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากด้านเหนือน้ำลงมายังท้ายน้ำของแม่น้ำวังทองสรุปได้ว่าเมื่อปริมาณการไหลในลำน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการเคลื่อนตัวของน้ำหลากลดลงและยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพยากรณ์น้ำท่วมและบริหารจัดการภัยน้ำท่วมต่อไป



ภาพที่ 42 การเคลื่อนตัวของน้ำหลากในแม่น้ำวังทอง

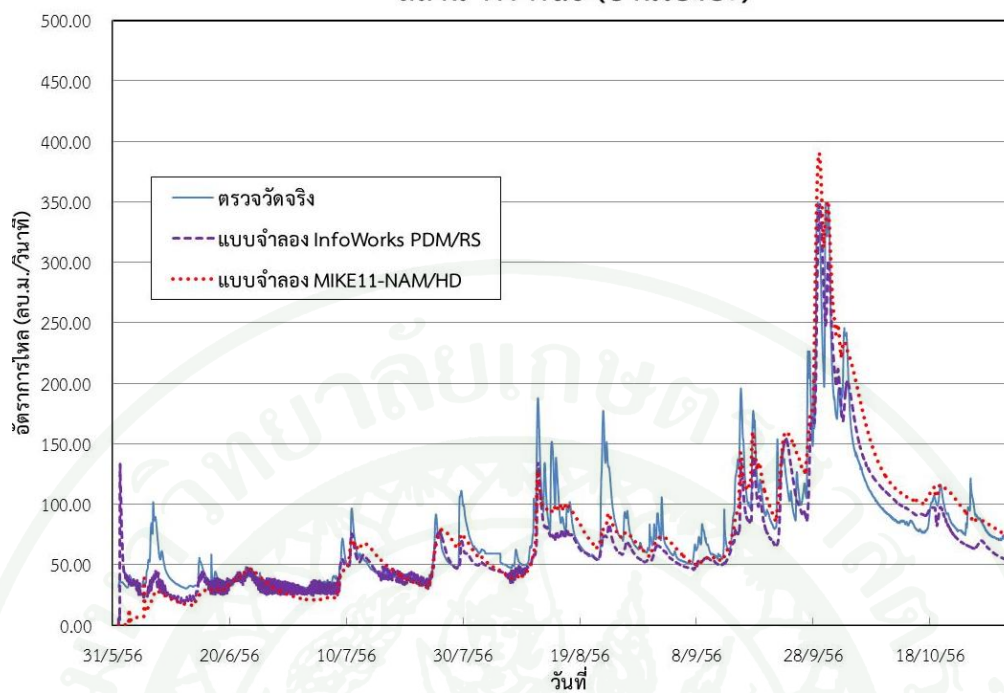
3. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ InfoWorks PDM ร่วมกับ InfoWorks RS และ MIKE11- NAM ร่วมกับ MIKE11- HD โดยใช้เหตุการณ์อุทกภัยในวันที่ 1 มิถุนายน – 31 ตุลาคม พ.ศ. 2556 จากสถานีวัดน้ำท่า สถานี TN wt.6 และสถานี TN wt.15 โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณการไหล (Discharge) ของสถานี TN wt.6 และสถานี TN wt.15 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง InfoWorks PDM/RS และ MIKE11- NAM/HD สามารถสรุปออกมาเป็นค่าดัชนีทางสถิติได้ดังในตารางที่ 21 ซึ่งพบว่าค่าทางสถิติของแบบจำลอง NAM/HD มีค่า r อยู่ในช่วง 0.91-0.93 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก มีค่า NSE ความแม่นยำสูงและความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และค่าทางสถิติของแบบจำลอง PDM/RS มีค่า r อยู่ในช่วง 0.91-0.92 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก มีค่า NSE ความแม่นยำสูงและความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และแสดงผลเป็นกราฟปริมาณการไหลของสถานี TN wt.6 และสถานี TN wt.15 ดังแสดงในภาพที่ 43 - 44 โดยกราฟทั้งสองแสดงให้เห็นถึงผลของการคำนวณปริมาณการไหลได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงและจากค่าทางสถิติจึงคัดเลือกแบบจำลอง NAM/HD ซึ่งได้พิจารณาจากค่า r ดีกว่ามาใช้ทำการพยากรณ์น้ำต่อไป

ตารางที่ 21 ค่าทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ

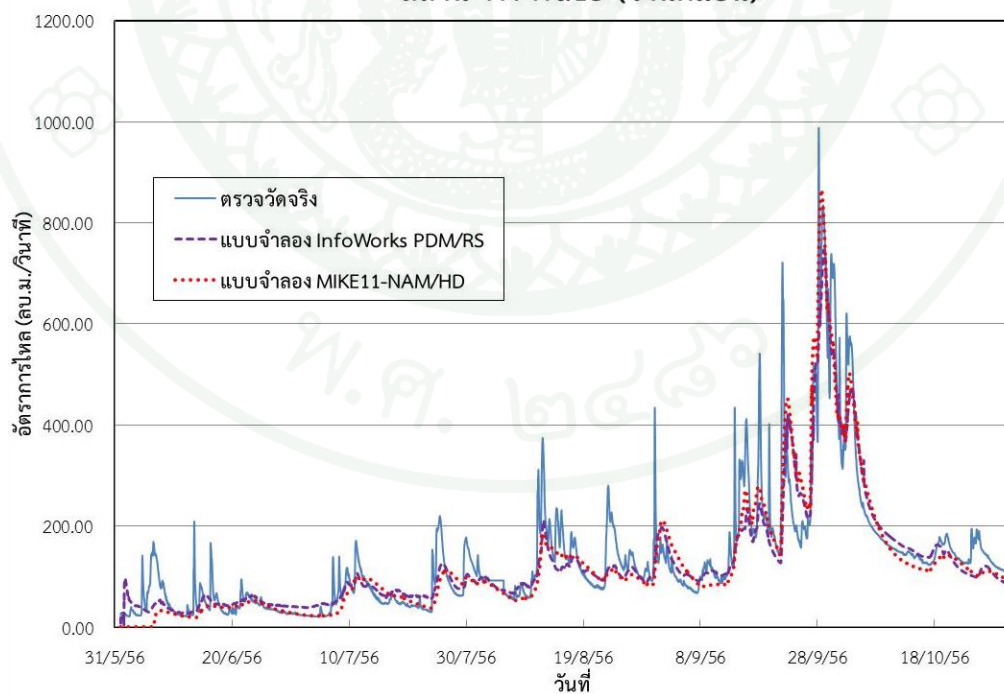
สถานี โทร มาตร	เกณฑ์ทางสถิติในการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ					
	ค่า r		ค่า RMSE (cms)		ค่า NSE	
	NAM/HD	PDM/RS	NAM/HD	PDM/RS	NAM/HD	PDM/RS
TNwt.6	0.93	0.92	23.45	20.88	0.765	0.814
TNwt.15	0.91	0.91	53.18	52.52	0.822	0.826

สถานี TN wt.6 (บ้านโป่งปะ)



ภาพที่ 43 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำที่สถานี TN wt.6

สถานี TN wt.15 (วังนกแอ่น)



ภาพที่ 44 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำที่สถานี TN wt.15

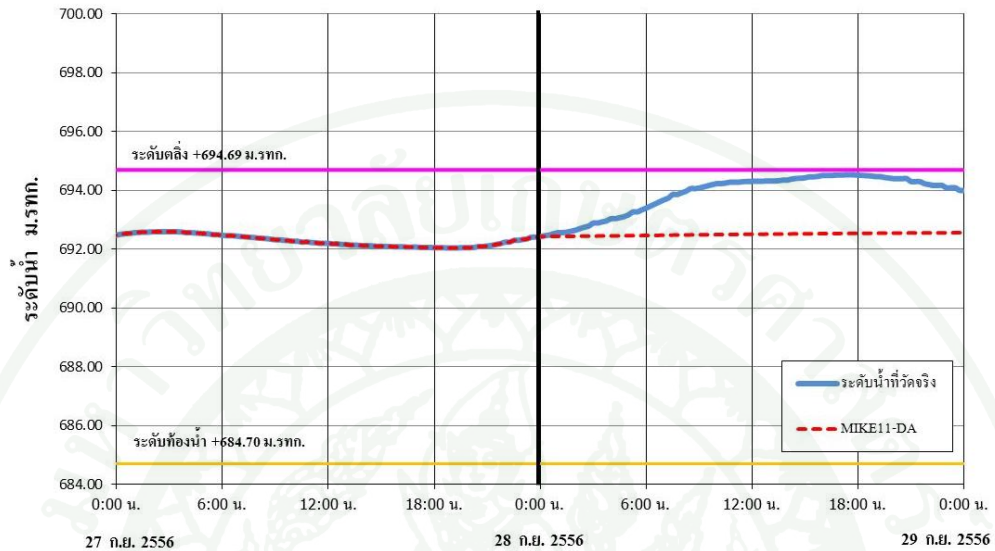
4. ผลการจำลองการพยากรณ์น้ำท่วมแบบตามเวลาจริงในลุ่มน้ำ

ผลการจำลองการพยากรณ์น้ำโดย MIKE11- DA ทำการพยากรณ์เหตุการณ์อุทกภัยตั้งแต่วันที่ 28 กันยายน – 4 ตุลาคม 2556 ได้ผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้าโดยเริ่มตั้งแต่วันที่แรกจนถึงวันสุดท้ายไปเรื่อยๆ ทุกวัน ราย 15 นาที โดยสรุปผลความแม่นยำของผลการพยากรณ์ในรูปแบบของค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้จริงกับค่าที่แบบจำลองการพยากรณ์น้ำล่องหน้าออกไป 1 วัน ในตารางที่ 19 และได้แสดงกราฟผลการพยากรณ์น้ำของสถานี TN wt.21 TN wt.6 TN wt.15 และ TN wt.22 ไว้ในภาพที่ 45- 51 จากภาพแสดงกราฟผลการพยากรณ์น้ำของสถานี TN wt.21 TN wt.6 TN wt.15 และ TN wt.22 โดยให้กราฟเส้นทึบ คือระดับน้ำที่วัดได้จริงกับค่าระดับน้ำจากแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA (เส้นประ) เส้นแนวตั้งจะเป็นวันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF) ส่วนเส้นกราฟด้านซ้ายจะแสดงถึงช่วงเวลาย้อนหลัง หรือ Hindcast Period ส่วนเส้นกราฟด้านขวาของเส้นตั้งนั้นก็คือ ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำล่องหน้า หรือ Forecast Period จะเห็นได้ว่าในช่วงของการพยากรณ์ในแต่ละช่วงการพยากรณ์น้ำล่องหน้า จะมีค่าความแม่นยำมาก และจากตารางที่ 22 พบว่าผลการพยากรณ์ระดับน้ำของสถานีโทรมาตรทั้งสี่แห่ง ของแบบจำลอง MIKE11-DA ในช่วงหนึ่งวันล่องหน้า ณ เวลา 6.00 น. 12.00 น. 18.00 น. 24.00 น.

ณ เวลา 6.00 น. จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 5.88 4.42 6.33 และ 5.94 ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดร้อยละ 0.00 0.54 0.06 และ 1.78 ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดร้อยละ 12.40 8.55 26.08 และ 7.90 ตามลำดับ ณ เวลา 12.00 น. จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 14.88 12.04 13.51 และ 9.07 ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดร้อยละ 0.00 6.92 2.92 และ 5.52 ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดร้อยละ 35.07 17.07 30.20 และ 14.49 ตามลำดับ ณ เวลา 18.00 น. จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 22.78 18.90 17.19 และ 11.33 ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดร้อยละ 0.00 0.71 7.04 และ 5.75 ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดร้อยละ 53.15 31.16 33.63 และ 17.97 ตามลำดับ ณ เวลา 24.00 น. จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 29.06 19.77 19.34 และ 12.98 ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดร้อยละ 0.00 0.42 0.33 และ 5.60 ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดร้อยละ 50.70 36.09 36.27 และ 24.25 ตามลำดับ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอาจจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำการพยากรณ์น้ำออกไปล่องหน้าหลายวันจากวันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF) โดยแบบจำลอง MIKE11-DA ให้ผลการพยากรณ์น้ำในแม่น้ำแม่วังทองเป็นที่น่าพอใจในระดับดีมาก

1) สถานี TNwt.21

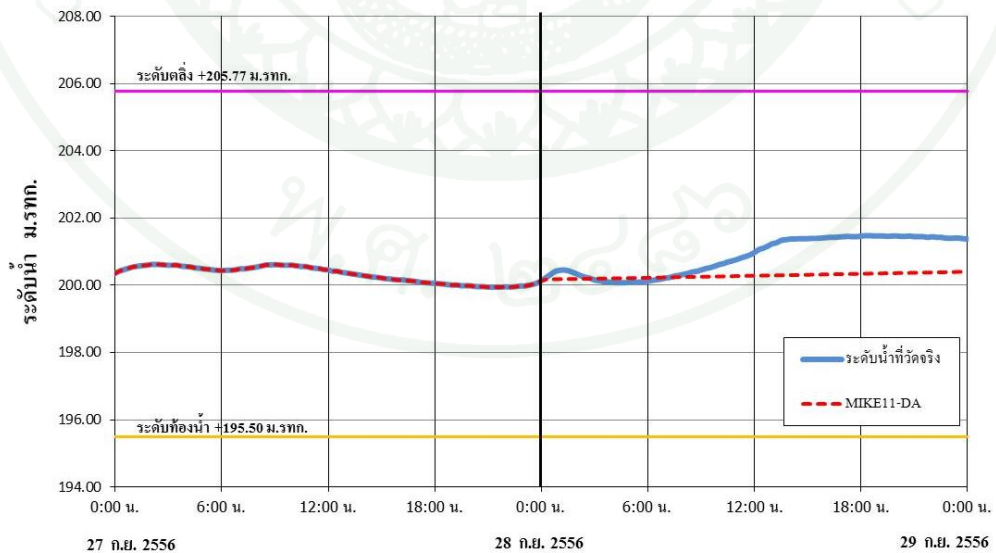
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.21 วันที่ 28 ก.ย. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

2) สถานี TNwt.6

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.6 วันที่ 28 ก.ย. 2556

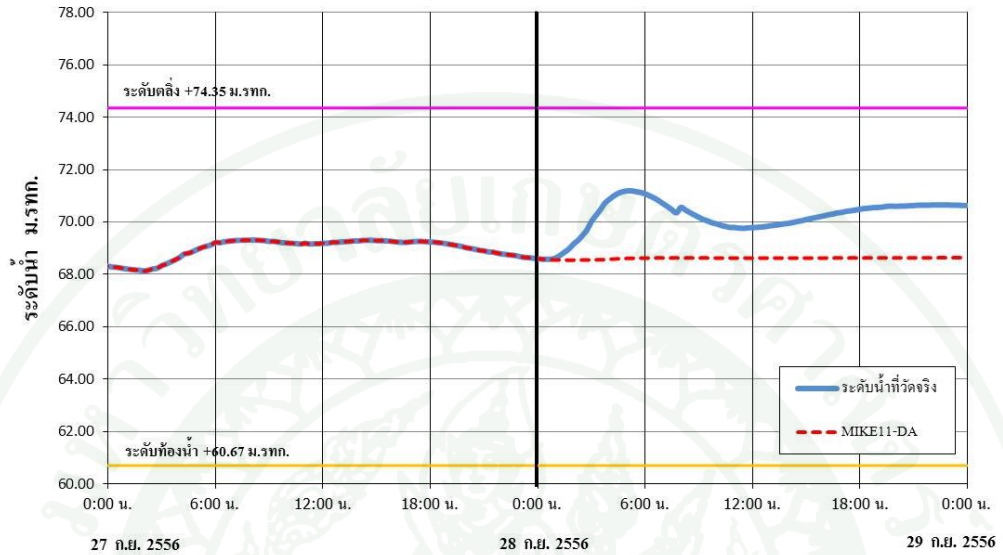


วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 45 การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 28 ก.ย. 2556

3) สถานี TNwt.15

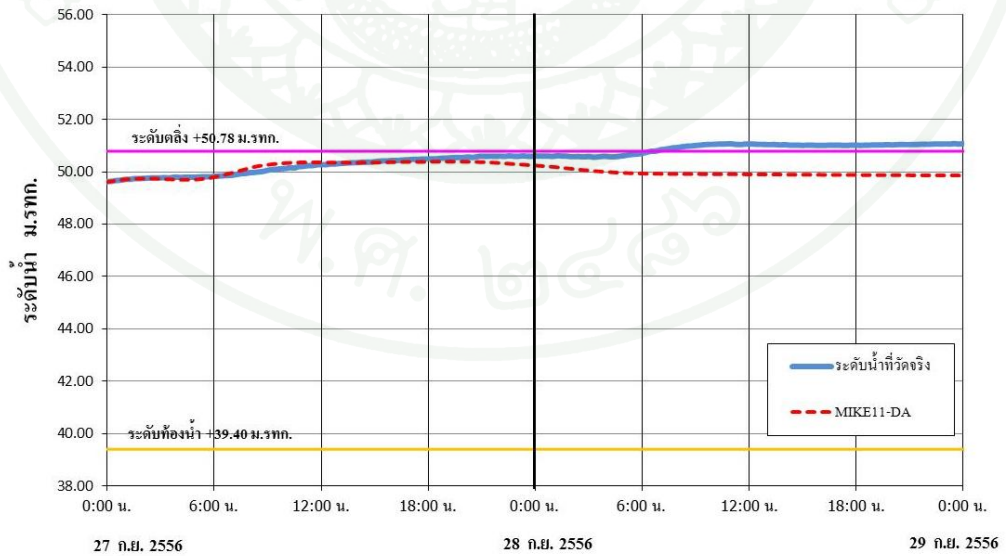
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.15 วันที่ 28 ก.ย. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

4) สถานี TNwt.22

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.22 วันที่ 28 ก.ย. 2556

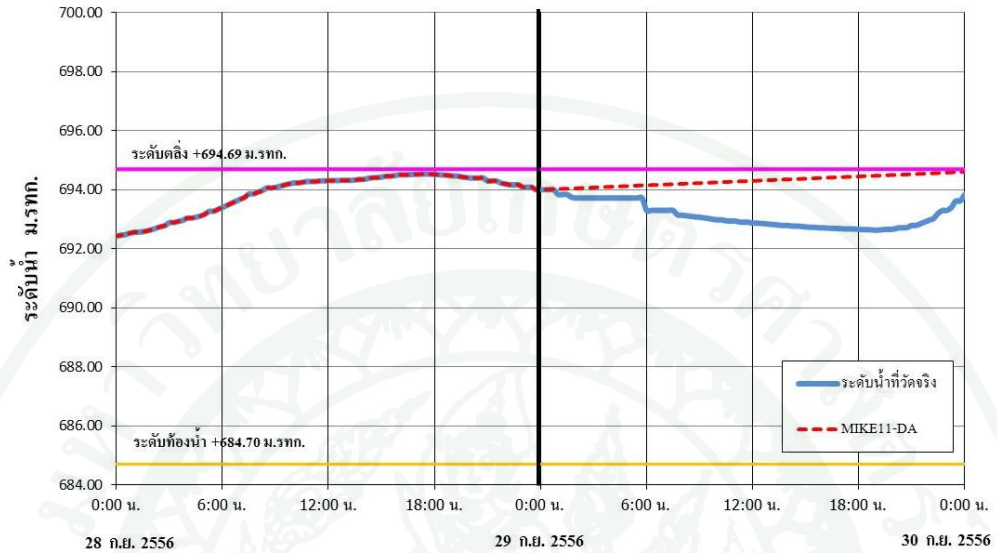


วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 45 (ต่อ)

1) สถานี TNwt.21

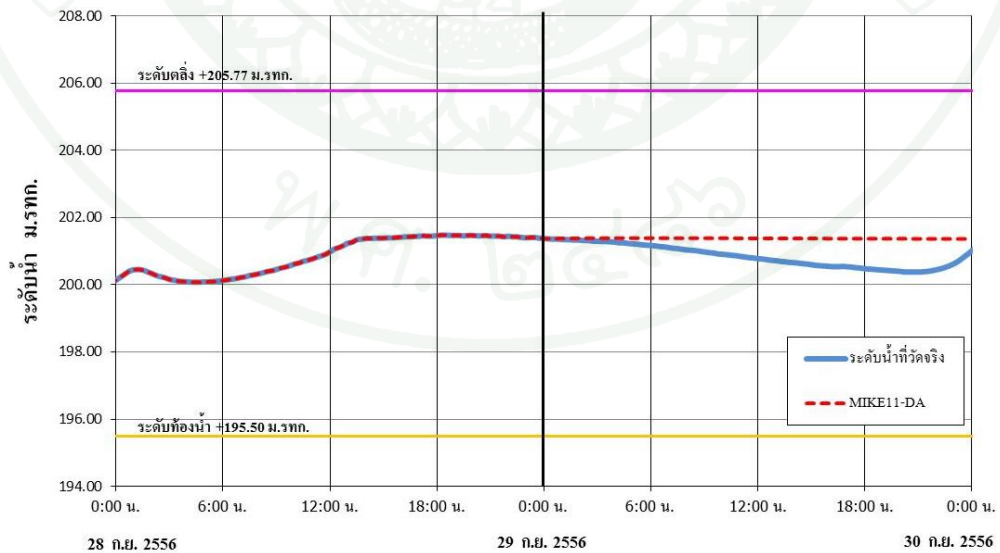
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.21 วันที่ 29 ก.ย. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

2) สถานี TNwt.6

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.6 วันที่ 29 ก.ย. 2556

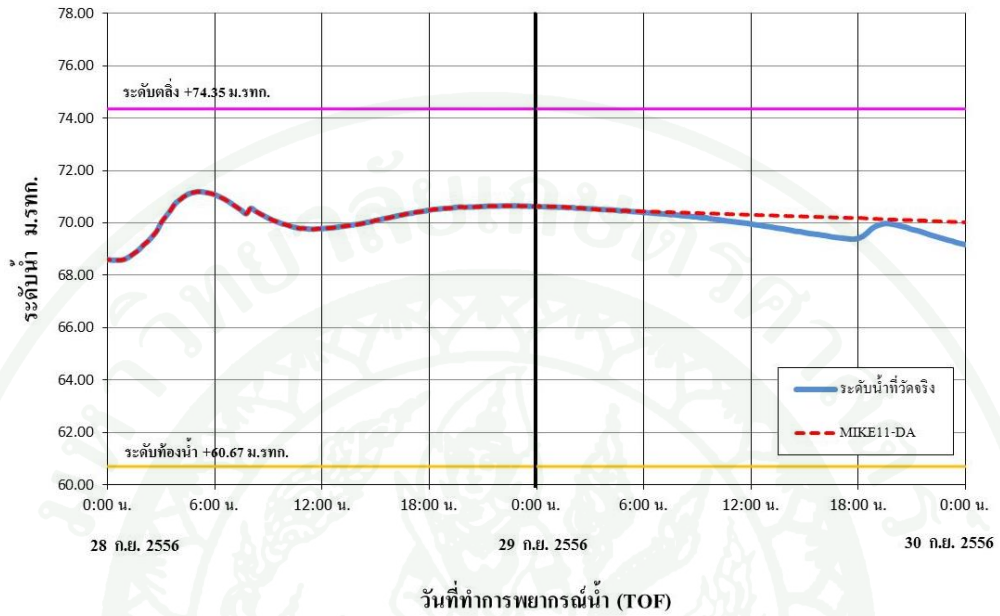


วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 46 การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 29 ก.ย. 2556

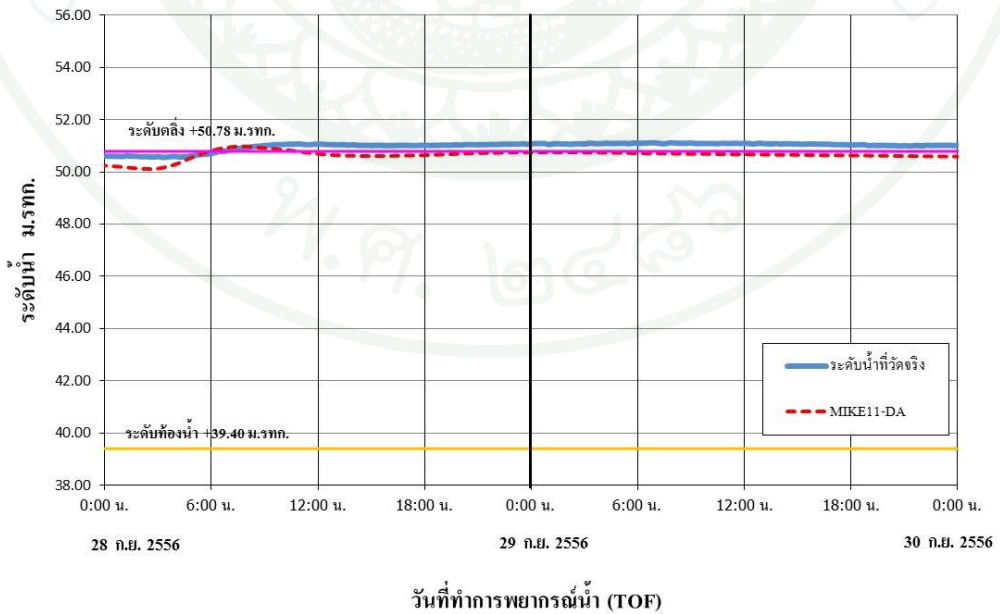
3) สถานี TNwt.15

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.15 วันที่ 29 ก.ย. 2556



4) สถานี TNwt.22

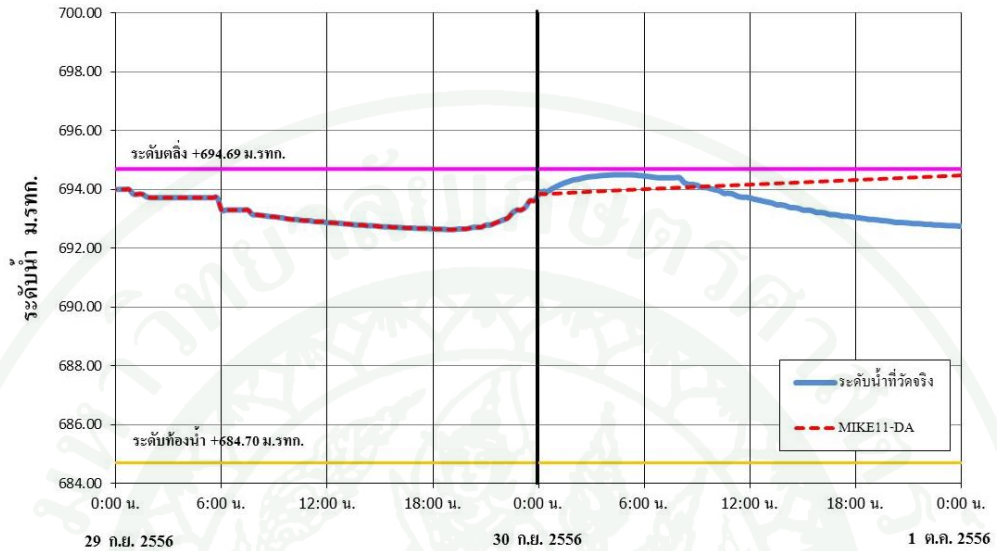
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.22 วันที่ 29 ก.ย. 2556



ภาพที่ 46 (ต่อ)

1) สถานี TNwt.21

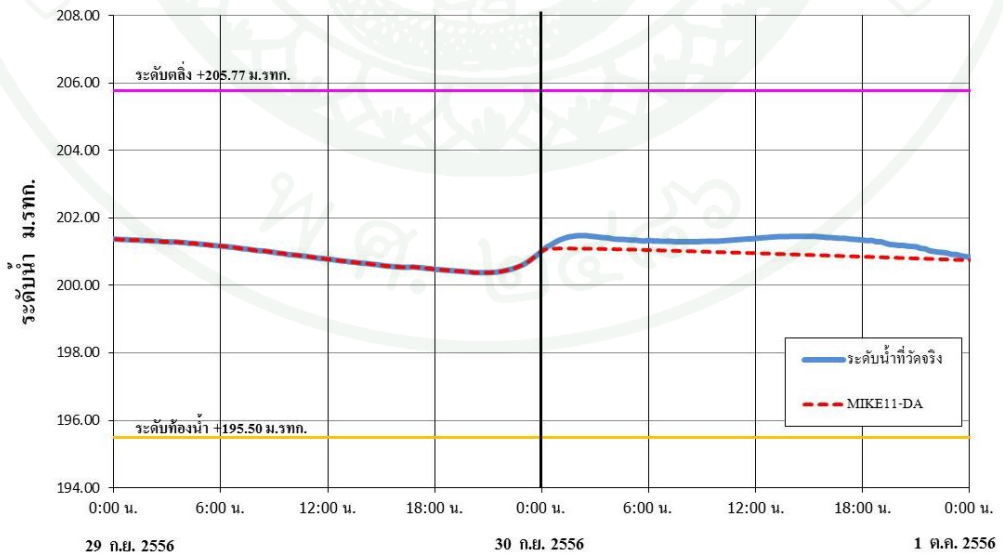
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.21 วันที่ 30 ก.ย. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

2) สถานี TNwt.6

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.6 วันที่ 30 ก.ย. 2556

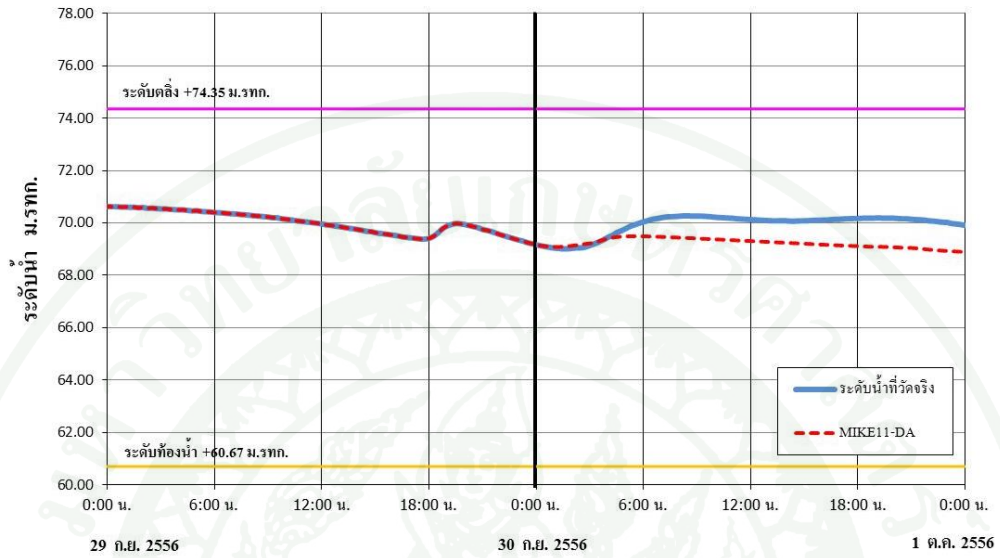


วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 47 การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 30 ก.ย. 2556

3) สถานี TNwt.15

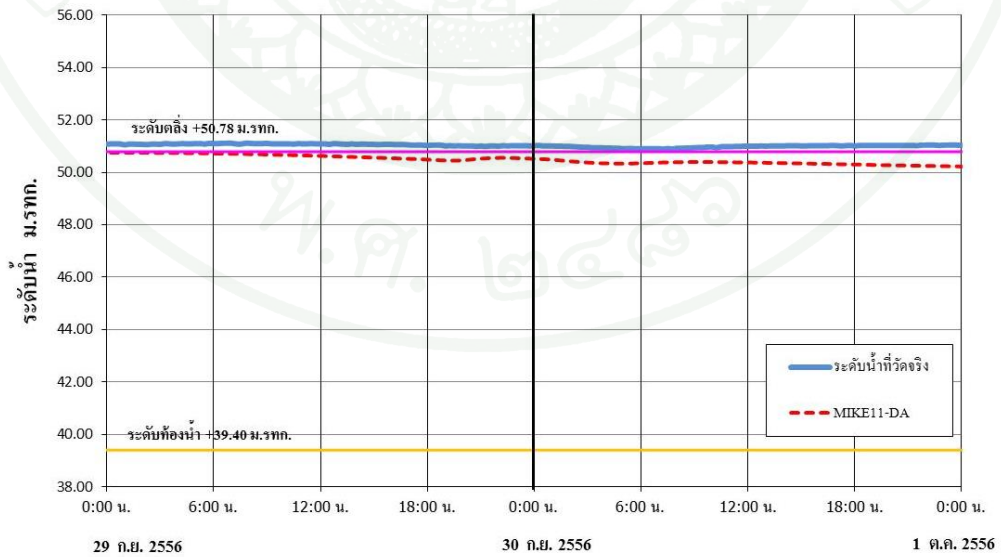
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.15 วันที่ 30 ก.ย. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

4) สถานี TNwt.22

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.22 วันที่ 30 ก.ย. 2556

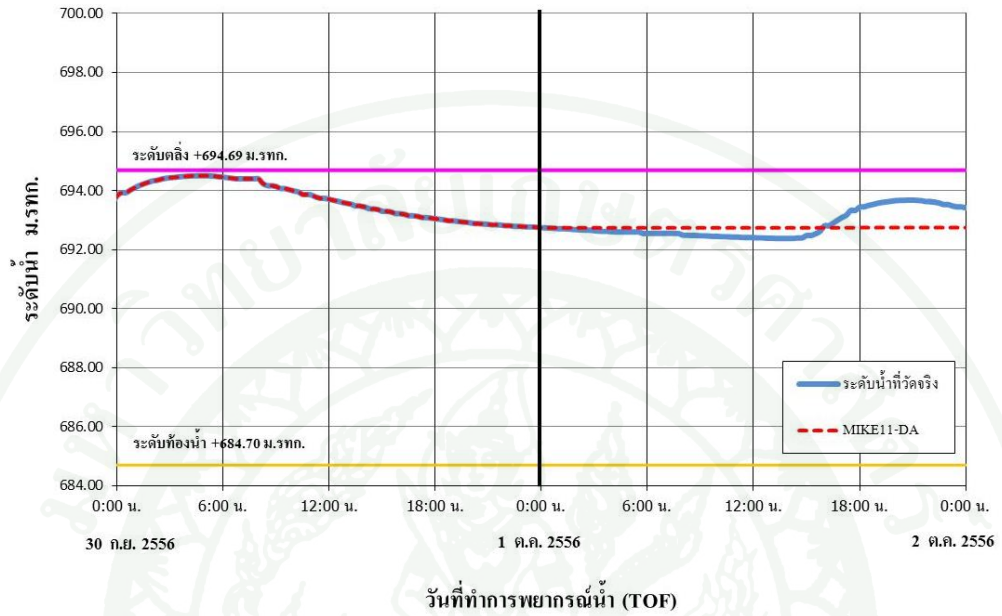


วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 47 (ต่อ)

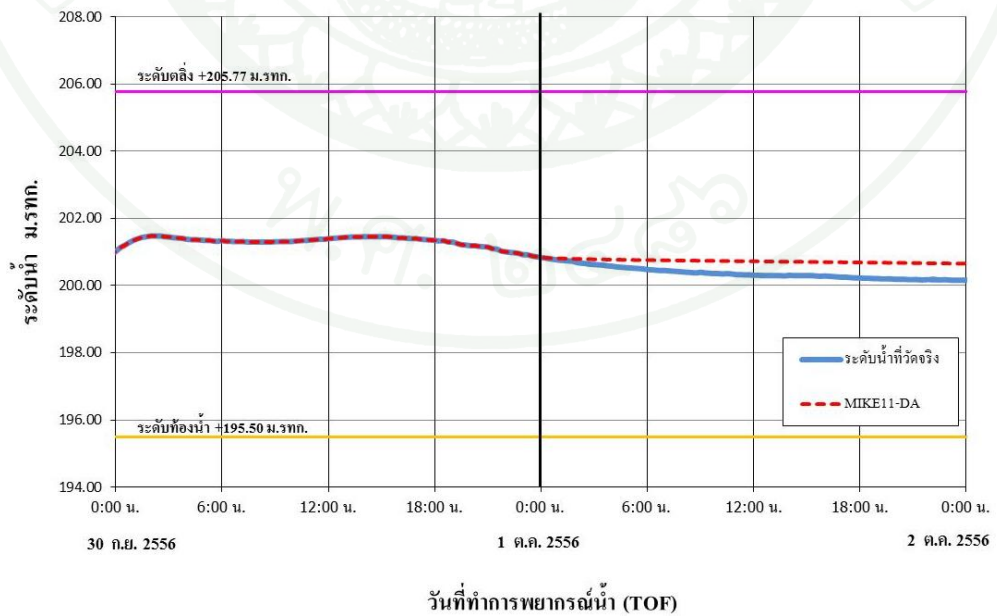
1) สถานี TNwt.21

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.21 วันที่ 1 ต.ค. 2556



2) สถานี TNwt.6

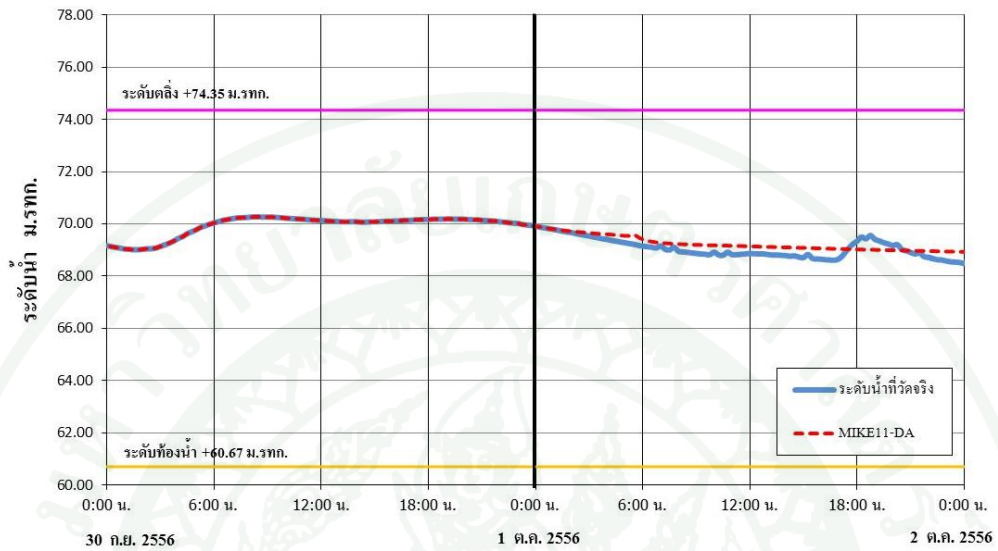
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.6 วันที่ 1 ต.ค. 2556



ภาพที่ 48 การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 1 ต.ค. 2556

3) สถานี TNwt.15

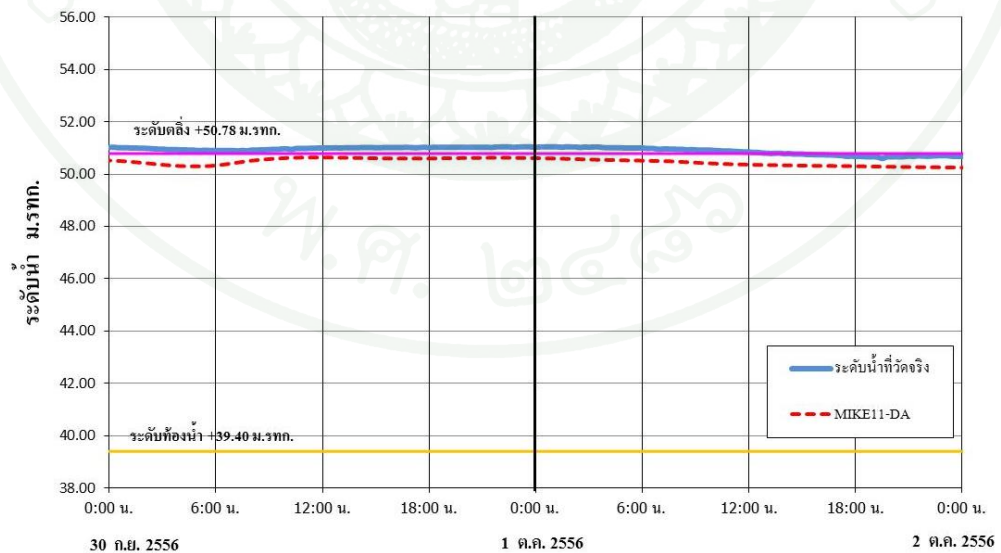
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.15 วันที่ 1 ต.ค. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

4) สถานี TNwt.22

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.22 วันที่ 1 ต.ค. 2556

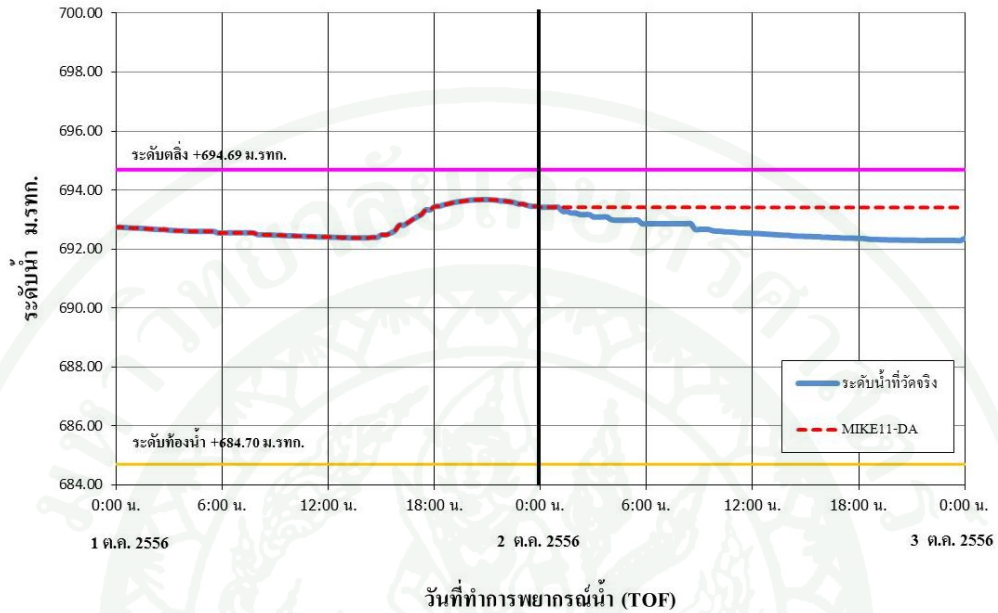


วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 48 (ต่อ)

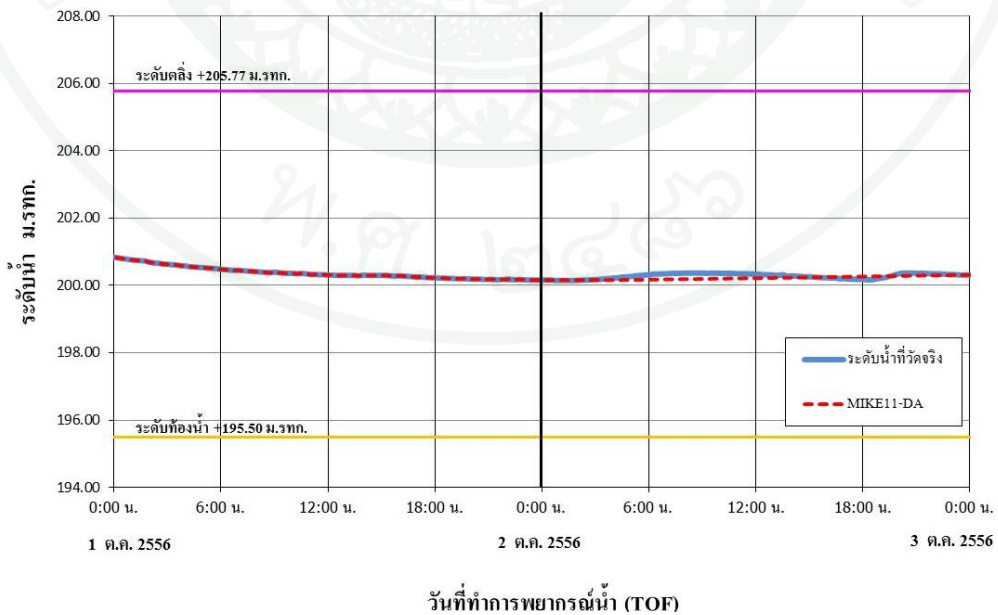
1) สถานี TNwt.21

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.21 วันที่ 2 ต.ค. 2556



2) สถานี TNwt.6

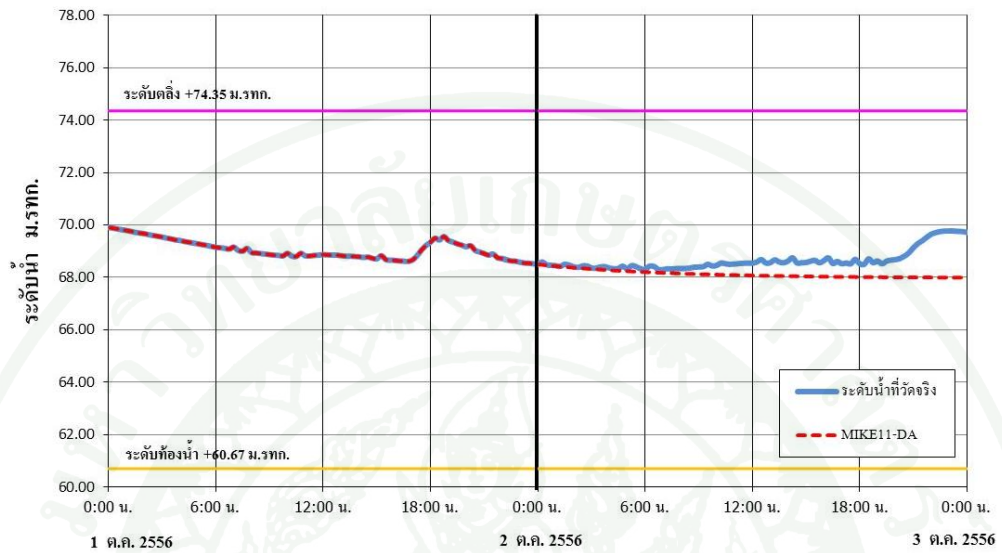
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.6 วันที่ 2 ต.ค. 2556



ภาพที่ 49 การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 2 ต.ค. 2556

3) สถานี TNwt.15

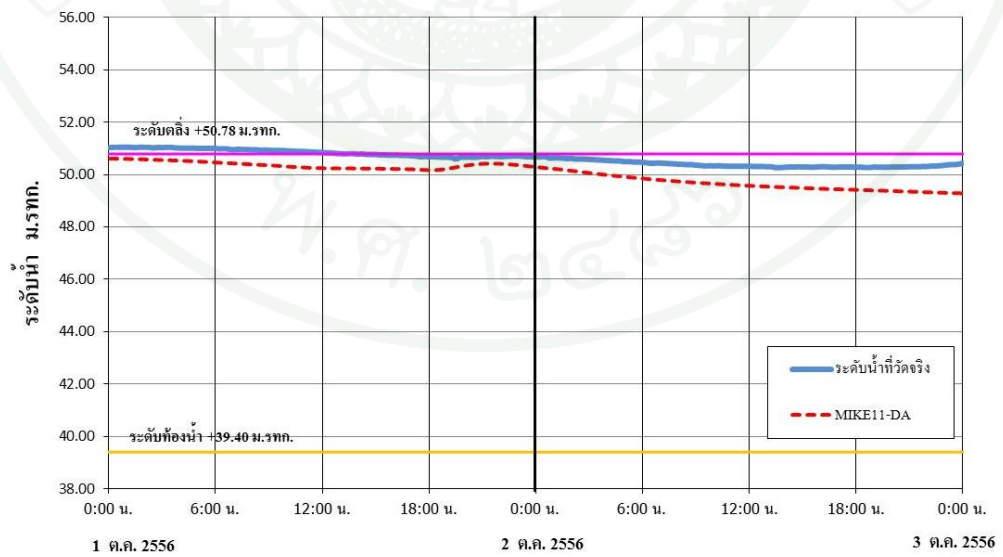
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.15 วันที่ 2 ต.ค. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

4) สถานี TNwt.22

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.22 วันที่ 2 ต.ค. 2556

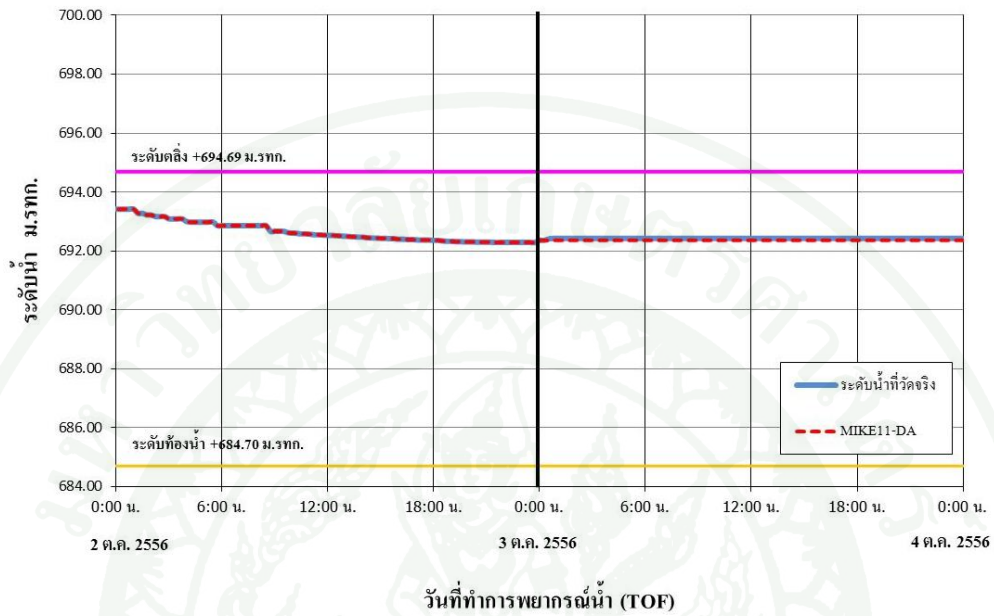


วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 49 (ต่อ)

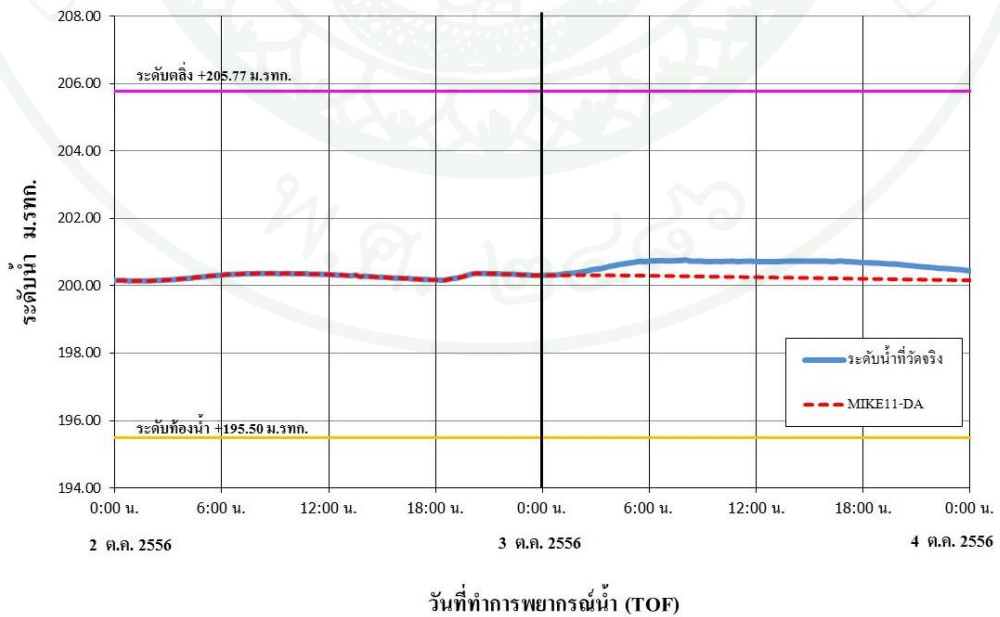
1) สถานี TNwt.21

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.21 วันที่ 3 ต.ค. 2556



2) สถานี TNwt.6

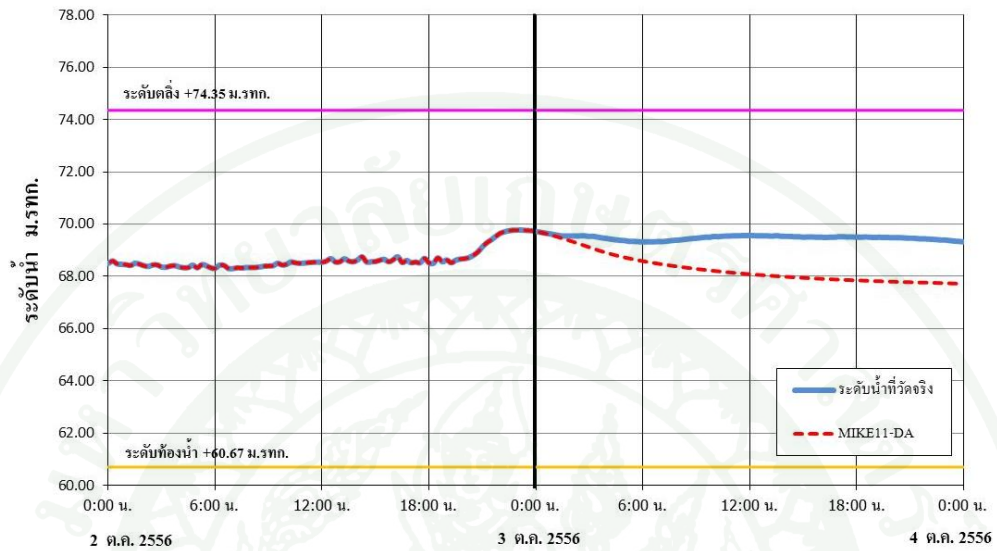
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.6 วันที่ 3 ต.ค. 2556



ภาพที่ 50 การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 3 ต.ค. 2556

3) สถานี TNwt.15

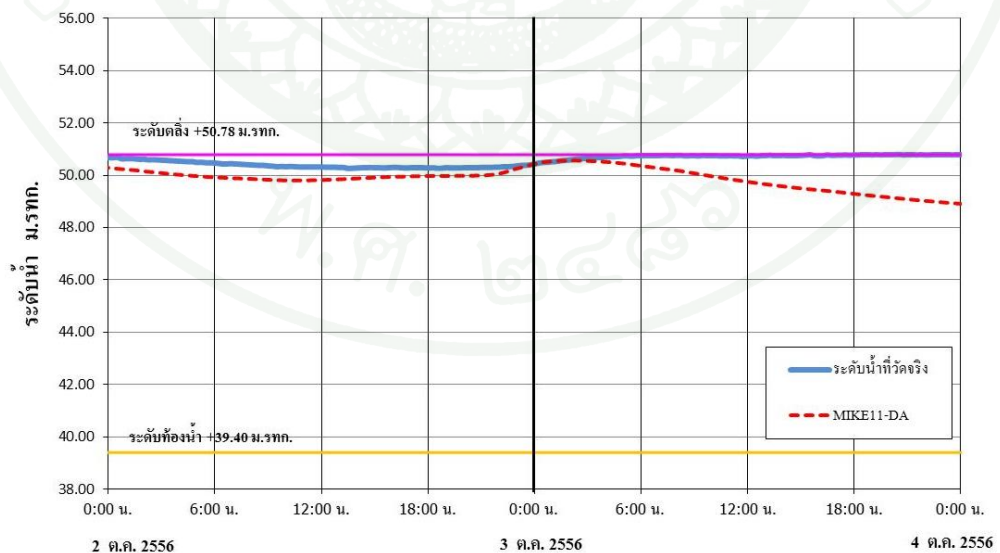
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.15 วันที่ 3 ต.ค. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

4) สถานี TNwt.22

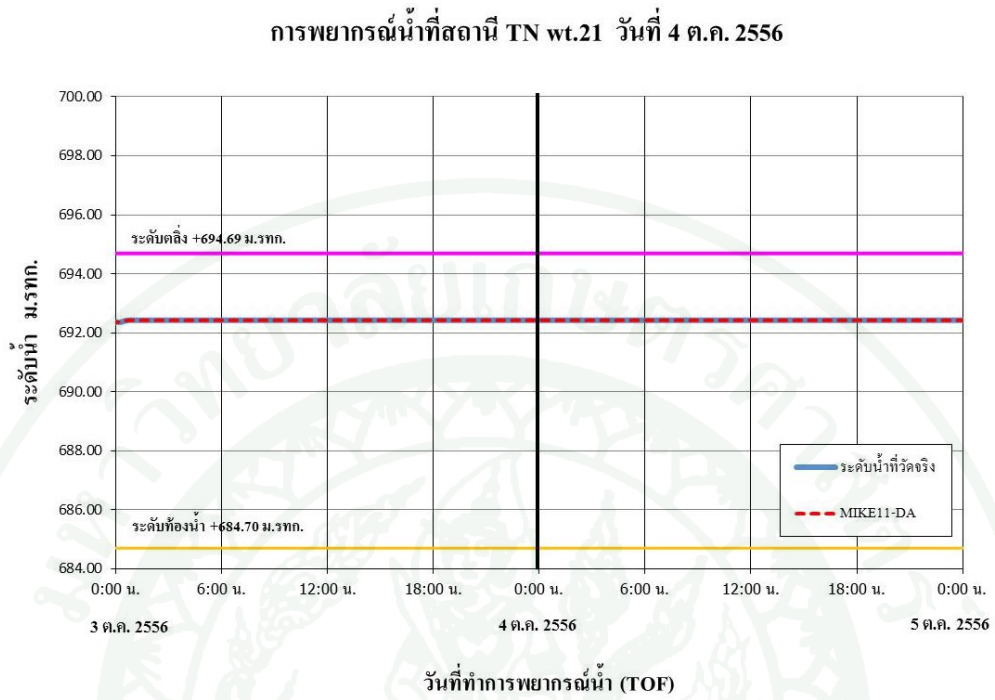
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.22 วันที่ 3 ต.ค. 2556



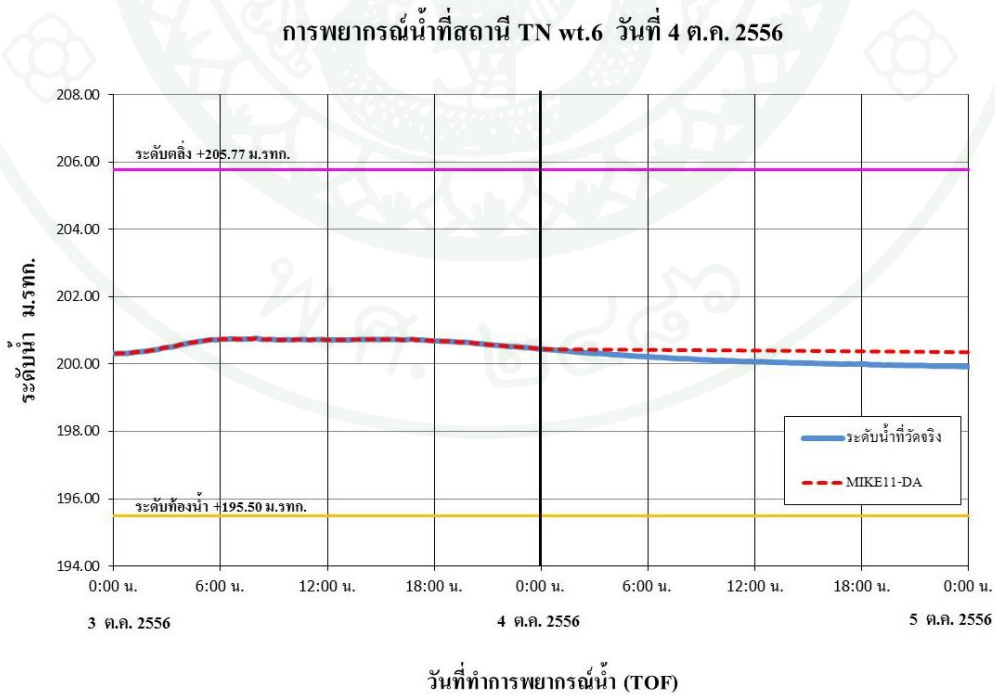
วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 50 (ต่อ)

1) สถานี TNwt.21



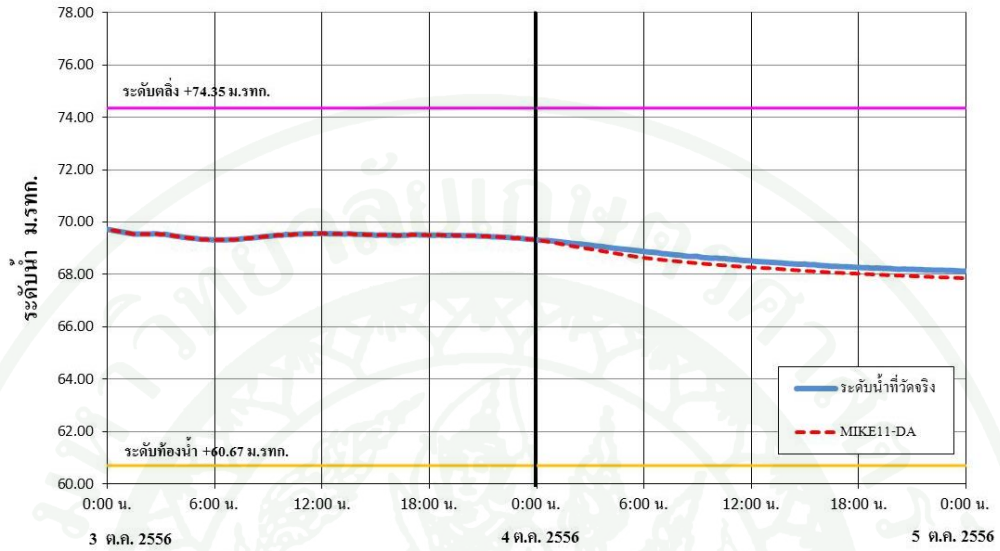
2) สถานี TNwt.6



ภาพที่ 51 การพยากรณ์น้ำ TOF วันที่ 4 ต.ค. 2556

3) สถานี TNwt.15

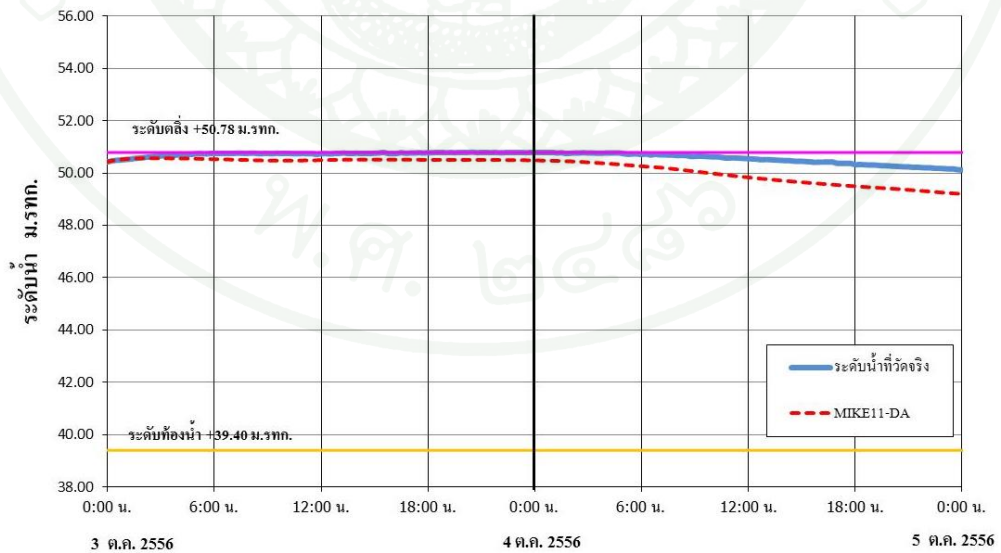
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.15 วันที่ 4 ต.ค. 2556



วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

4) สถานี TNwt.22

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.22 วันที่ 4 ต.ค. 2556



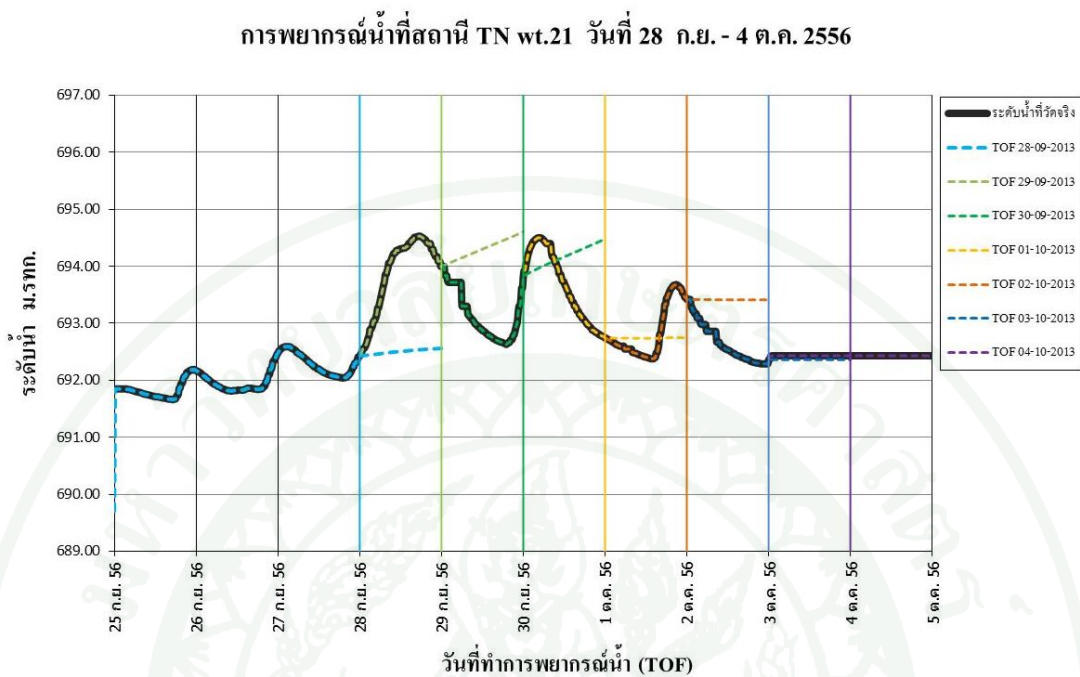
วันที่ทำการพยากรณ์น้ำ (TOF)

ภาพที่ 51 (ต่อ)

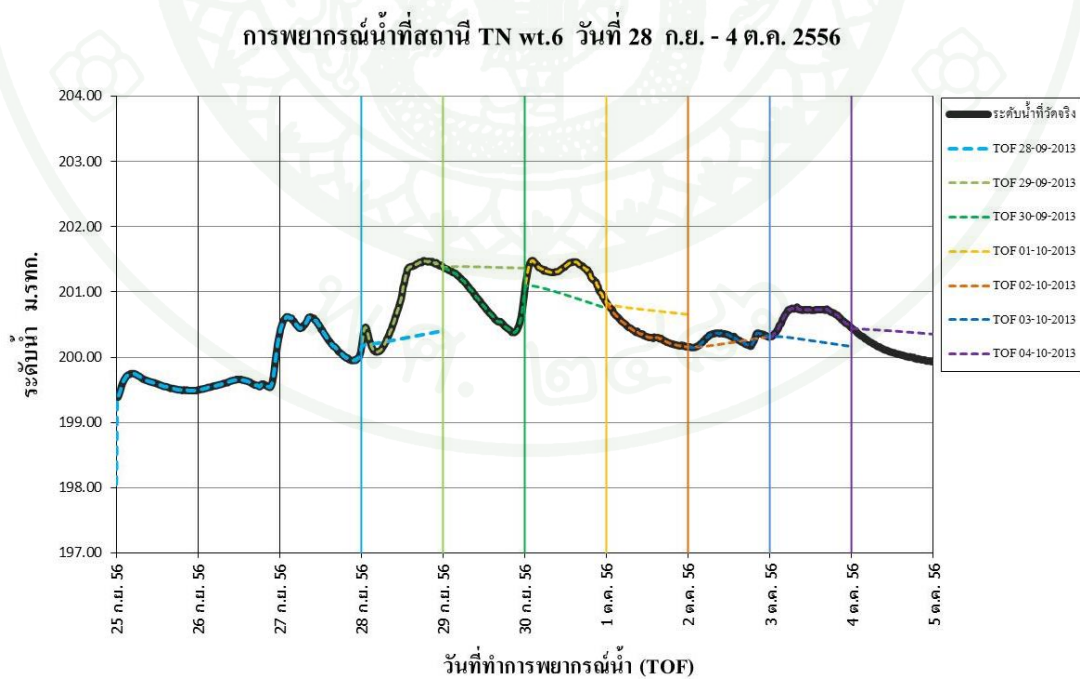
จากภาพที่ 52 แสดงกราฟรวมการพยากรณ์น้ำทุกวันของแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11- DA โดยทำการพยากรณ์เหตุการณ์อุทกภัย (TOF) ตั้งแต่วันที่ 28 กันยายน – 4 ตุลาคม 2556 โดยเริ่มตั้งแต่วันที่แรกจนถึงวันสุดท้ายไปเรื่อยๆ ทุกวัน ราย 15 นาที และได้ผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้าโดยให้กราฟเส้นที่บสีดำคือระดับน้ำที่วัดได้จริงและ เส้นปะสีต่างๆแต่ละเส้นจะเป็นวันที่ทำการพยากรณ์น้ำ ส่วนเส้นกราฟด้านซ้ายของเส้นสีแนวตั้งนั้นจะแสดงถึง ช่วงเวลาย้อนหลัง 3 วัน หรือ Hindcast Period ส่วนเส้นกราฟด้านขวาของเส้นสีแนวตั้งนั้นก็คือ ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำล่องหน้า 1 วัน หรือ Forecast Period จะเห็นได้ว่าในช่วงของการพยากรณ์ในแต่ละช่วง การพยากรณ์น้ำล่องหน้า จะมีค่าความแม่นยำมากและแสดงผลการพยากรณ์ล่องหน้า 1-3 วัน ใน ตารางผนวก ข

จากภาพที่ 53 แสดงกราฟผลการพยากรณ์น้ำล่องหน้า 1 วัน จะนำผลในช่วงของการพยากรณ์ในแต่ละช่วงการพยากรณ์น้ำล่องหน้า (TOF) โดยเริ่มตั้งแต่วันที่แรกจนถึงวันสุดท้ายไปเรื่อยๆ ทุกวัน ตั้งแต่วันที่ 28 กันยายน – 4 ตุลาคม 2556 โดยให้กราฟเส้นที่บสีดำคือระดับน้ำที่วัดได้จริงและ เส้นปะสีแดงเป็นผลการพยากรณ์น้ำล่องหน้า 1 และผลการพยากรณ์ระดับน้ำของสถานี ไทรมมาตร ได้แก่ สถานี TN wt.21 TN wt.6 TN wt.15 และ TN wt.22 ทั้งสี่แห่งของแบบจำลอง MIKE11-DA จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 18.15 13.78 14.09 และ 9.83 ให้ผลการพยากรณ์น้ำในระดับดีมาก

1) สถานี TNwt.21



2) สถานี TNwt.6

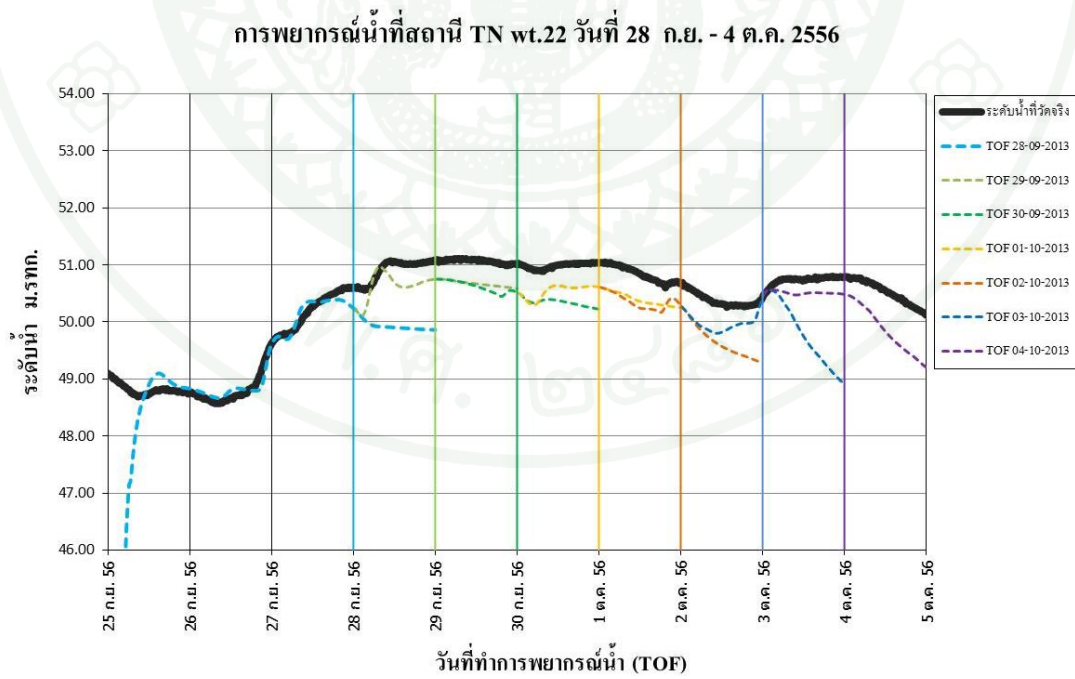


ภาพที่ 52 การพยากรณ์น้ำ TOF ระหว่างวันที่ 28 ก.ย. ถึง 4 ต.ค. 2556 แบบจำลอง MIKE11-DA

3) สถานี TNwt.15



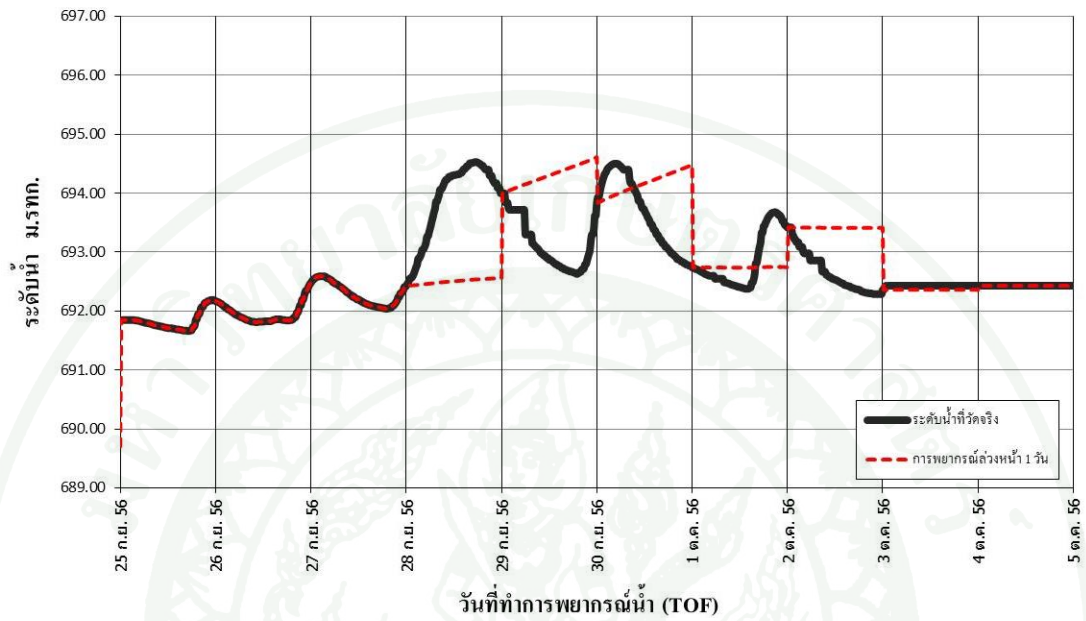
4) สถานี TNwt.22



ภาพที่ 52 (ต่อ)

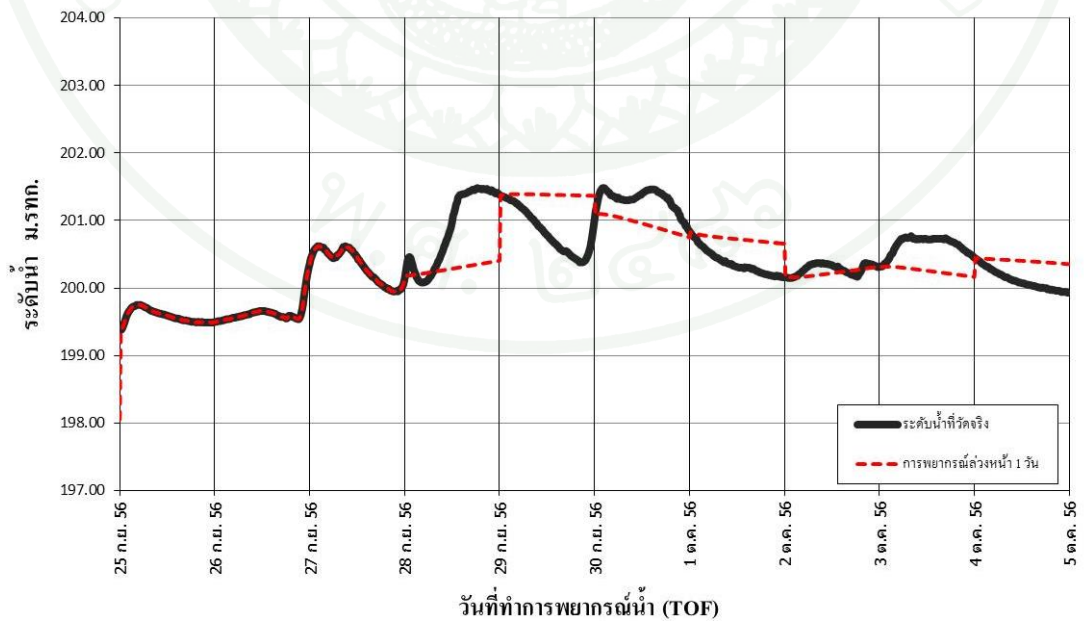
1) สถานี TNwt.21

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.21 วันที่ 28 ก.ย. - 4 ต.ค. 2556



2) สถานี TNwt.6

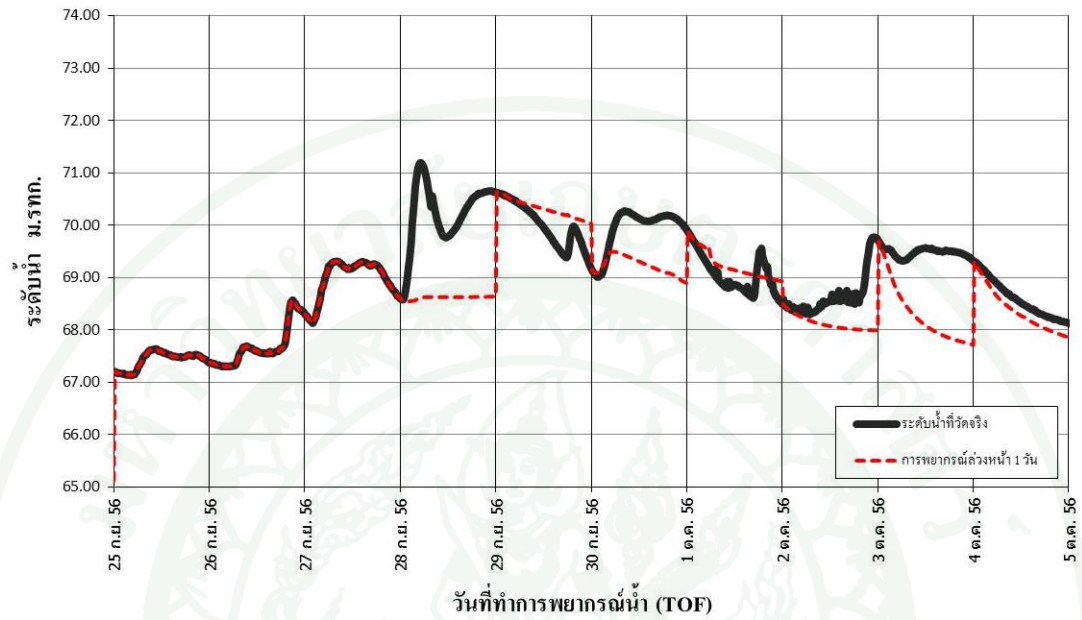
การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.6 วันที่ 28 ก.ย. - 4 ต.ค. 2556



ภาพที่ 53 ผลการพยากรณ์น้ำล่วงหน้า 1 วัน แบบจำลอง MIKE11-DA

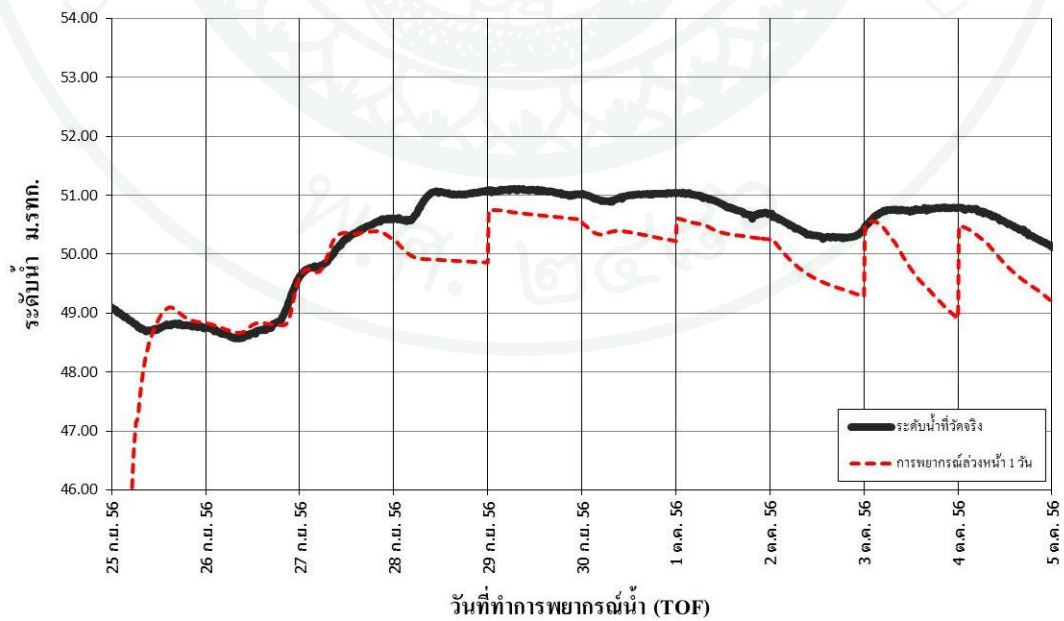
3) สถานี TNwt.15

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.15 วันที่ 28 ก.ย. - 4 ต.ค. 2556



4) สถานี TNwt.22

การพยากรณ์น้ำที่สถานี TN wt.22 วันที่ 28 ก.ย. - 4 ต.ค. 2556



ภาพที่ 53 (ต่อ)

ตารางที่ 22 สรุปผลการพยากรณ์น้ำด้วยแบบจำลองการพยากรณ์น้ำช่วงระหว่างวันที่ 28 กันยายน ถึง 4 ตุลาคม 2556

ช่วงเวลาการ พยากรณ์น้ำ (Time of Forecast)	ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าตรวจวัดได้จริงกับค่าที่พยากรณ์น้ำ															
	สถานี TN wt.21				สถานี TN wt.6				สถานี TN wt.15				สถานี TN wt.22			
	6.00	12.00	18.00	24.00	6.00	12.00	18.00	24.00	6.00	12.00	18.00	24.00	6.00	12.00	18.00	24.00
	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.
28 ก.ย. 2556	12.40	35.07	40.21	38.23	0.54	8.81	31.16	31.55	26.08	30.20	27.91	34.21	7.90	14.49	15.62	16.12
29 ก.ย. 2556	7.28	33.35	53.15	50.70	2.83	13.62	29.43	36.09	0.06	2.92	12.24	9.60	4.69	5.52	5.75	5.60
30 ก.ย. 2556	8.59	1.12	24.51	48.07	8.55	9.83	15.52	10.46	0.80	14.92	17.13	20.82	7.85	7.71	9.31	10.63
1 ต.ค. 2556	2.92	9.14	3.56	21.47	5.26	14.95	18.88	22.71	2.35	6.58	7.41	0.33	6.40	6.84	6.24	5.83
2 ต.ค. 2556	7.62	22.90	35.44	42.35	1.69	6.92	0.71	0.42	2.64	8.18	14.97	26.34	7.66	10.32	12.34	14.69
3 ต.ค. 2556	2.33	2.57	2.57	2.57	7.67	17.07	18.42	15.83	8.59	25.00	33.63	36.27	1.78	9.93	17.97	24.25
4 ต.ค. 2556	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40	13.05	18.17	21.31	3.81	6.77	7.04	7.84	5.32	8.67	12.06	13.77

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ช่วงเวลาการพยากรณ์น้ำ (Time of Forecast)	ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าตรวจวัดได้จริงกับค่าที่พยากรณ์น้ำ															
	สถานี TN wt.21				สถานี TN wt.6				สถานี TN wt.15				สถานี TN wt.22			
	6.00	12.00	18.00	24.00	6.00	12.00	18.00	24.00	6.00	12.00	18.00	24.00	6.00	12.00	18.00	24.00
	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.	น.
ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด	12.40	35.07	53.15	50.70	8.55	17.07	31.16	36.09	26.08	30.20	33.63	36.27	7.90	14.49	17.97	24.25
ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	6.92	0.71	0.42	0.06	2.92	7.04	0.33	1.78	5.52	5.75	5.60
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	5.88	14.88	22.78	29.06	4.42	12.04	18.90	19.77	6.33	13.51	17.19	19.34	5.94	9.07	11.33	12.98

วิจารณ์ผล

1. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า MIKE11 – NAM และ InfoWorks PDM การนำเข้าของข้อมูลปริมาณน้ำฝนในกลุ่มน้ำแม่วังทองที่นำมาใช้นั้นเป็นข้อมูลวัดน้ำฝนจากระบบโทรมาตรราย 15 นาที บางช่วงของข้อมูลที่บันทึกยังขาดหายไปและยังไม่มีข้อมูลที่ต่อเนื่องยาวนานพอสมควร ครอบคลุมปีที่มีน้ำมาก น้ำปานกลาง และน้ำน้อยทำให้มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างแต่ก็นับว่าอยู่ในเกณฑ์ทางสถิติที่ยอมรับได้

2. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11- HD และ InfoWorks RS โดยรูปตัดที่ใช้ในการศึกษาเป็นรูปตัดที่ได้สำรวจไว้เดิมอาจจะมีตำแหน่งไม่ตรงกับสถานีวัดน้ำท่าที่เลือกใช้ จึงต้องปรับค่าระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำท่าให้สอดคล้องกับรูปตัดก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบและพบว่าโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับระดับน้ำ (Rating Curves) ของสถานีวัดน้ำท่า จากการสำรวจที่นำมาใช้นั้น ช่วงของข้อมูลของปียังไม่ครอบคลุมถึงช่วงที่มีอัตราการไหลสูงๆ ในบางสถานีก็มีข้อมูลที่น้อยเกินไป อาจทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปเมื่อตรวจสอบค่าทางสถิติอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

3. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ MIKE11 -NAM ร่วมกับ HD และ InfoWorks PDM ร่วมกับ RS ผลที่ได้การคำนวณปริมาณการไหลจากแบบจำลองเพื่อให้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริงโดยเฉพาะในช่วงที่มีปริมาณการไหลสูงๆ ส่วนช่วงที่มีปริมาณน้ำน้อยนั้น ค่าปริมาณการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้อาจจะเกิดจากแบบจำลองเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่าไม่สามารถจำลองการสูญเสียของปริมาณฝนได้ถูกต้องใกล้เคียงกับเหตุการณ์จริงในธรรมชาติทุกกลุ่มน้ำย่อยและจากการจำลองระบบลุ่มน้ำของแม่วังทองโดยช่วงต้นน้ำกับสภาพลำน้ำกลางน้ำและปลายน้ำมีความกว้างและลาดชันแตกต่างกันค่อนข้างมากทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองได้

4. ผลของการพยากรณ์ระดับน้ำจากแบบจำลอง MIKE11- DA ในช่วงขาลงของกราฟนั้น จะมีความแม่นยำมากกว่าผลของการพยากรณ์ในช่วงขาขึ้นของกราฟเนื่องจากในช่วงขาลงนั้นค่าระดับน้ำในแม่น้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่ต้นน้ำเพียงอย่างเดียว ไม่ขึ้นกับปริมาณฝนที่ตกในช่วงการพยากรณ์น้ำและความคลาดเคลื่อนจะมากขึ้นเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้าหลายวัน

5. ผลการพยากรณ์น้ำจากแบบจำลอง MIKE11- DA จะมีความแม่นยำของการพยากรณ์หรือไม่นั้น โดยความคลาดเคลื่อนที่มีผลเกิดจากการคาดการณ์เงื่อนไขขอบเขต ความผิดพลาดของข้อมูลระบบโทรมาตรที่เข้าสู่ระบบและการคำนวณของแบบจำลอง MIKE11- NAM/HD ถ้าปรับแก้ค่าของแบบจำลองใกล้เคียงเหมาะสมกับค่าตรวจวัดจริงจะทำให้ผลพยากรณ์แม่นยำมากขึ้นตาม



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ลุ่มน้ำแม่วังทองเป็นลุ่มน้ำสาขาในลุ่มน้ำน่าน โดยพื้นที่ต้นน้ำอยู่บนเทือกเขาสูงบริเวณขอบเขตของจังหวัดพิษณุโลกและจังหวัดเพชรบูรณ์โดยสภาพลุ่มน้ำมีความลาดชันสูงและไม่มีแหล่งเก็บกักน้ำชะลอการไหลของน้ำในช่วงฤดูฝนจะเกิดน้ำป่าไหลหลากจากบนเขาลงมาทำให้ลำน้ำวังทองเอ่อล้นตลิ่งจนเกิดน้ำท่วมฉับพลันบนพื้นที่การเกษตรและบ้านเรือนซึ่งทำให้เสียหายทุกปี ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเหตุการณ์อุทกภัยในปี พ.ศ. 2556 มาใช้ในการทดลองกับแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ คือแบบจำลอง MIKE11-DA โดยที่ผลของการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองการพยากรณ์น้ำนั้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

แบบจำลอง MIKE11-DA ให้ผลการพยากรณ์เป็นกราฟของระดับน้ำที่ใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำท่าทั้งสี่แห่งในลุ่มน้ำแม่วังทองซึ่งได้แก่ สถานี สถานี TN wt.21 TN wt.6 TN wt.15 และ TN wt.22 ได้อย่างแม่นยำ โดยจะสามารถสรุปผลการพยากรณ์ระดับน้ำต่อเนื่องทุกวัน ราย 15 นาที ในช่วงหนึ่งวันล่วงหน้า ณ เวลา 6.00 น. 12.00 น. 18.00 น. 24.00 น. ได้ว่ามีค่าความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 94.36, 87.63, 82.45 และ 79.71 ตามลำดับ

ดังนั้นแบบจำลอง MIKE11-DA สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบโทรมาตรที่ดำเนินการติดตั้งไว้แล้วในลุ่มน้ำแม่วังทองเพื่อช่วยแจ้งเตือนภัยและเฝ้าติดตามระวางสถานการณ์น้ำตามเวลาจริงให้กับประชาชนและหน่วยงานในพื้นที่ได้ทราบถึงแนวโน้มและสามารถคาดการณ์ระดับน้ำในลุ่มน้ำแม่วังทองล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องอย่างรวดเร็วทันต่อเหตุการณ์

ข้อเสนอแนะ

แบบจำลอง MIKE11- DA ทำหน้าที่คำนวณค่าที่แตกต่างจากการพยากรณ์น้ำที่ผ่านมา และค่าจริงจากการตรวจวัดที่เป็นข้อมูลปัจจุบัน (Update Process) แล้วนำไปปรับแก้การพยากรณ์น้ำในเวลาข้างหน้าต่อไป ทำให้สามารถพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ใกล้เคียงมากที่สุด ข้อสังเกตการเลือกใช้ข้อมูลการตรวจวัดที่จะนำมาใช้ update นั้น หากเลือกใช้ข้อมูลปริมาณการไหลแบบจำลองดังกล่าวมักจะไม่สามารถคำนวณค่าปริมาณการไหลได้แม่นยำเมื่อเทียบกับผลการพยากรณ์อื่นที่นำค่าระดับน้ำมาใช้ update แต่ถ้าต้องการให้ปริมาณการไหลมีความแม่นยำจะต้องสำรวจ Rating Curves ของที่ตั้งสถานีวัดน้ำทำให้ครอบคลุมทุกช่วงการไหลตั้งแต่ค่าน้อยไปจนถึงค่ามากเพื่อให้ทราบปริมาณการไหลที่ถูกต้องในทุกช่วงการไหล

แบบจำลอง MIKE11- NAM/HD/DA มีความสะดวกในการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าเรียกใช้ข้อมูลของแบบจำลองได้รวดเร็วจากการสำรวจและใช้งานง่ายแต่จากการศึกษาครั้งนี้ของแบบจำลอง MIKE11-DA จะเป็นการเรียกใช้งานโดยตรงยังขาดส่วนศูนย์กลางจัดการและตัดสินใจของแบบจำลอง และแบบจำลอง InfoWorks PDM/RS/FloodWorks จะมีเอกลักษณ์ของการรวมปฏิบัติการจำลองการไหลจากโปรแกรม ISIS, การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และระบบของฐานข้อมูลสามารถแสดงพื้นที่น้ำท่วม (Flood Map) ที่เกิดขึ้นตามเวลาต่าง ๆ ได้พร้อมทั้งจัดทำรายงานสรุปเหตุการณ์น้ำท่วม และสามารถรองรับข้อมูลนำเข้าจากโปรแกรมภายนอกโดยมี FloodWorks เป็นศูนย์กลางในการจัดการการเชื่อมโยงข้อมูลกับแบบจำลองการพยากรณ์น้ำซึ่งในการตัดสินใจคัดเลือกใช้แบบจำลองการพยากรณ์น้ำขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและความชำนาญของผู้ใช้เป็นสิ่งสำคัญเพื่อความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์มากยิ่งขึ้น

โดยแบบจำลอง MIKE11- NAM/HD/DA เป็นแบบจำลองระบบลุ่มน้ำ (River Basin Modelling) และการพยากรณ์น้ำ (Flood Forecasting) ที่นิยมใช้แพร่หลาย โดยรูปแบบแสดงผลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและสามารถแสดงผลทั้งในกราฟระดับน้ำ ปริมาณการไหล ตาราง อีกทั้งมีความเหมาะสมที่จะนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบโทรมาตรที่ติดตั้งซึ่งมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบตามเวลาจริง (Real-time) ได้ทุกๆ 15 นาที จึงสามารถทำการพยากรณ์น้ำตามความถี่ที่ส่งมายังแบบจำลองพยากรณ์น้ำ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. โครงการติดตั้งระบบโทรมาตรเพื่อพยากรณ์
เดือนภัยในลุ่มน้ำวังทอง, กรุงเทพฯ

กิติเวช ชันติวิชชัย. 2547. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง Inforwork RS สำหรับการคำนวณน้ำหลากในลำ
น้ำของลุ่มน้ำชี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กานต์ โพธิ์ดอกไม้. 2550. การศึกษาแนวทางบรรเทาอุทกภัยเมืองเพชรบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญา
โท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปิยะพงษ์ รอดรัตน์. 2551. การศึกษาแนวทางบรรเทาอุทกภัยพื้นที่ชุมชนเมืองเชียงใหม่.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประเสริฐ ลำภากร. 2553. การจำลองการบริหารจัดการอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำวังด้วย
แบบจำลองอินโฟเวิร์คอาร์เอส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทรงศักดิ์ ภัทรารุณชัย. 2546. การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำลำภาชีโดยแบบจำลอง MIKE 11
และโครงข่ายประสาทประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พงษ์รัตน์ อ่อนละมุน. 2556. การศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำสงครามโดยการประยุกต์
ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิษุวัตต์ แต่สมบัติ. 2546. การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดของลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา
และลุ่มน้ำคลองหุมพธ โดยแบบจำลองทางอุทกวิทยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิษุวัตต์ แต่สมบัติ. 2553. เอกสารประกอบการฝึกอบรมแบบจำลองด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ.
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

วรารุช วุฒิวณิชช์. 2553. การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองโดยใช้ **Nash-Sutcliffe Efficiency และ R^2** . ชลกร “วันชูชาติ” ฉบับวันที่ 4 มกราคม 2553.

วิษุวัตม์ แต่สมบัติ และ กิติพงษ์ ทองเชื้อ. 2554. การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ **MIKE11-Data Assimilation** เพื่อการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำชีตอนบน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยมหิดล 18 - 20 พฤษภาคม 2554.

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

วีระพล แต่สมบัติ. 2533. **หลักอุทกวิทยา**. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

อรรถพล ชำนาญเวชกิจ. 2543. การศึกษาสภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ **ISIS**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

HR Wallingford and Sir William Halcrow & Partners Ltd. 2005. **InfoWorks-RS and FloodWorks ISIS Flow User Manual**, United Kingdom.

Philip, B. B., W.C. Huber and B.E. Vieux. 2008. **Hydrology and floodplain analysis**, United States of America.





ตารางผนวกที่ ก1 รายชื่อและที่ตั้งสถานีโทรมาตรที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พิกัด	
						UTM_X	UTM_Y
1	TN wt.22	อำเภอวังทอง	วังทอง	วังทอง	พิษณุโลก	652627	1860500
2	TN wt.15	วังนกแอ่น	วังนกแอ่น	วังทอง	พิษณุโลก	667995	1862725
3	TN wt.17	บ้านร่มเกล้า	เนินชมภู	เนินมะปรางค์	พิษณุโลก	678922	1854379
4	TN wt.6	บ้านโป่งปะ	แก่งโสภา	วังทอง	พิษณุโลก	688833	1865448
5	TN wt.5	บ้านเล่าลือเก่า	เจ๊กน้อย	เขาค้อ	เพชรบูรณ์	710825	1860404
6	TN wt.21	บ้านหนองแม่นา	หนองแม่นา	เขาค้อ	เพชรบูรณ์	701847	1832826

ตารางผนวกที่ ก2 รายละเอียดของสถานีโทรมาตรวัดน้ำฝน-น้ำท่าที่ใช้พิจารณา

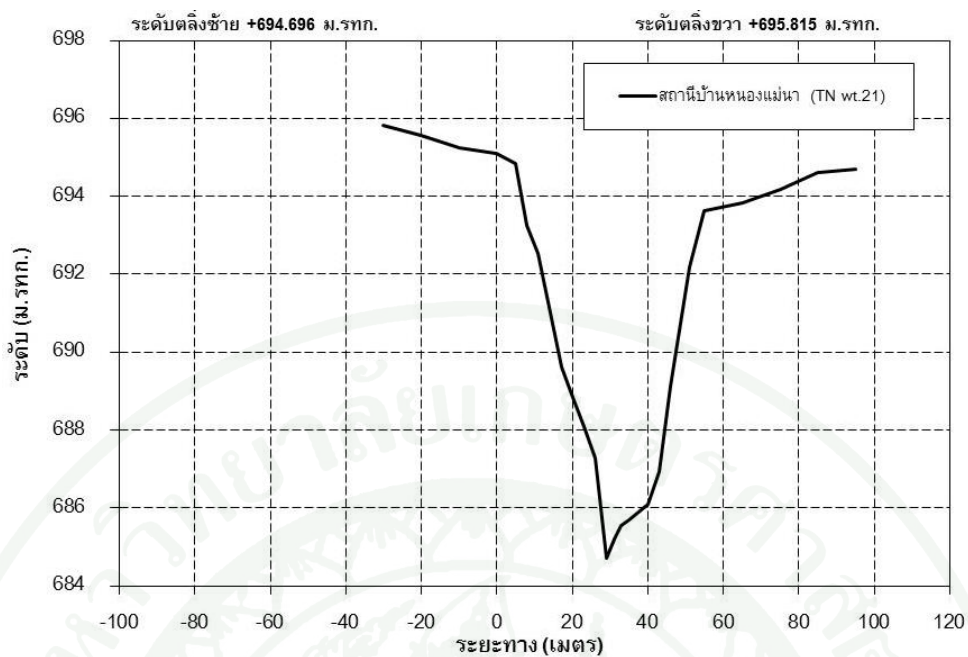
ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ลำน้ำ	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ตรวจวัด ข้อมูล
1	TN wt.21	บ้านหนองแม่นา	ลำน้ำเจ๊ก	225	น้ำฝน-ระดับน้ำ
2	TN wt.5	บ้านเล่าลือเก่า	-	-	น้ำฝน
3	TN wt.6	บ้านโป่งปะ	แม่น้ำวังทอง	1,090	น้ำฝน-ระดับน้ำ
4	TN wt.17	บ้านร่มเกล้า	-	-	น้ำฝน
5	TN wt.15	วังนกแอ่น	แม่น้ำวังทอง	1,695	น้ำฝน-ระดับน้ำ
6	TN wt.22	อำเภอวังทอง	แม่น้ำวังทอง	1,955	น้ำฝน-ระดับน้ำ

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves)
ปี 2553 ของสถานีโทรมาตร TNwt.21 และสถานี TNwt.6

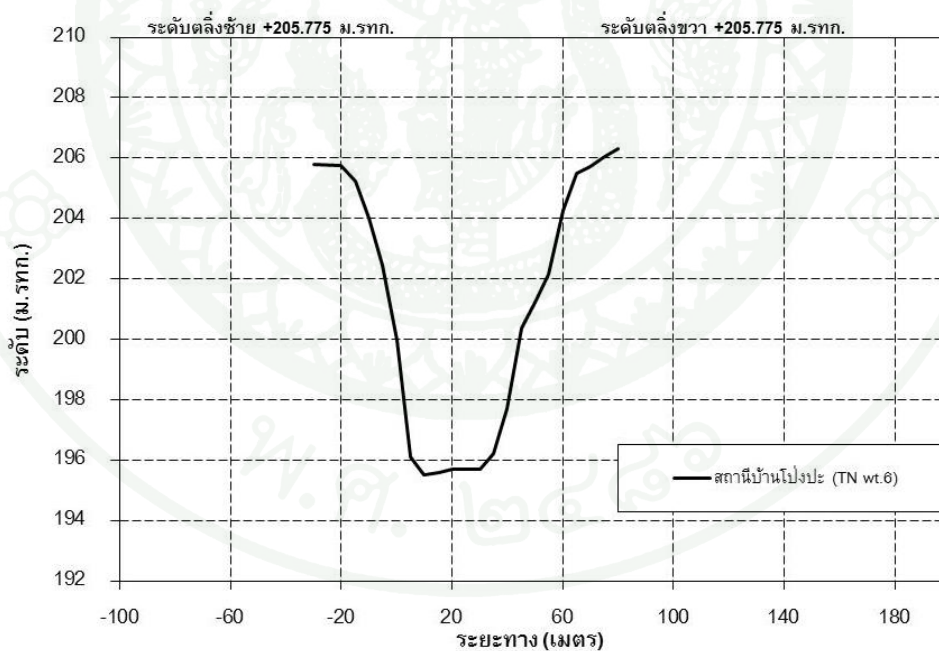
ลำดับที่	สถานี TNwt.21		สถานี TNwt.6	
	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)
1	689.49	2.24	198.26	24.09
2	689.50	2.32	198.40	31.29
3	689.98	7.39	198.58	35.37
4	690.19	8.92	198.70	38.10
5	690.37	9.59	198.64	38.18
6	690.31	10.82	198.74	45.58
7	690.28	11.41	198.85	60.01
8	690.39	11.63	199.00	71.33
9	690.80	13.29	199.12	77.13
10	690.88	17.71	199.31	94.98
11	691.09	21.04	199.40	108.83
12	691.10	21.48	199.53	119.92
13	691.15	22.17	199.70	144.30
14	691.28	23.72	200.02	160.00
15	691.37	29.08	200.13	172.02
16	691.45	31.30	200.21	174.92
17	691.88	38.28	200.29	181.94
18	692.03	42.85	200.38	190.04
19	692.09	45.20	200.52	208.89
20	693.14	69.25	200.62	225.00
21	694.52	105.00	200.70	230.78
22	695.44	138.15	-	-
23	696.21	169.00	-	-

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curves)
ปี 2553 ของสถานีโทรมาตร TNwt.15 และสถานี TNwt.22

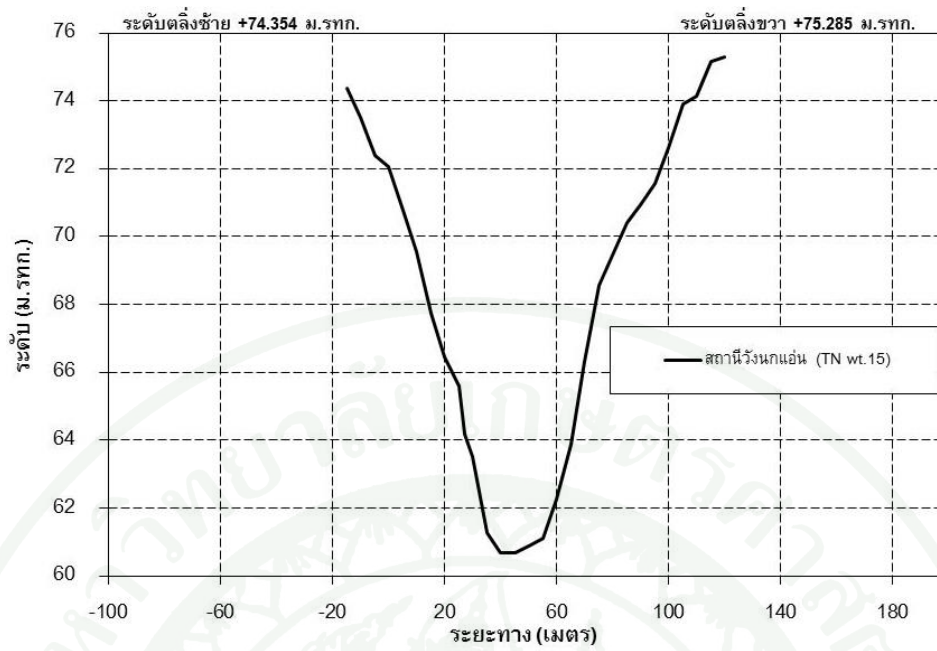
ลำดับที่	สถานี TNwt.15		สถานี TNwt.22	
	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	ปริมาณการไหล (ลบ.ม./วินาที)
1	65.90	57.05	43.87	47.36
2	66.00	58.50	44.31	49.98
3	66.21	66.26	44.57	55.03
4	65.80	69.96	44.92	59.03
5	66.35	79.95	45.60	75.07
6	66.00	81.29	45.26	80.94
7	66.60	100.90	45.92	83.18
8	66.20	103.19	46.48	106.11
9	66.73	112.97	45.99	109.35
10	66.89	135.98	46.67	111.86
11	67.00	151.78	46.92	125.04
12	67.30	175.11	47.07	139.92
13	67.21	177.97	47.51	162.99
14	67.61	192.08	47.70	168.05
15	67.64	208.88	48.05	174.48
16	67.70	226.99	47.91	181.75
17	67.92	248.04	48.09	201.99
18	68.00	251.63	48.33	211.04
19	68.19	299.82	48.43	231.85
20	68.42	327.04	48.56	251.19
21	68.82	344.84	48.96	282.07
22	68.53	350.14	-	-
23	68.61	424.92	-	-
24	68.98	451.80	-	-



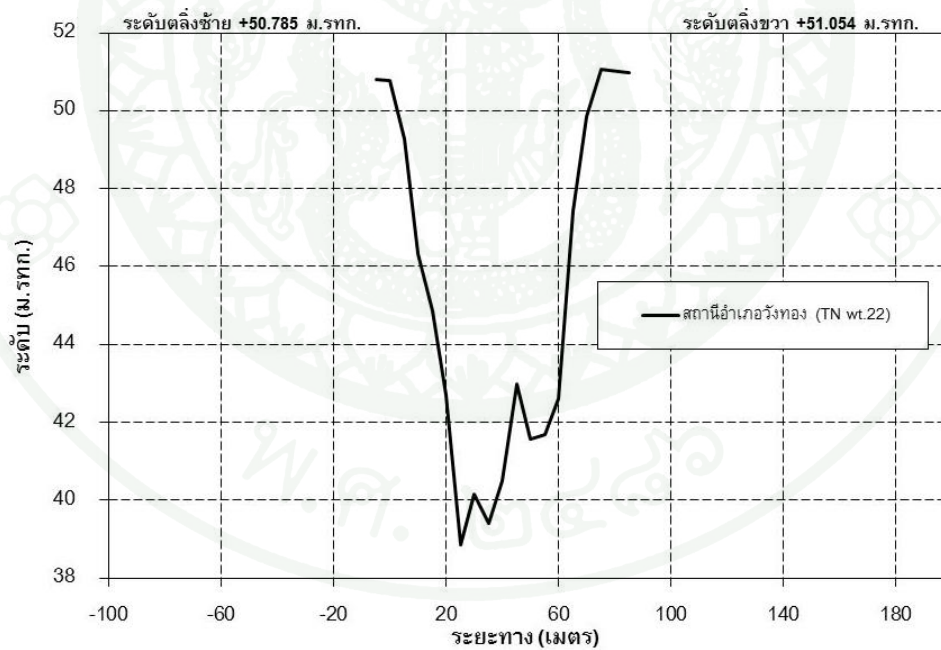
ภาพผนวกที่ ก1 รูปตัดขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งโทรมาตรสถานี TN wt.21



ภาพผนวกที่ ก2 รูปตัดขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งโทรมาตรสถานี TN wt.6

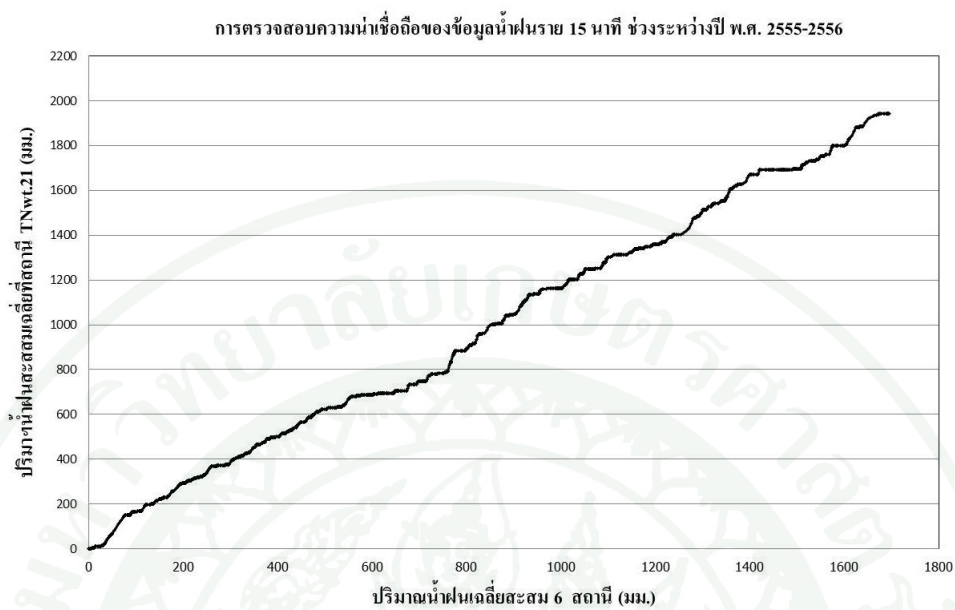


ภาพผนวกที่ ก3 รูปตัดขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งโทรมาตรสถานี TN wt.15

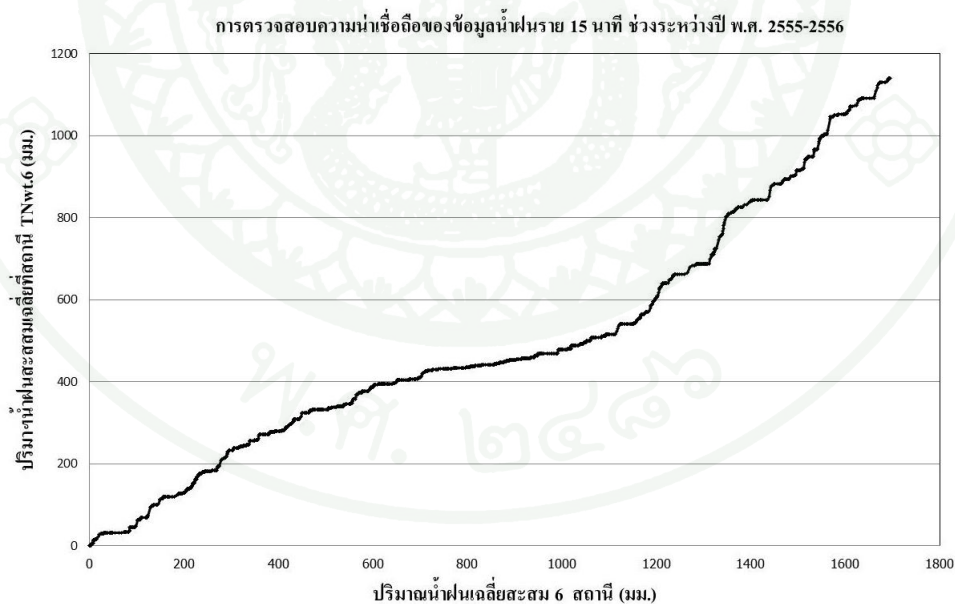


ภาพผนวกที่ ก4 รูปตัดขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งโทรมาตรสถานี TN wt.22

1) สถานี TNwt.21

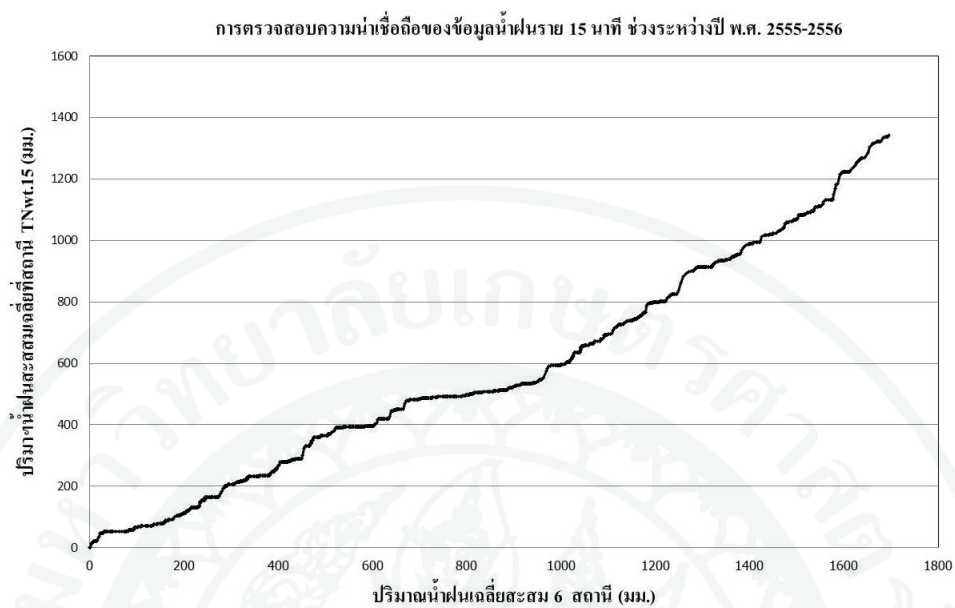


2) สถานี TNwt.6

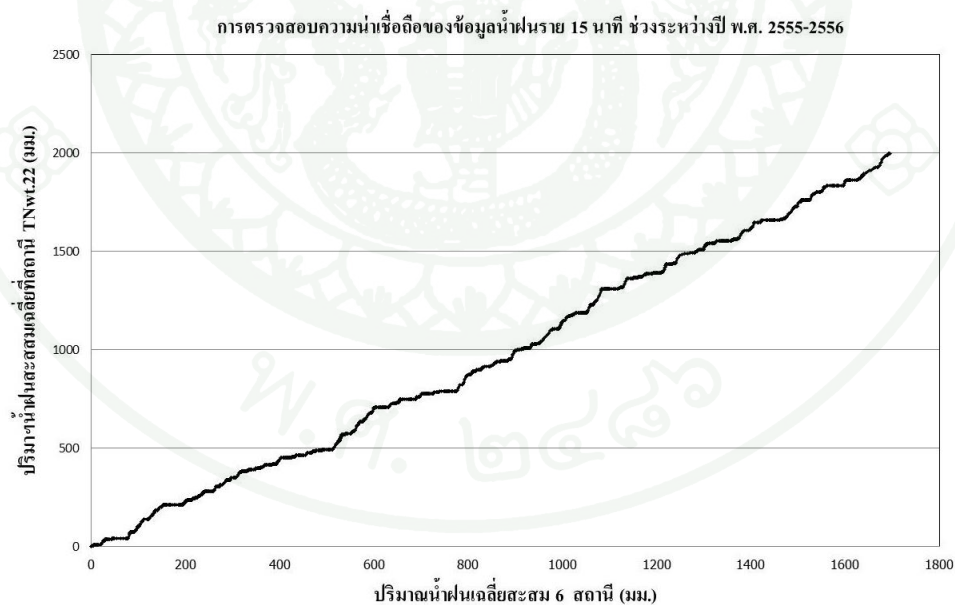


ภาพผนวกที่ ก5 การวิเคราะห์ Double Mass Curve ของสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำแม่วังทอง

3) สถานี TNwt.15

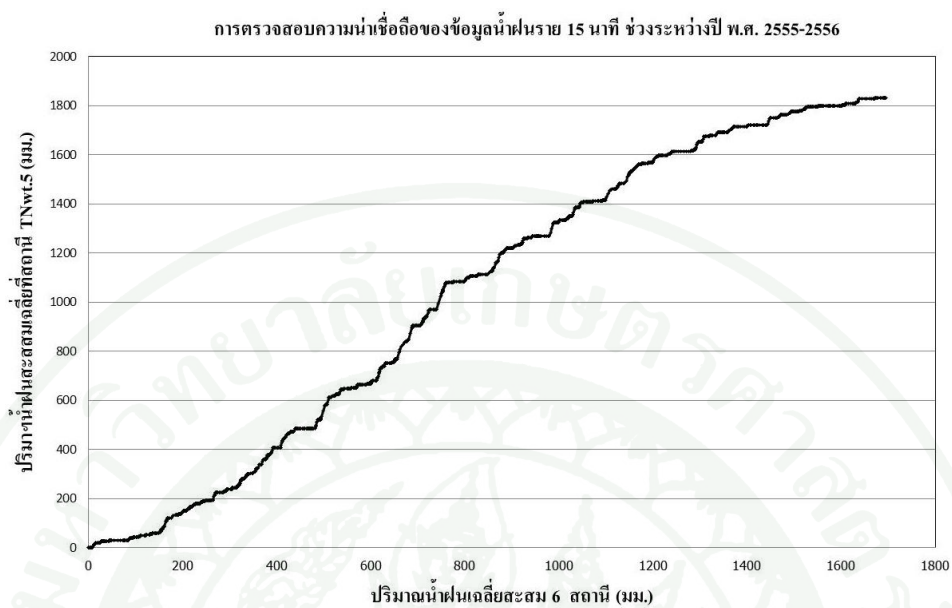


4) สถานี TNwt.22

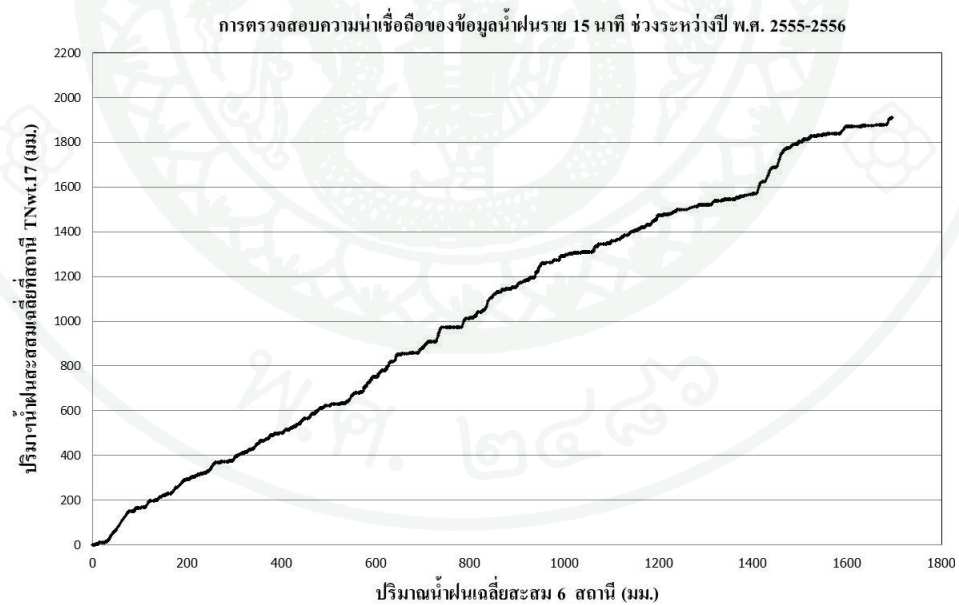


ภาพผนวกที่ ก5 (ต่อ)

5) สถานี TNwt.5



6) สถานี TNwt.17



ภาพผนวกที่ ก5 (ต่อ)



ตารางผนวกที่ ข1 สรุปผลการพยากรณ์น้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11-DA ช่วงระหว่างวันที่ 28 กันยายน ถึง 4 ตุลาคม 2556

ช่วงเวลาการ พยากรณ์น้ำ (Time of Forecast)	ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าตรวจวัดได้จริงกับค่าที่พยากรณ์น้ำ											
	สถานี TN wt.21			สถานี TN wt.6			สถานี TN wt.15			สถานี TN wt.22		
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
28 ก.ย. 2556	33.15	15.31	23.70	20.60	15.17	32.59	29.75	28.50	35.42	13.62	15.13	21.26
29 ก.ย. 2556	34.06	30.95	82.76	19.02	4.28	19.34	5.82	6.17	6.60	5.39	7.09	10.85
30 ก.ย. 2556	12.43	62.37	107.7	11.12	12.25	18.34	13.92	10.20	4.98	8.88	12.36	10.39
1 ต.ค. 2556	3.09	2.81	11.36	14.97	19.96	4.60	3.90	6.70	13.36	6.34	2.72	8.47
2 ต.ค. 2556	25.63	36.09	36.01	2.48	14.61	1.96	13.68	34.64	31.26	11.21	24.37	29.43
3 ต.ค. 2556	2.51	2.57	2.57	14.89	2.40	2.88	25.85	32.35	29.99	13.55	29.73	30.73
4 ต.ค. 2556	0.00	0.00	0.00	13.80	24.61	29.94	6.23	11.58	16.27	9.86	16.46	12.70
ค่าความคลาด เคลื่อนมาก ที่สุด	34.06	62.37	107.79	20.60	24.61	32.59	29.75	34.64	35.42	13.62	29.73	30.73
ค่าความคลาด เคลื่อนน้อย ที่สุด	0.00	0.00	0.00	2.48	2.40	1.96	3.90	6.17	4.98	5.39	2.72	8.47
ค่าความคลาด เคลื่อนเฉลี่ย	15.84	21.44	37.74	13.84	13.33	15.67	14.16	18.59	19.70	9.84	15.41	17.69



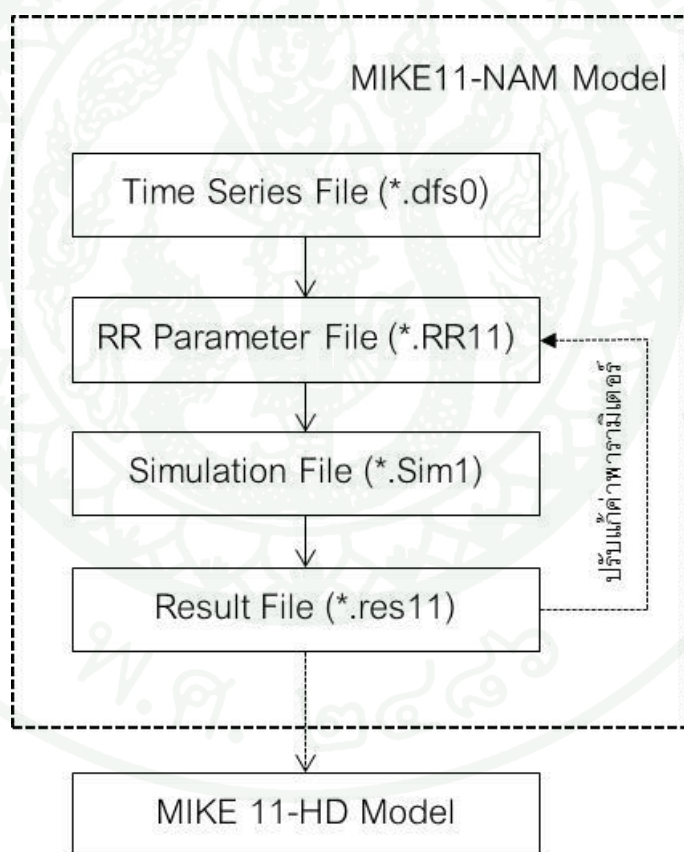
ขั้นตอนการใช้งานแบบจำลองพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA

1. สร้างแบบจำลองระบบแม่น้ำ MIKE11-NAM/HD

1.1 แบบจำลอง MIKE11 –NAM (Rainfall-Runoff Module) เพื่อใช้คำนวณปริมาณน้ำทำจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเพื่อหาค่าพารามิเตอร์เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำ

1.1.1 โครงสร้างของแบบจำลอง MIKE11-NAM ประกอบด้วย 4 ส่วนดังภาพผนวกที่

ค1



ภาพผนวกที่ ค1 โครงสร้างของแบบจำลอง MIKE11-NAM

1.1.2 การนำเข้าข้อมูลอุทกวิทยาเข้าสู่ฐานข้อมูลแบบจำลอง (Time Series File) เป็นไฟล์อนุกรมเวลามีนามสกุล *.dfs0 โดยมีข้อมูล 3 ชนิดด้วยกัน คือ ข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลปริมาณการไหล และข้อมูลการคายระเหย

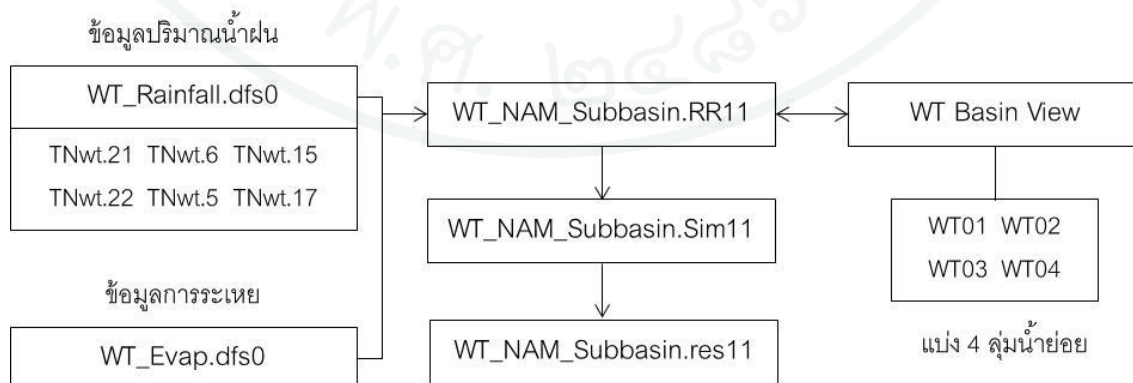
1.1.3 ไฟล์ค่าพารามิเตอร์ (RR Parameter) มีนามสกุล *.RR11 เป็นการรวบรวมขนาดพื้นที่รับน้ำ ข้อมูลอนุกรมและค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของแบบจำลอง NAM และค่า แฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนักด้วยวิธี Thiessen Polygon

1.1.4 ไฟล์ควบคุมการทำงานหลัก (Simulation File) มีนามสกุลเป็น *.Sim11 เป็นเอกสารควบคุมการทำงานและการเรียกไฟล์แบบจำลองชนิดต่างๆ ของ MIKE 11 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ชื่อไฟล์ข้อมูล ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์

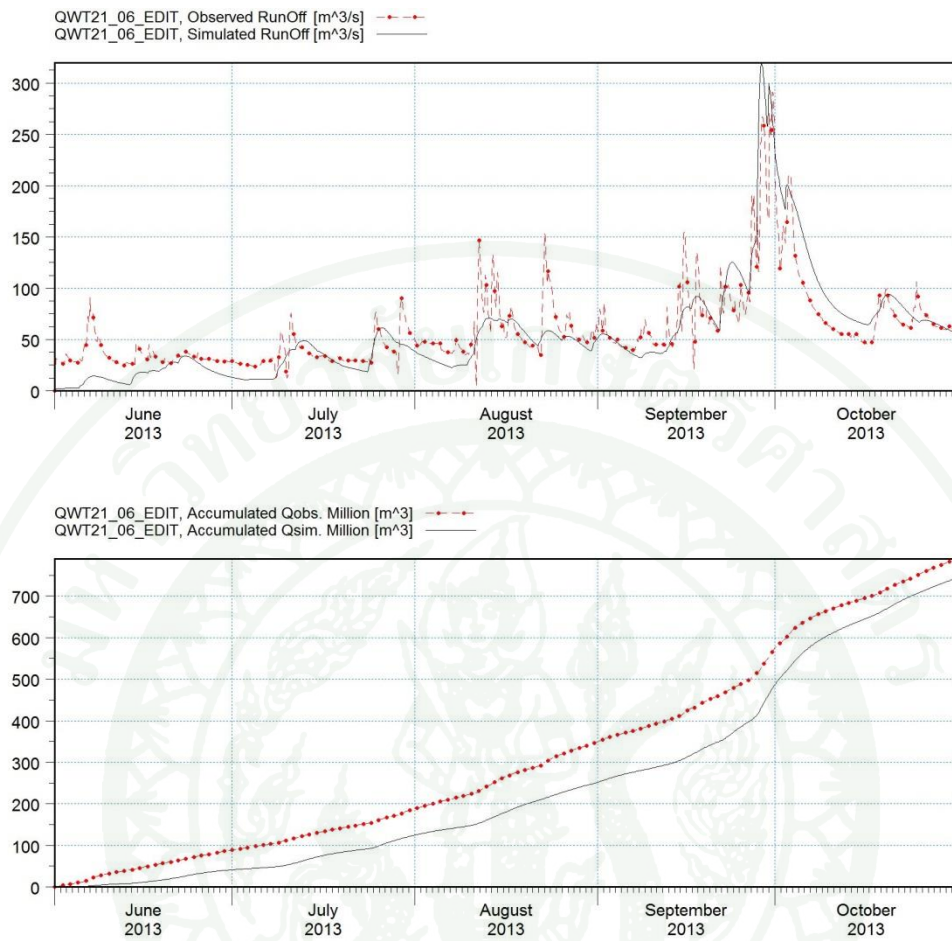
1.1.5 การแสดงผลด้านออกแบบจำลอง (Result File) มีนามสกุลเป็น *.res11 เป็นเอกสารแสดงผลการคำนวณของ MIKE 11 โดยเปิดรายละเอียดได้ด้วย MIKE View และนำผลที่ได้จากการประมวลผลไปใช้กับ HD model

1.2 แบบจำลอง MIKE11 –NAM สำหรับการหาปริมาณการไหลจากลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำแม่วังทอง

1.2.1 โครงสร้างของแบบจำลอง MIKE11-NAM สำหรับลุ่มน้ำแม่วังทอง ประกอบด้วย 4 ลุ่มน้ำย่อยจำนวน 4 ลุ่มน้ำภาพผนวกที่ ค2




ภาพผนวกที่ ค2 โครงการสร้างของแบบจำลอง MIKE11-NAM สำหรับลุ่มน้ำแม่วังทอง



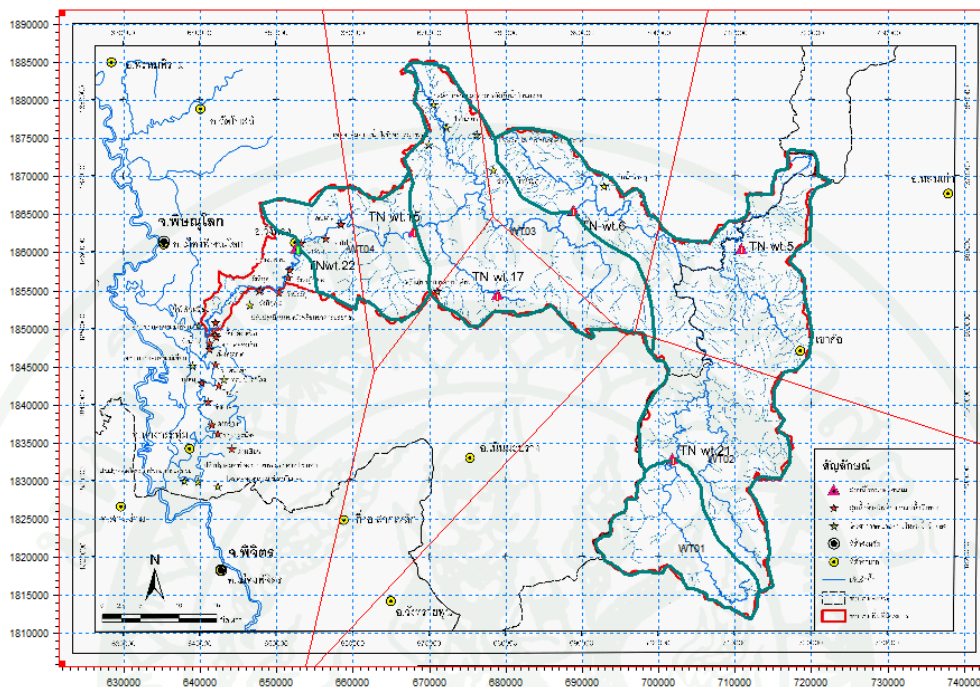
D:\Run\NAM\RR\calibration\QWT21_06_EDIT.dwg

D:\Run\NAM\RR\calibration\QWT21_06_EDIT.dwg

		Client:	NAM autocalibration	MIKZero
		Project:	Results	
Parameterfile	Date:	R2=0.313, WBL= 5.7% (obs=2177mm/y, sim=2052mm/y)		Drawing no.
Qwt21_06_edit.r11	28/ 4/2014 23: 1			
	Init:			

ภาพผนวกที่ ๑๓ ผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11- NAM

1.2.1 การสร้างพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (Catchment Area) และการทำ Thiessen Polygon เพื่อหา Weighing Factor ของปริมาณน้ำฝนสำหรับลุ่มน้ำย่อย ใน Basin View



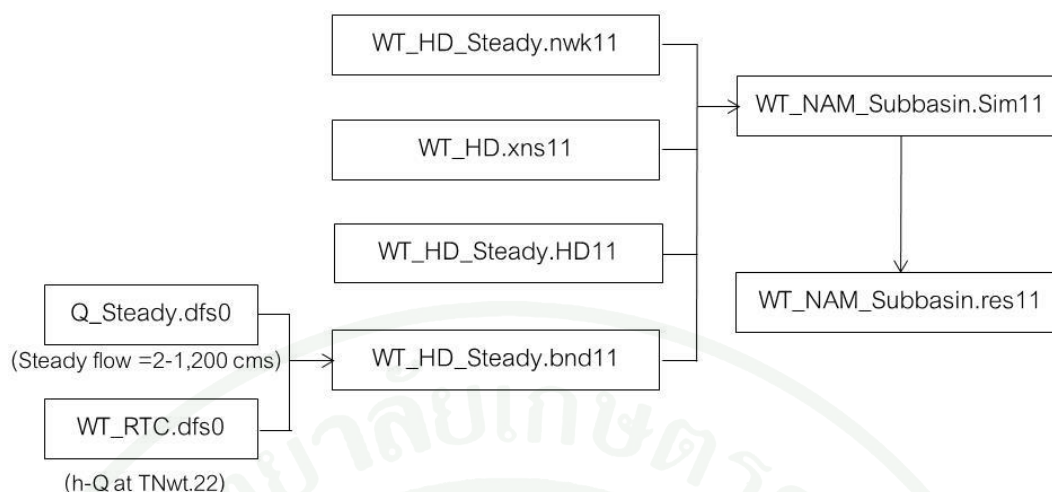
ภาพผนวกที่ ค4 การสร้างพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (Catchment Area) และการทำ Thiessen Polygon

1.3 แบบจำลอง MIKE11 –HD เพื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำในแม่น้ำวังทอง จะทำการปรับเทียบ (Calibration) และตรวจพิสูจน์ (Verification) แบบจำลองจนได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

1.3.1 โครงสร้างของแบบจำลอง MIKE11-HD ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค5

1.3.2 ไฟล์อนุกรมเวลา (Time Series File) มีนามสกุลเป็น *.dfs0 เป็นข้อมูลตามเวลาสำหรับแบบจำลองที่ใช้ ข้อมูลปริมาณน้ำ (Discharge) หรือข้อมูลระดับน้ำ (Water Level) ที่เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Codition) ของแบบจำลอง

1.3.3 ไฟล์รูปตัดขวางลำน้ำ (Cross Section File) มีนามสกุลเป็น *.xns11 ข้อมูลลักษณะหน้าตัดลำน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ ของลำน้ำรวมทั้งค่าพารามิเตอร์จากหน้าตัดที่กำหนด



ภาพผนวกที่ ๑5 โครงสร้างของแบบจำลอง MIKE11-HD สำหรับระบบแม่น้ำวังทอง

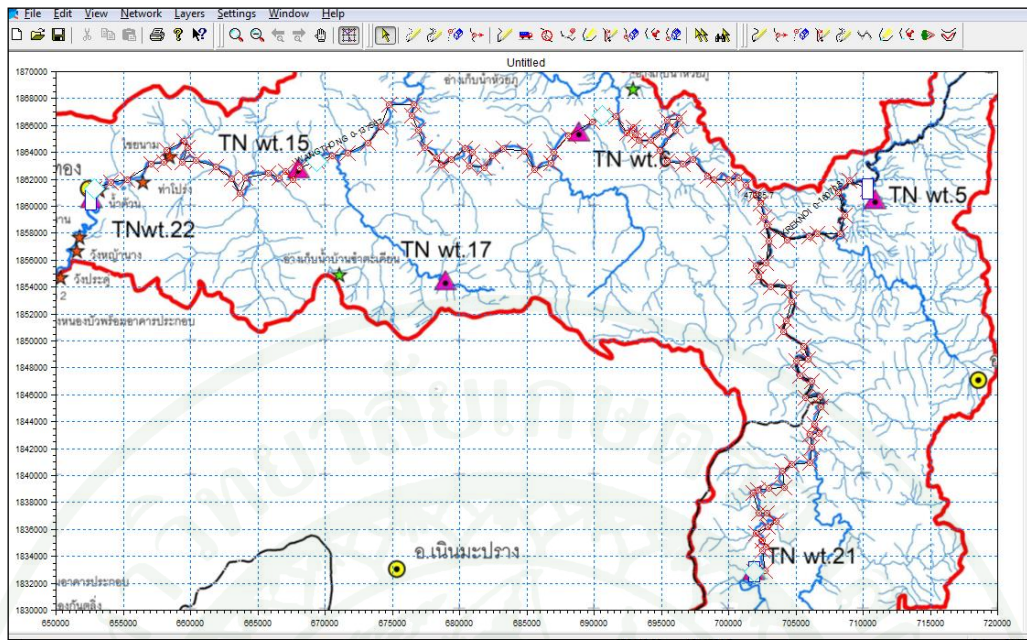
1.3.4 ไฟล์โครงข่ายระบบแม่น้ำ (River Network File) มีนามสกุล *.nwk11 เป็นที่เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายลำน้ำ เช่น จุดต่อต่างๆ ลำน้ำ , แสดงการเชื่อมต่อลำน้ำสาขากับลำน้ำหลัก, การเชื่อมต่อกับ RR model, ตำแหน่งและลักษณะโครงสร้างควบคุมการไหลของน้ำ เช่น ฝาย (Weir) ประตูระบายน้ำ (Regulator) และปั้มน้ำ (Pump) เป็นต้น

1.3.5 ไฟล์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition File) มีนามสกุล *.bnd11 แสดงเงื่อนไขขอบเขตของระบบแม่น้ำ

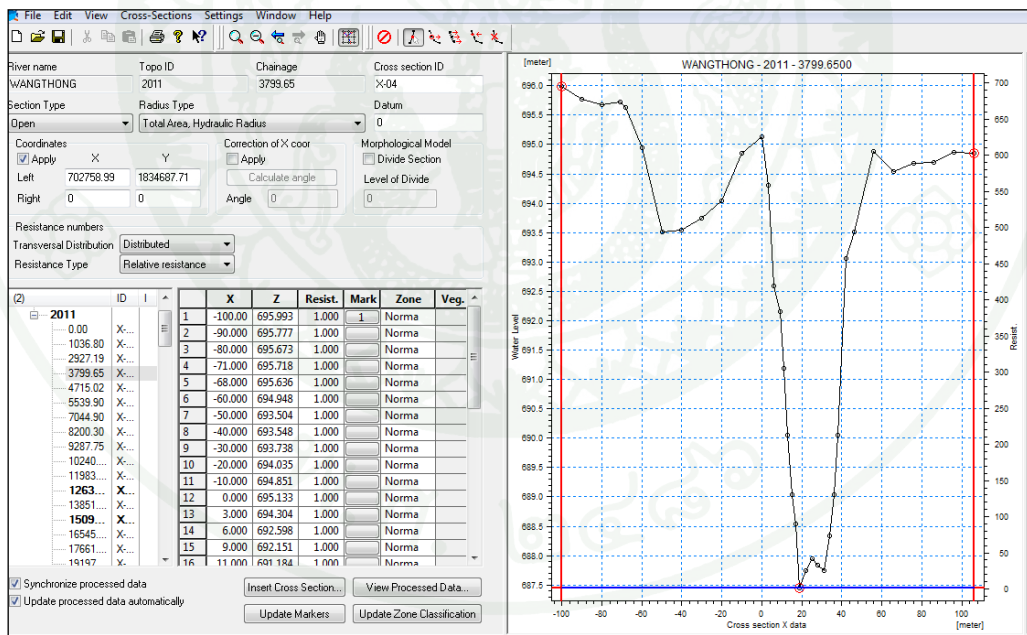
1.3.6 ไฟล์ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11-HD (HD Parameter File) มีนามสกุล *.HD11 เป็นการแสดงค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง เช่น ค่าเริ่มต้นในการไหล ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของแมนนิ่ง เป็นต้น

1.3.7 ไฟล์ควบคุมการทำงานหลัก (Simulation File) มีนามสกุลเป็น *.Sim11 เป็นเอกสารควบคุมการทำงานและการเรียกไฟล์แบบจำลองชนิดต่างๆ ของ MIKE 11 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

1.3.8 การแสดงผลด้านออกแบบจำลอง (Result File) มีนามสกุลเป็น *.res11 เป็นเอกสารแสดงผลการคำนวณของ MIKE 11 โดยเปิดรายละเอียดได้ด้วย MIKE View เท่านั้น



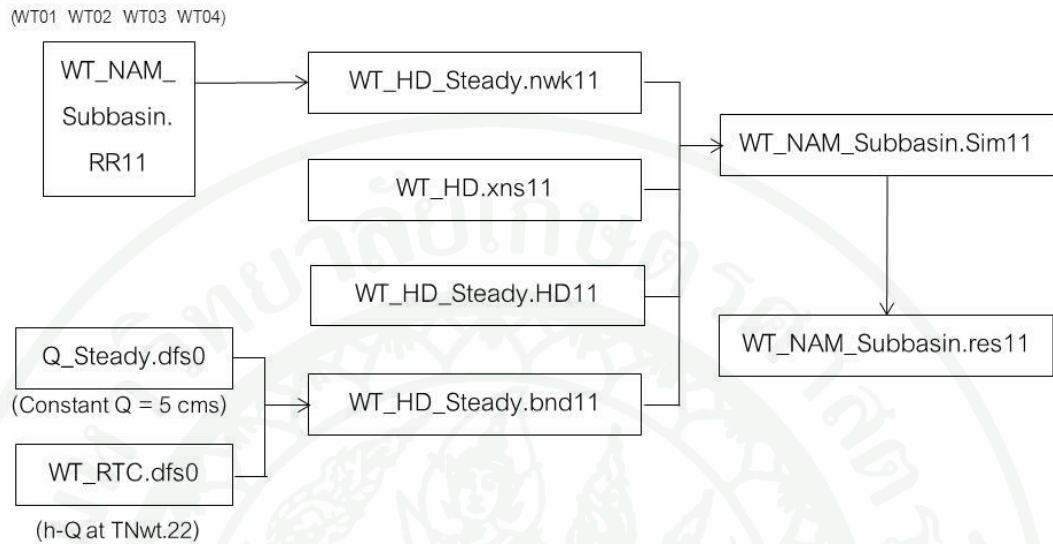
ภาพผนวกที่ ๑๖ โครงข่ายระบบแม่น้ำ (River Network File) ของแบบจำลอง MIKE11-HD



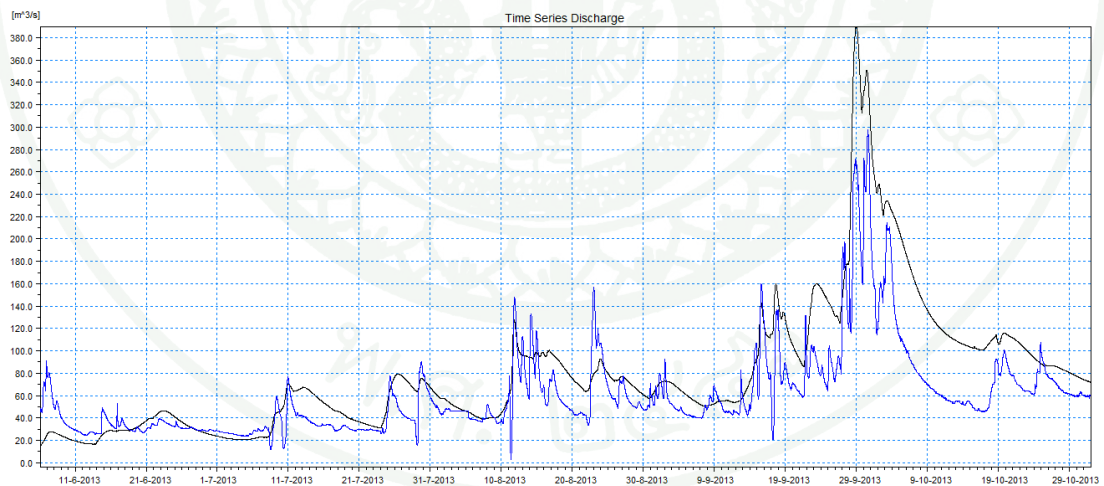
ภาพผนวกที่ ๑๗ รูปตัดขวางลำน้ำ (Cross Section File) ของแบบจำลอง MIKE11-HD

1.4 เปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11-NAM ร่วมกับ HD โดยหลังจากได้ทำการเปรียบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM และ HD แยกส่วนกันแล้ว ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสองใน

การจำลองสภาพอุทกภัยในปี พ.ศ. 2556 และ โครงสร้างของแบบจำลอง MIKE11- NAM/HD ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค8



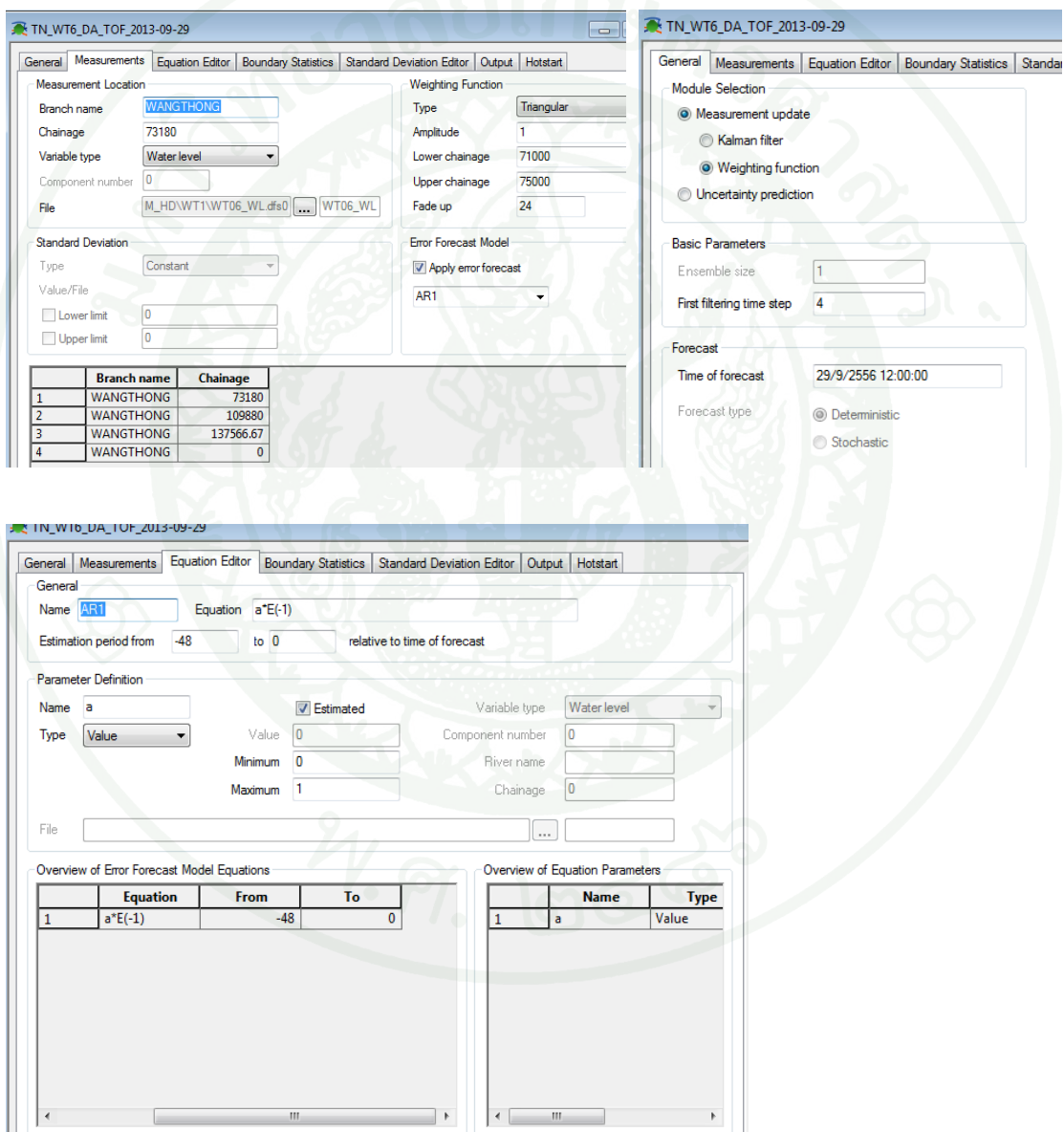
ภาพผนวกที่ ค8 โครงสร้างของแบบจำลอง MIKE11-NAM/HD สำหรับระบบแม่น้ำวังทอง



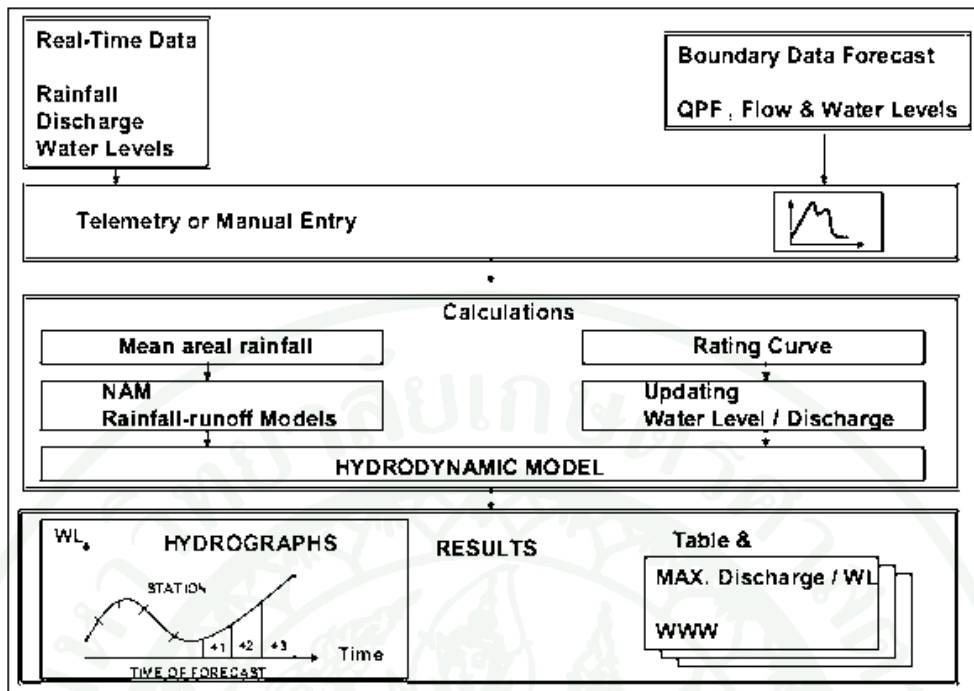
ภาพผนวกที่ ค9 แสดงผลการรันแบบจำลอง(เส้นสีดำ) และค่าปริมาณน้ำที่ตรวจวัด (เส้นสีน้ำเงิน) ใน MIKE View

2. จัดทำแบบจำลองพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA

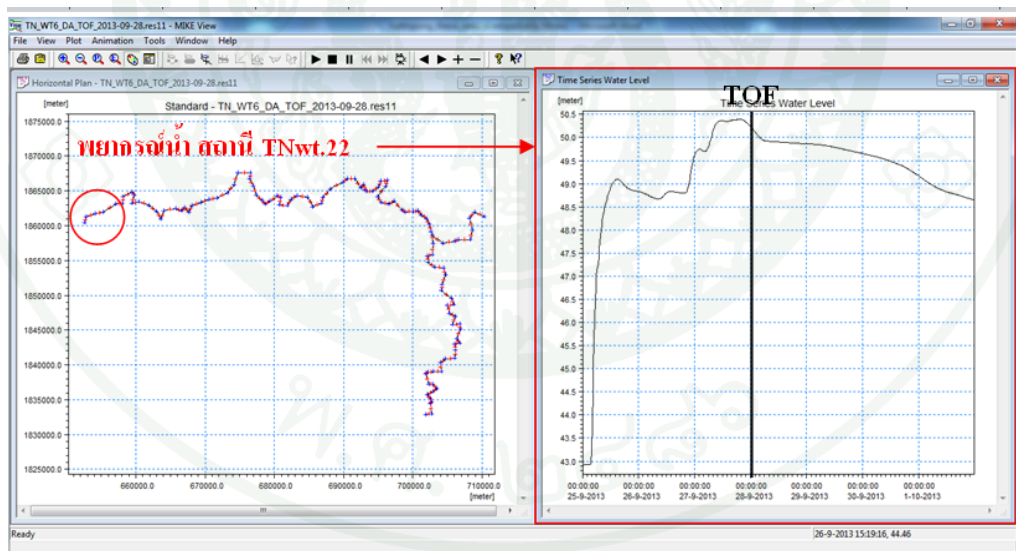
ในขั้นตอนนี้จะนำแบบจำลอง MIKE11-NAM/HD ที่ผ่านการปรับเทียบแล้วมาประยุกต์ใช้ทดสอบผลการพยากรณ์น้ำในสภาพอุทกภัยในปี พ.ศ. 2556 ได้พิจารณากำหนดจุดและชนิดข้อมูลที่ จะทำพยากรณ์ 4 จุด ในแม่น้ำวังทองโดยจะใช้ข้อมูลระดับน้ำราย 15 นาทีทำการ Update กับผลการรันแบบจำลองได้แก่ สถานี TNwt.21 TNwt.6 TNwt.15 และ สถานี TNwt.22



ภาพผนวกที่ ค10 การตั้งค่าต่างๆในแบบจำลอง MIKE11 – DA



ภาพผนวกที่ ค11 โครงสร้างของแบบจำลอง MIKE11-DA สำหรับระบบแม่น้ำวังทอง



ภาพผนวกที่ ค12 ผลการพยากรณ์ TOF 28 ก.ย. 2556 จากแบบจำลอง MIKE11-DA



ขั้นตอนการใช้งานแบบจำลองพยากรณ์น้ำ FloodWorks

1. สร้างแบบจำลองระบบแม่น้ำ InfoWorks PDM/RS

1.1 แบบจำลอง InfoWorks PDM (Probability Distributed Model) เพื่อใช้คำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเพื่อหาค่าพารามิเตอร์เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำจะมีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญดังนี้

1.1.1 การแสดงลักษณะทั่วไปของแบบจำลอง (Model) คือ การตั้งชื่อ (Title) ให้กับแบบจำลอง การระบุรายละเอียดของพื้นที่รับน้ำ (Catchment Area) การตั้งค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นให้กับแบบจำลอง (Model Setting)

1.1.2 รายละเอียดของข้อมูล (Station) ที่จะนำมาทำการเปรียบเทียบ จะเป็นค่าข้อมูลน้ำฝน (Rainfall) ข้อมูลน้ำท่า (Gauging) ข้อมูลอัตราการระเหย (Potential Evaporation) และเลือกกำหนดเหตุการณ์ที่จะทำการเปรียบเทียบ (Events and Event data file)

1.1.3 การปรับเทียบพารามิเตอร์ (Calibrate) จะสามารถเลือกการปรับเทียบแบบจำลองได้เองหรือให้โปรแกรมปรับเทียบค่าให้โดยในขั้นแรกแบบจำลองจะทำการปรับเทียบค่าที่ดีที่สุดก่อน โดยจะแสดง ค่า Calibration Parameter และค่า R^2 ที่เราใช้พิจารณาเป็นสำคัญ

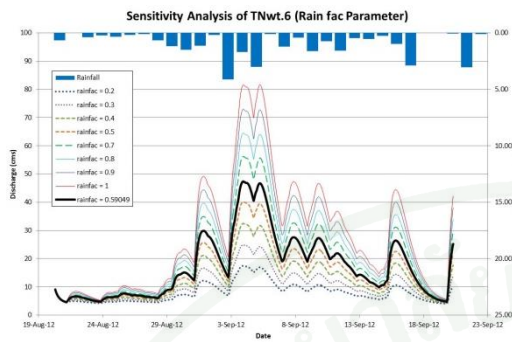
1.1.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validating) โดยกำหนดเหตุการณ์ให้กับแบบจำลอง

1.1.5 ผลลัพธ์ของปริมาณน้ำท่า โดยแบบจำลองจะแสดงอัตราการไหลในรูปของปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลฝนจริงโดยปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด จะใช้การเคลื่อนตัวจากเหนือน้ำมาที่ด้านท้ายน้ำ ซึ่งใช้เป็นการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Flow) และสำหรับการไหลในแม่น้ำคำนวณโดยแบบจำลอง InfoWorks RS

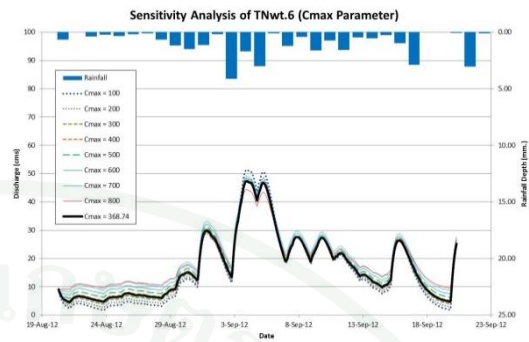
ตารางผนวกที่ 1 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง PDM

ลำดับ ที่	แบบจำลองย่อย			รายละเอียด	หมายเหตุ
	ตัวแปร	ชื่อตัวแปร	หน่วย		
1	สมการปริมาณฝนและอัตราการระเหย (Rainfall & Evaporation)				
	f_c	rainfac	-	ตัวคูณปริมาณฝน	ควบคุมปริมาณน้ำท่า
	b_e	b_e	-	เลขยกกำลังของฟังก์ชันการระเหย	มีผลกระทบต่อในช่วงการเปลี่ยนฤดู
2	สมการการกระจายตัวของความชื้นในดิน (Moisture Storage distribution)				
	C_{min}	Cmin	มม.	ความจุในการกักเก็บน้ำในดินต่ำสุด	ส่งผลกระทบต่อเวลาการเกิดน้ำท่าและการชุ่มชื้นของดิน
	C_{max}	Cmax	มม.	ความจุในการกักเก็บน้ำในดินสูงสุด	
	b	b	-	เลขยกกำลังของการกระจายตัวแบบ Pareto	
3	สมการการไหลซึมลงดินและปริมาณน้ำท่า (Recharge & Runoff)				
	3.1 Standard				
	k_g	kg	ซม.-มม. ^{bg-1}	ค่าคงที่ของเวลาการไหลซึมของน้ำลงใต้ดิน	ควบคุมอัตราการไหลซึมของน้ำลงใต้ดิน
	S_t	st	มม.	ความยืดหยุ่นของความจุการเก็บกัก	เพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันการระบายน้ำอย่างสมบูรณ์ของการกักเก็บความชื้นในดิน
	b_g	bg	-	เลขยกกำลังของการไหลซึมของน้ำลงใต้ดิน	เพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความไวของอัตราการไหลกลับของดินแห้ง
	3.2 Splitting				
	α	alpha	-	ตัวคูณน้ำท่า ควบคุมการแบ่งของน้ำฝนเป็นน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน	
	β	beta	-	ควบคุมการแบ่งการไหลไปเป็นน้ำใต้ดินในบางเงื่อนไขเฉพาะ	
	τ	theta	-	สัดส่วนเริ่มต้นของการแบ่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน	ส่งผลกระทบต่อต้นของการจำลองเท่านั้น
	3.3 Demand - based				
	α	alpha_d	-	ขีดจำกัดอัตราส่วนของน้ำใต้ดิน	
	β	beta_d	-	ตัวคูณยกกำลังของฟังก์ชันความต้องการน้ำใต้ดิน	
	q_{sat}	qsat_d	มม./ซม.	อัตราการไหลลงดินสูงสุด	
	4	สมการการไหลบนผิวดิน (Surface Flow)			
k_1, k_2		k1, k2	ซม.	ตัวแปรของการไหลบนผิวดิน	ควบคุมปริมาณน้ำท่าสูงสุด
5	สมการการไหลของปริมาณน้ำฐาน (Base Flow)				
	k_b	kb	ซม. มม. ^{m-1}	ค่าคงที่ของปริมาณน้ำฐาน	ควบคุมระยะของการสู่ออก
	m	-	-	ตัวยกกำลังของปริมาณน้ำฐาน	
6	สมการเวลาและปริมาณน้ำ (Time & Flow)				
	T_d	tdly	ซม.	เวลาที่เลื่อนออก	เลื่อนไฮโดรกราฟตามแกนเวลา
	q_c	qcont	ลบ.ม./วิ	ปริมาณน้ำคงที่	เลื่อนไฮโดรกราฟตามแกนปริมาณน้ำ

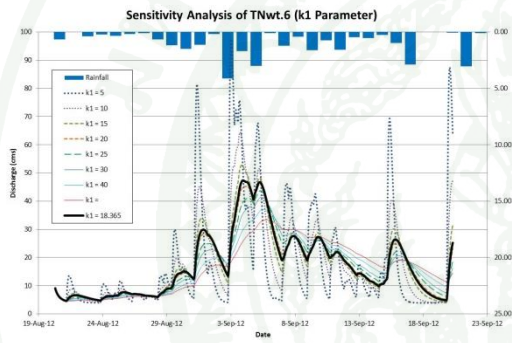
(1) *Rainfac* Parameter



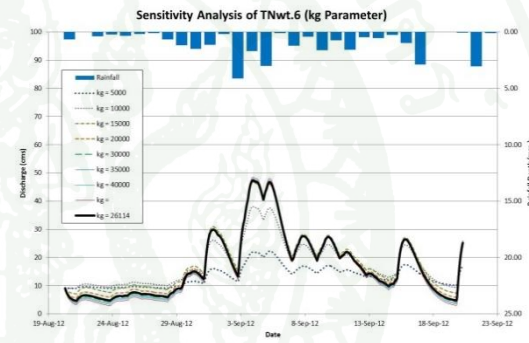
(2) *Cmax* Parameter



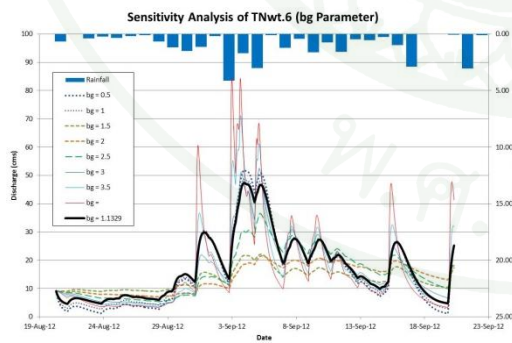
(3) *k1* Parameter



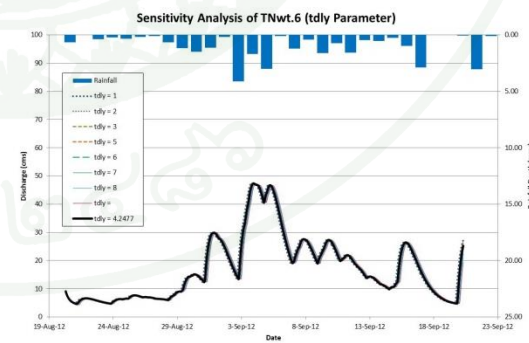
(4) *kg* Parameter



(5) *bg* Parameter



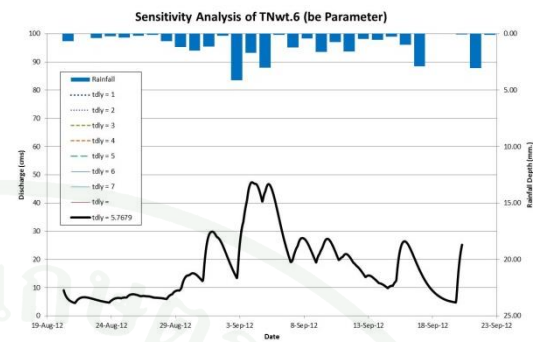
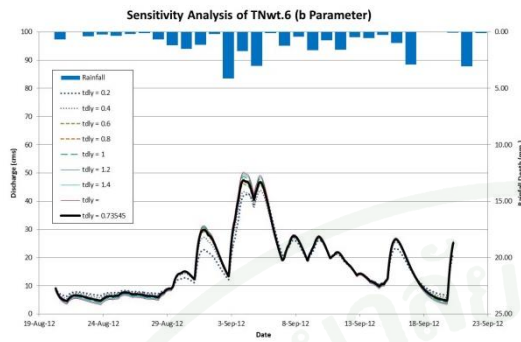
(6) *tdly* Parameter



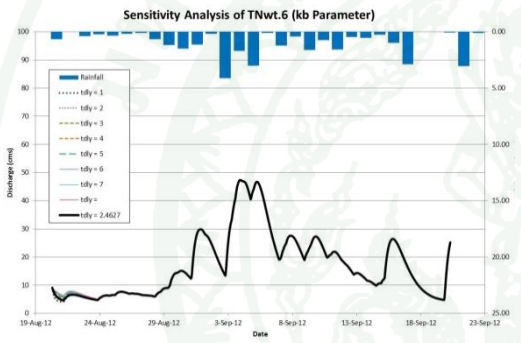
ภาพผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง PDM ที่สถานี TNwt.6

(7) *b* Parameter

(8) *be* Parameter



(9) *kb* Parameter



ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง PDM ที่สถานี TNwt.6

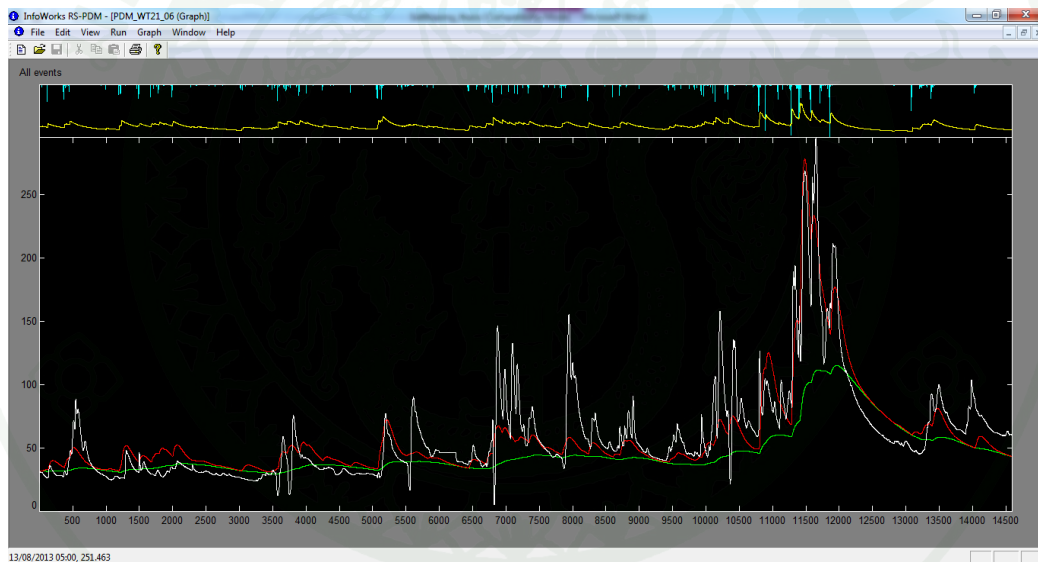
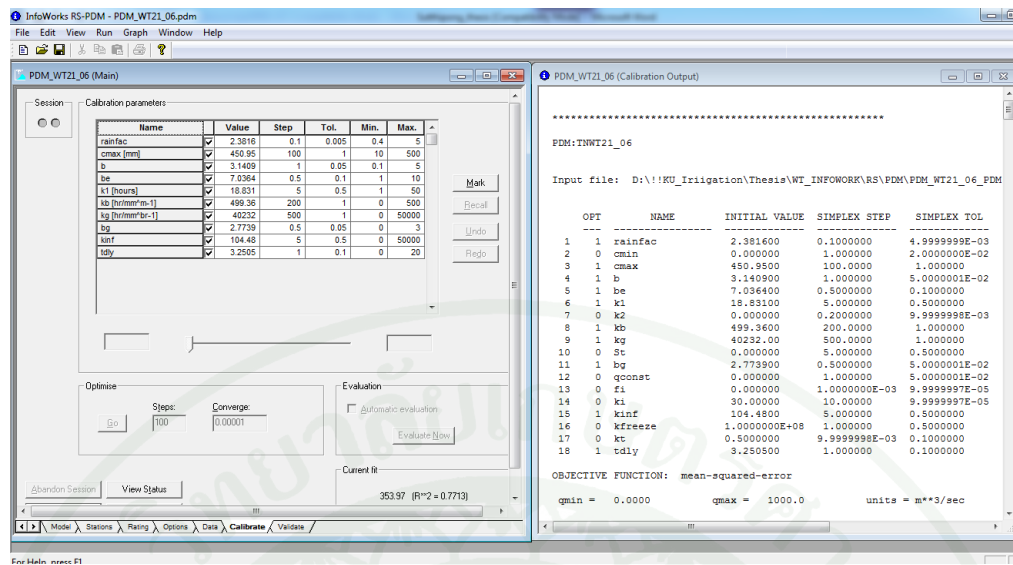
change			Cmax			k1		
parameter	Peak (%)	Volume (%)	parameter	Peak (%)	Volume (%)	parameter	Peak (%)	Volume (%)
0.2	-63.11	-53.61	100	8.48	-7.24	5	6.50	4.79
0.3	-47.47	-40.41	200	2.02	-5.74	10	25.02	1.66
0.4	-31.47	-26.84	300	0.08	-2.84	15	10.68	0.45
0.5	-15.12	-12.90	400	0.14	1.47	20	-4.62	-0.21
0.7	18.70	15.96	500	1.02	6.67	25	-16.20	-0.75
0.8	36.17	30.83	600	2.34	12.44	30	-24.80	-1.28
0.9	54.01	45.92	700	3.93	18.58	40	-36.96	-2.70
1.0	72.25	61.18	800	-6.19	14.05	50	-45.44	-4.32

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

change kg			change bg			change tdly		
parameter	Peak (%)	Volume (%)	parameter	Peak (%)	Volume (%)	parameter	Peak (%)	Volume (%)
5000	-53.68	-22.45	0.50	9.54	-7.55	1	-0.44	0.76
10000	-19.61	3.19	1.00	2.73	-5.18	2	-0.29	0.56
15000	-1.17	9.59	1.50	-54.15	-22.23	3	-0.07	0.36
20000	-0.73	3.76	2.00	-60.76	-19.23	5	-0.03	-0.03
30000	0.48	-1.49	2.50	-36.10	-8.23	6	-0.45	-0.21
35000	1.05	-2.82	3.00	-0.67	-4.86	7	-1.15	-0.38
40000	1.57	-3.75	3.50	15.34	-3.57	8	-2.08	-0.55
50000	2.48	-4.93	4.00	10.63	-2.39	9	-3.33	-0.70

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

change b			change be			change kb		
parameter	Peak (%)	Volume (%)	parameter	Peak (%)	Volume (%)	parameter	Peak (%)	Volume (%)
0.20	-11.35	-3.37	1.0	0.013	0.0123	1.0	0.01	-0.23
0.40	-8.48	-1.71	2.0	0.002	0.0009	2.0	0.00	-0.07
0.60	-2.53	-0.37	3.0	0.000	0.0002	3.0	0.00	0.08
0.80	0.93	0.08	4.0	0.000	0.0000	4.0	-0.01	0.24
1.00	3.07	0.05	5.0	0.000	0.0000	5.0	-0.01	0.40
1.20	4.47	-0.19	6.0	0.000	0.0000	6.0	-0.01	0.55
1.40	5.43	-0.53	7.0	0.000	0.0000	7.0	-0.02	0.71
1.60	6.10	-0.90	8.0	0.000	0.0000	8.0	-0.02	0.86



ภาพผนวกที่ ๒ การเปรียบเทียบพารามิเตอร์และการแสดงผล (Graph) ของแบบจำลอง PDM

1.2 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ InfoWorks RS (River Simulation) เพื่อใช้จำลองสภาพการไหลของแม่น้ำวังทองโดยเป็นการรวมคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ของการรวมปฏิบัติการจำลองการไหลจากโปรแกรม ISIS, การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และระบบของฐานข้อมูล

1.2.1 ขอบเขตของแบบจำลอง (Boundary) : แบบจำลอง InfoWorks RS สามารถกำหนดรูปแบบของ ขอบเขต ทั้งขอบเขตด้านบนและด้านล่าง (Upper and Lower Boundary) ได้หลาย

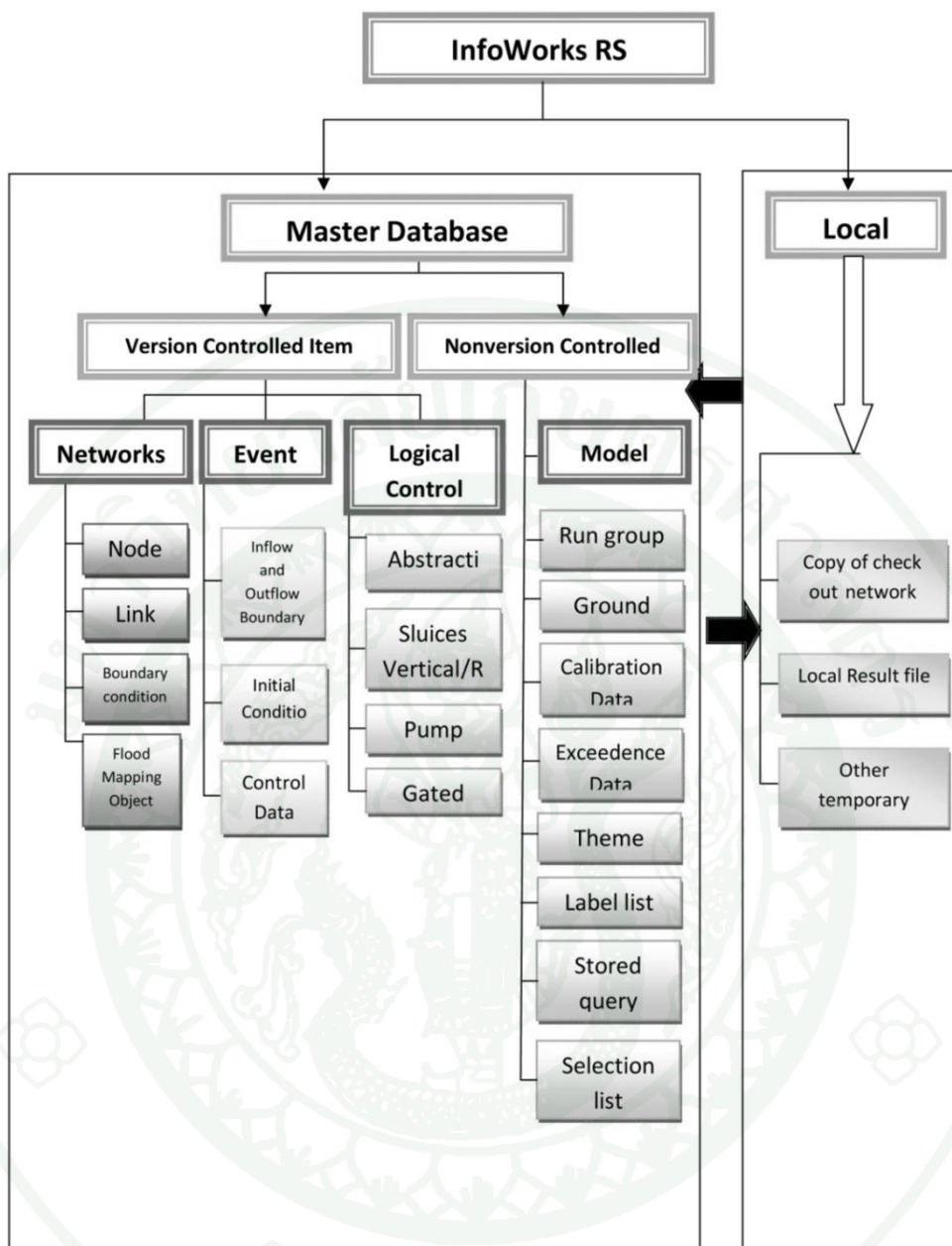
รูปแบบตามความเหมาะสม ดังนี้ 1) การเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า ในแบบจำลอง InfoWorks RS จะประกอบด้วย กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝน เป็นน้ำท่าหลายวิธี เช่น FSSR16, SCS, FEH และ PDM 2) การคำนวณการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลจะใช้วิธี Harmonic Function 3) ข้อมูลอนุกรมเวลาของระดับน้ำและปริมาณการไหล 4) ความสัมพันธ์ของระดับน้ำและอัตราการไหล (Rating Curve)

1.2.2 สมการของแบบจำลอง InfoWorks RS จะใช้สมการ St. Venant (สมการโมเมนต์มัม และ สมการความต่อเนื่อง) ในการคำนวณการไหลในทางน้ำและพื้นที่น้ำท่วม ทั้งในระบบทางน้ำเดียวและระบบโครงข่ายทางน้ำ ส่วนการคำนวณการไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ต่างๆ จะใช้สมการเฉพาะแยกในแต่ละชนิดของอาคารชลศาสตร์ โดยกลุ่มของอาคารชลศาสตร์สามารถแบ่งได้เป็น 8 กลุ่ม ดังนี้ 1) กลุ่มของท่อลอด (Conduit/Culvert) 2) กลุ่มของการไหลล้น (Spill) และการพังทลายของคันกั้นน้ำ/เขื่อน (breach) 3) กลุ่มของสะพาน (Bridge) 4) กลุ่มของการไหลแบบ Orifice 5) กลุ่มของเครื่องสูบน้ำ (Pump) 6) กลุ่มของฝาย (weir) 7) กลุ่มของประตูน้ำ (Sluice gate)

1.2.3 การควบคุมอาคารชลศาสตร์ : แบบจำลอง InfoWorks RS มีความยืดหยุ่นในการควบคุมการทำงาน of อาคารชลศาสตร์ (ประตูระบายน้ำ และสถานีสูบน้ำ เป็นต้น) ซึ่งสามารถดำเนินการควบคุม ตามเวลาที่กำหนดหรือควบคุมตามสภาพระดับน้ำหรือปริมาณน้ำได้ตามต้องการ โดยการกำหนด เงื่อนไขทางตรรกวิทยา (Logical Control)

1.2.4 การจัดการฐานข้อมูล : แบบจำลอง InfoWorks RS จะจัดการฐานข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรม Microsoft JET, SQL หรือ MSDE โดยแบ่งฐานข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ฐานข้อมูลหลัก (Master Database) ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลการจัดการ โปรแกรมและ แบบจำลองที่เกี่ยวข้อง 2) ฐานข้อมูลเฉพาะที่ (Local Root Directory) เป็นส่วนเก็บข้อมูลสำเนาการทำงานที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลอง ผลการจำลองและแฟ้มข้อมูลชั่วคราวต่างๆ

1.2.5 ด้านการแสดงผล : การแสดงผลสามารถแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์หรือเครื่องพิมพ์โดยผลคำนวณที่ได้จะอยู่ในรูปของกราฟ หรือตารางสรุป ทั้งนี้เมื่อใช้ร่วมกับระบบ GIS จะสามารถแสดงพื้นที่น้ำท่วม (Flood map) หน้าตัดของพื้นที่น้ำท่วม (Floodplain section) ที่เกิดขึ้นตามสถานที่และเวลาต่างๆ ได้ พร้อมทั้งจัดทำรายงานสรุปเหตุการณ์น้ำท่วมตามตำแหน่งสำคัญต่างๆ ที่กำหนด โดยระบบ GIS ของ โปรแกรม InfoWorks RS จะสามารถรองรับแฟ้มข้อมูลลักษณะภูมิประเทศจากโปรแกรม Arc Info, Arc View, MapInfo หรือ AutoCAD ได้



ภาพผนวกที่ ๓ โครงสร้างในการจัดการข้อมูลของโปรแกรม InfoWorks RS

ก. Master Database เป็นระบบของฐานข้อมูลซึ่งสร้างขึ้นโดย InfoWorks RS Administration เพื่อใช้เป็นศูนย์กลางในการเก็บข้อมูล ข้อมูลที่เก็บอยู่ใน Master Database

1) network เป็นข้อมูลแสดงองค์ประกอบทางชลศาสตร์ต่างๆ ในระบบของทางน้ำ โดย องค์ประกอบดังกล่าวจะไม่มีเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาระหว่างทำการ simulation

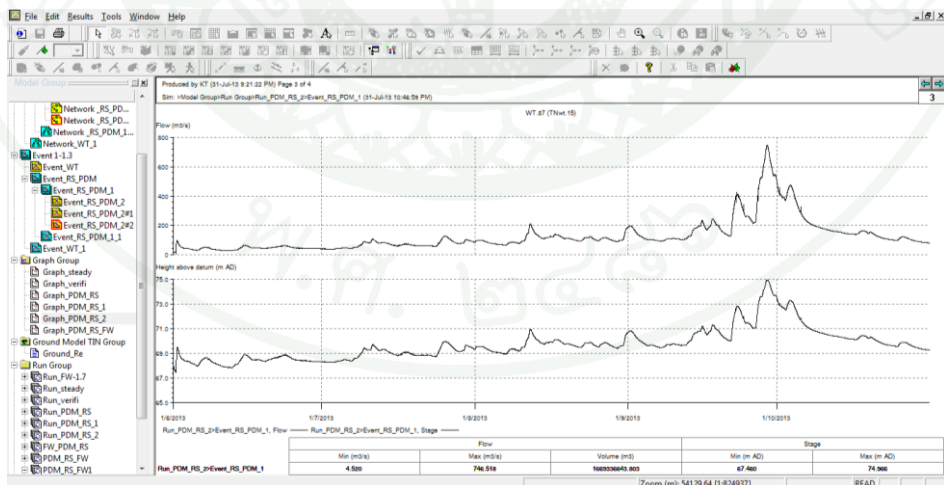
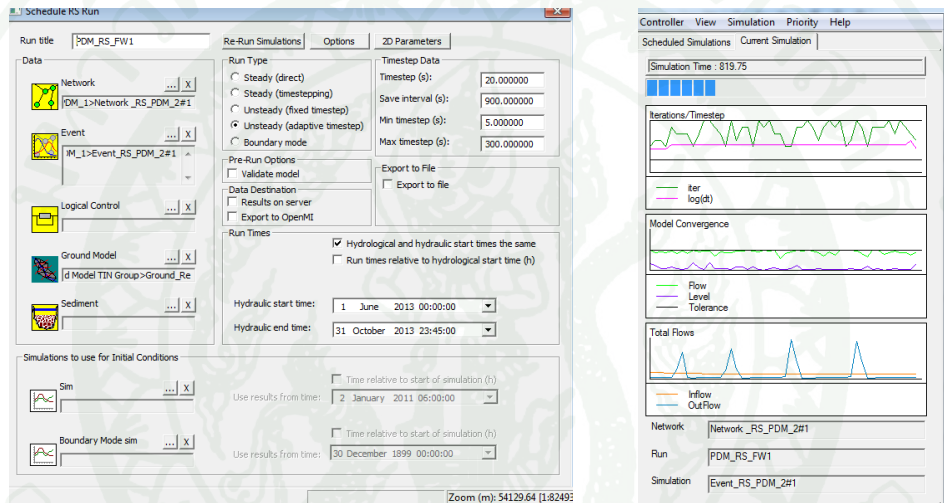
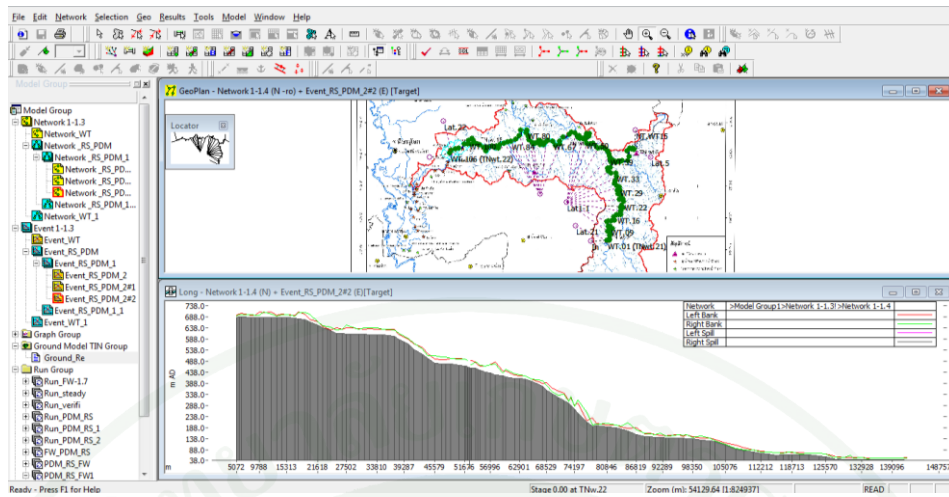
เช่นรูป ดัดขวางของทางน้ำ รายละเอียดทางกายภาพของอาคารชลศาสตร์ต่างๆ สภาพภูมิประเทศของพื้นที่น้ำท่วม

2) event data เป็นข้อมูลที่ใช้กำหนดรูปแบบลักษณะของ network ในส่วนที่เป็นข้อมูลอนุกรม เวลา กล่าวคือมีการแปรผันไปตามเวลาระหว่างการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เช่น ข้อมูลอัตราการไหล ระดับน้ำ ความลึกฝน การควบคุมอาคารชลศาสตร์ที่ทราบสถานะการ ดำเนินการที่เวลาต่างๆ อย่างชัดเจนแน่นอน ข้อมูลของเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง รวมถึง สภาพะเงื่อนไขเบื้องต้นของ network (Initial Condition) ก่อนทำการ simulation

3) logical control data เป็นส่วนของข้อมูลที่ใช้ควบคุมการทำงานของอาคารชลศาสตร์หรือ พฤติกรรมทางชลศาสตร์ (Abstraction, Sluices(vertical/radial), Pump และ Gated Weir) ใน รูปแบบของการใช้กฎเกณฑ์หรือเงื่อนไขสภาพทางชลศาสตร์ที่มีการกำหนดไว้ เช่น การเริ่ม เปิด-ปิด สถานีสูบน้ำ ที่ระดับน้ำควบคุมด้านหน้าและท้ายสถานีสูบน้ำที่กำหนดเพื่อช่วย ระบายน้ำออกจากพื้นที่เป้าหมาย การยกระดับบานระบายของประตูระบายน้ำตามสภาพของระดับน้ำด้านหน้าและท้ายอาคารระบายน้ำเพื่อการระบายน้ำหรือกักเก็บน้ำ เป็นต้น ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาในการจำลองสถานการณ์ แต่จะสัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ณ จุดที่พิจารณาที่เวลาหนึ่งๆ ที่กำหนด

ข. Local Root Directory เพื่อความสะดวกในการจัดข้อมูลของกลุ่มผู้ใช้งาน InfoWorks ได้มีการแยกการเก็บรักษาข้อมูล หลักในรูปแบบของ Local Root Directory โดยใช้เป็นไดเรกทอรีเพื่อเก็บ Copy file ที่ใช้งานของ แบบจำลอง ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูล 1) การทำงานของ Check out network ที่ต้องการสร้างขึ้นเพื่อทำการแก้ไขหรือปรับปรุง ซึ่ง ภายหลังจากการแก้ไข และทำการ check in โครลงถ่ายแล้ว ข้อมูลในส่วนนี้ก็จะถูกบันทึก กลับไปอยู่ใน master database 2) file เฉพาะของผลลัพธ์จากการ simulation 3) Temporary file อื่นๆ ในการใช้งาน

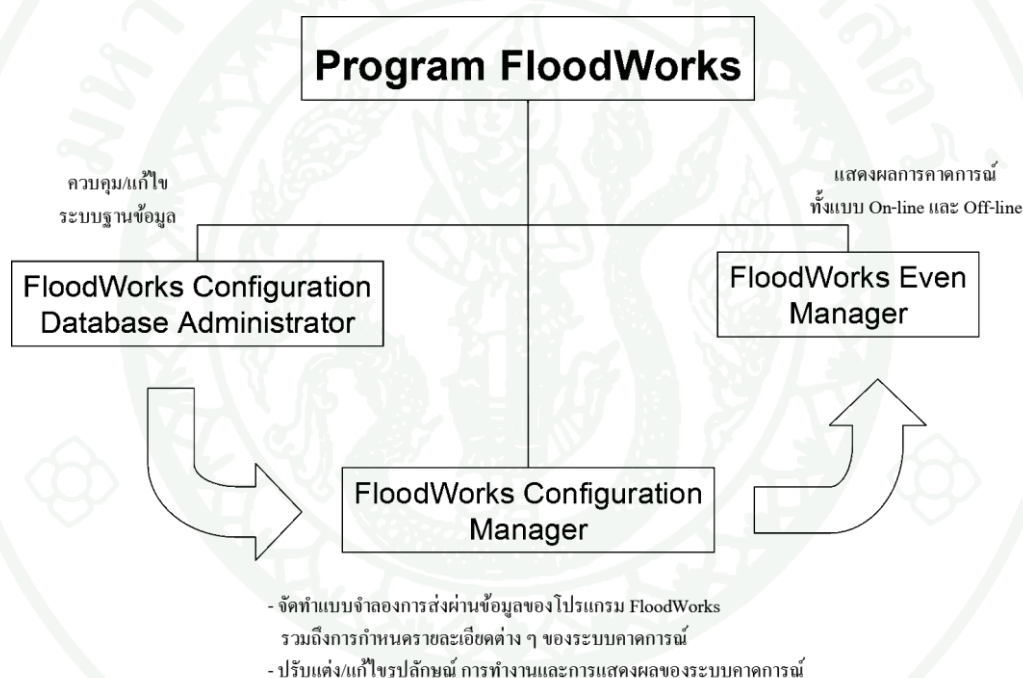
แฟ้มข้อมูลใน Local Root จะเป็นข้อมูลชั่วคราว ที่สามารถสร้างเป็นไดเรกทอรีใช้งาน เฉพาะ ผู้ใช้งานแต่ละคน โดยอาศัยฐานข้อมูลหลัก (Master Database) ตัวเดียวกันได้ เนื่องจาก องค์ประกอบต่างๆ มีความเกี่ยวข้องกับระบบฐานข้อมูล ดังนั้นการคัดลอก (copy) แฟ้มข้อมูล (file) การส่งผ่านข้อมูล (transport) รวมไปถึงการเปลี่ยนชื่อของฐานข้อมูลหลักจะต้องกระทำผ่าน โปรแกรมย่อย InfoWorks RS Administrator (IW RS Admin) เท่านั้น



ภาพผนวกที่ 4 รูปแบบการใช้งานและแสดงผลของแบบจำลอง InfoWorks RS

2. จัดทำแบบจำลองพยากรณ์น้ำ FloodWorks

2.1 โปรแกรม FloodWorks จะมีการปรับแก้ผลการพยากรณ์สถานการณ์อัตโนมัติ โดยอาศัยการเปรียบเทียบ ความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการพยากรณ์สถานการณ์กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดของระบบโทรมาตร มาประเมินความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์ และนำไปใช้สำหรับปรับแก้ผลพยากรณ์ในลำดับ เวลาถัดไปให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยโครงสร้างของโปรแกรม FloodWorks จะสามารถพิจารณาแยกออกเป็น 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย 1) โครงสร้างทางด้านการใช้งาน 2) โครงสร้างในการจัดการข้อมูล โครงสร้างของโปรแกรมด้านการใช้งาน การใช้งานโปรแกรม FloodWorks จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย



ภาพผนวกที่ 5 โครงสร้างของโปรแกรม FloodWorks

2.1.1 FloodWorks Configuration Database Administrator (FCDA) :ใช้สำหรับการจัดทำ/จัดสร้างระบบฐานข้อมูลสำหรับการใช้งานโปรแกรม

2.1.2 FloodWorks Configuration Manager (FCM) :ใช้สำหรับจัดทำแบบจำลองโครงข่ายข้อมูล กำหนดการทำงานและการแสดงผลของระบบคาดการณ์และบริหารจัดการน้ำหลาก

รวมไปถึงการใช้ในการปรับแต่งหรือแก้ไขระบบคาดการณ์น้ำหลากให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน

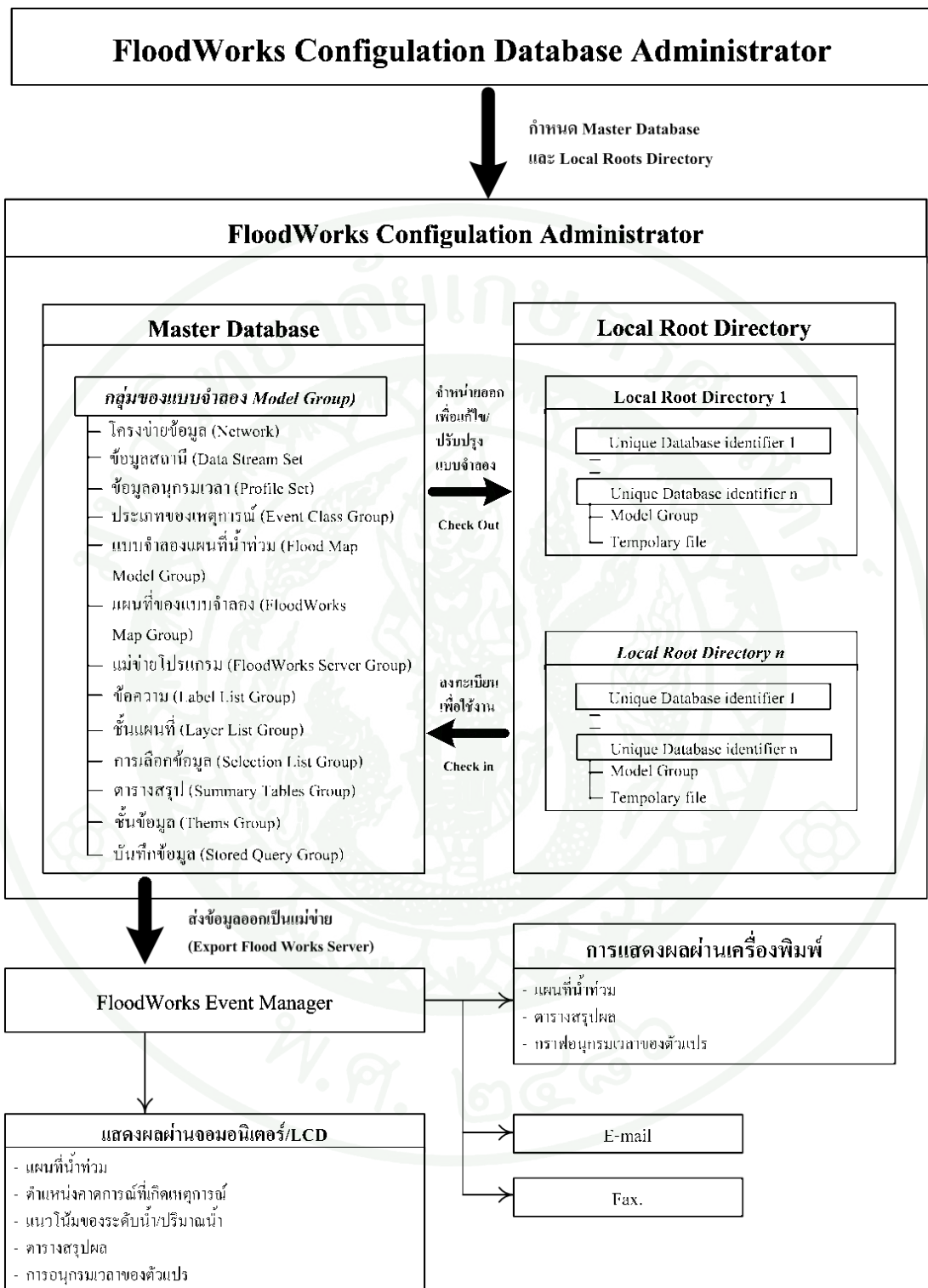
2.1.3 FloodWorks Event Manager (FEM) : ใช้สำหรับแสดงภาพลักษณะของระบบคาดการณ์ แสดงผลการทำงาน และผลคาดการณ์ของระบบ รวมไปถึงใช้ในการจำลองสภาพเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในทางเลือกต่างๆ ของการบริหารน้ำ

ลำดับการใช้งานขององค์ประกอบทั้ง 3 จะเริ่มจากการสร้างฐานข้อมูล (Database) จาก FCDA แล้วจึงทำการจัดสร้างแบบจำลองโครงสร้างการส่งข้อมูล ลักษณะ/ชนิดข้อมูล แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณและส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย FCM ซึ่งเมื่อจัดทำแบบจำลองจนเสร็จสมบูรณ์จึงนำแบบจำลองไปใช้งานทั้งแบบ On-line และ Off-line ด้วย FEM ต่อไป จากลำดับการใช้งานดังกล่าวจะเห็นว่า FCDA และ FCM จะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ช่วยในการสร้างระบบคาดการณ์และบริหารจัดการน้ำหลาก ในขณะที่ FEM จะทำหน้าที่ในการนำระบบคาดการณ์และบริหารจัดการน้ำหลากที่ได้จัดทำมาใช้สำหรับแสดงภาพลักษณะการคาดการณ์ต่อไป

2.2 โครงสร้างของโปรแกรมด้านการจัดการข้อมูล

โปรแกรม FloodWorks ใช้ระบบฐานข้อมูล (JET SQL MSDE และ Oracle) ในการจัดการข้อมูล โดยแบ่งการจัดการข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ Master Database และ Local Root การทำงานในลักษณะที่แยกกันของ Master Database และ Local Root จะส่งผลให้การทำงานของระบบเร็วขึ้นและเนื้อที่ของหน่วยความจำในการทำงานไม่ใหญ่เกินไป

Master Database จะถูกสร้างขึ้นมาโดยใช้ FloodWorks Configuration Database Administrator เพื่อเป็นฐานข้อมูลหลักทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งจะต้องมีการ Check in เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ส่วน Local Root จะเป็น Directory ที่ถูกสร้างขึ้นโดยผู้ใช้งาน (ด้วยวิธีปกติ) เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลต่างๆ จากฐานข้อมูลหลักที่ทำการ Check out ออกมาเพื่อนำมาแก้ไขหรือปรับปรุง อนึ่ง ในการใช้งานโปรแกรม การแก้ไขหรือสำเนา (copy) เพิ่มข้อมูล (file) จะต้องกระทำผ่าน FloodWorks Configuration Database Administrator เท่านั้น เนื่องจากข้อมูลต่างๆ จะเกี่ยวกับโยงกับระบบฐานข้อมูลที่ได้จัดสร้างขึ้น



ภาพผนวกที่ 6 โครงสร้างการจัดการข้อมูลของโปรแกรม FloodWorks

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นายสุทธิพงษ์ ฉลวย
เกิดวันที่	26 พฤศจิกายน 2525
สถานที่เกิด	เขตดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมดินและน้ำ) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (พ.ศ.2547)
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรการเกษตรปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม