



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

แบบจำลองน้ำท่วมขนาดใหญ่ และระบบเตือนภัยแบบตัดสินใจอัตโนมัติ
Hat Yai Flood Model and Automated Decision-Making Flood
Warning System

คณะนักวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนนท์ ชูอุปการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2558 รหัสโครงการ ENG580287M

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน (ทุนหมายเลข ENG580287M) ขอขอบคุณคณะกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำ จังหวัดสงขลา และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ โครงการชลประทานสงขลา สำนักชลประทานที่ 16 สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 8 ศูนย์อุตุวิทยามิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคใต้ สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จังหวัดสงขลา และเทศบาลนครหาดใหญ่ ที่สนับสนุนข้อมูลในการศึกษา ขอขอบคุณ ดร.สมชาย ชนวัฒนา ผู้เชี่ยวชาญด้านแบบจำลองแหล่งน้ำและชายฝั่งของ DHI ประจำประเทศไทย ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำการใช้โปรแกรมในการพัฒนาแบบจำลอง ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วยสนับสนุนสถานที่และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณคุณนันทิยา อินธนู คุณฐิตินันท์ อินธนู คุณสุดา สุวรรณชาติรี และคุณณัชชา แซ่เจ็็น นักวิจัยศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ ที่ร่วมกันดำเนินงานวิจัยจนแล้วเสร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี

บทคัดย่อ

ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาเป็นพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยขึ้นบ่อยครั้งโดยเฉพาะในพื้นที่เมืองหาดใหญ่ สร้างความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนรวมทั้งความเสียหายทางด้านการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจสร้างความเสียหายในระดับหมื่นล้านบาท โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมหาดใหญ่และพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมแบบตัดสินใจอัตโนมัติ ซึ่งเมื่อถูกนำไปใช้จะมีประสิทธิภาพจะสามารถลดความเสียหายของเมืองหาดใหญ่จากการเกิดน้ำท่วมได้ ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า แบบจำลองสภาพการไหล แบบจำลองน้ำท่วม พบว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือ (R^2) ในช่วง 0.854-0.919 มีค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning (n) ของคลองอุตะเถาและคลอง ร. 1 เท่ากับ 0.035 และ 0.020 ตามลำดับ พื้นที่น้ำท่วมของการเกิดน้ำท่วมปี 2553 ซึ่งมีคาบการเกิดซ้ำ 30 ปี จากแบบจำลองสอดคล้องกับพื้นที่น้ำท่วมจริงที่มีการศึกษาไว้ถึง 91.08% ผลการพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของเมืองหาดใหญ่พบว่าร้อยละ 60 ของพื้นที่เขตเทศบาลนครหาดใหญ่มีระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วมสูง ผลการพัฒนา ระบบเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ ได้มีการพัฒนาให้มีการระบบตัดสินใจอัตโนมัติและแสดงผลผ่านเว็บไซต์ของศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ (www.nadrec.psu.ac.th) โดยมีการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า โดยสามารถพยากรณ์ระดับน้ำที่จะทำให้เกิดน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ได้ล่วงหน้า 16 ชั่วโมง

Abstract

Flood events commonly take place in the U-Tapao River Watershed, particularly in Hat Yai city. The events have caused significant property damage and loss of life. Tens of billions of baht were estimated as cost of damages on tourism industries and other economic sectors. Objective of this project was to develop a flood model and an automated decision-making flood warning system. The developed warning system is believed to be able to decrease flood damage if it is implemented effectively. Results from rainfall-runoff, hydrodynamic, and flood models show that the models have coefficient of determinations ranging from 0.854 to 0.919. The Manning coefficients of the U-Tapao River and Diversion canal 1 are 0.035 and 0.02, respectively. Simulated flooded area for the 2010 flood which had return period of 30 years, corresponds to 91.08% of the actual flood inundation area reported in literature. Results from Hat Yai flood risk maps illustrate that 60 percent of Hat Yai municipal area is designated as high flood risk. An automated decision-making flood warning system was developed and can be accessed publicly via Southern Natural Disaster Research Center website (www.nedrec.psu.ac.th). The system is equipped with river stage forecast capability which 16-hour early warning can be automatically made prior to the occurrence of the actual flood.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

รายการตาราง

รายการภาพประกอบ

บทที่

1	บทนำ	1-1
1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-1
1.2	วัตถุประสงค์	1-2
1.3	ขอบเขตของโครงการวิจัย	1-2
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-2
2	การตรวจเอกสาร	2-1
2.1	ข้อมูลทั่วไปพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา	2-1
2.1.1	ที่ตั้งและขอบเขต	2-1
2.1.2	ลักษณะทางภูมิประเทศ	2-1
2.1.3	ลักษณะทางภูมิอากาศ	2-4
2.1.4	ลักษณะทางธรณีวิทยา	2-4
2.1.5	ลักษณะทางอุทกวิทยา	2-4
2.2	สภาพการไหลของคลองอู่ตะเภาและประวัติการเกิดน้ำท่วมคลองอู่ตะเภา	2-7
2.2.1	สภาพการไหลของคลองอู่ตะเภา	2-7
2.2.2	ประวัติการเกิดน้ำท่วมคลองอู่ตะเภา	2-9
2.3	แบบจำลอง MIKE 11	2-9
2.3.1	แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	2-10
2.3.2	แบบจำลอง NAM model	2-10
2.3.3	แบบจำลองสภาพการไหล	2-12
2.3.4	การเปรียบเทียบแบบจำลอง	2-15
2.4	แบบจำลองน้ำท่วม MIKE Flood	2-16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.5 แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม	2-17
2.5.1 แผนที่เสี่ยงภัย	2-17
2.5.2 แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม	2-18
2.6 ระบบเตือนภัยน้ำท่วม	2-19
2.6.1 การแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมล่วงหน้า	2-19
2.6.2 ระบบเตือนภัยน้ำท่วม	2-19
2.6.3 การพยากรณ์น้ำท่วม	2-20
2.7 โครงการระบบเตือนภัยน้ำท่วมในประเทศและต่างประเทศ	2-23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-24
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	3-1
3.1 จัดทำ รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และออกสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล	3-1
3.2 การพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	3-3
3.3 การพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล	3-4
3.4 การพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม	3-4
3.5 การพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม	3-5
3.6 การพัฒนาระบบเตือนภัยแบบตัดสินใจอัตโนมัติ	3-5
4 ผลการดำเนินงานวิจัย	4-1
4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	4-1
4.1.1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน	4-1
4.1.2 ข้อมูลปริมาณการคายระเหย	4-1
4.1.3 ข้อมูลระดับน้ำ	4-4
4.1.4 ข้อมูลอัตราการไหล	4-4
4.1.5 ข้อมูลหน้าตัดลำน้ำ	4-5
4.1.6 ข้อมูลแผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตลำน้ำ และที่ตั้งของสถานีโทรมาตร	4-11
4.1.7 ข้อมูลภูมิประเทศเชิงตัวเลข (DEM)	4-13

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2 ผลการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	4-13
4.2.1 การนำเข้าสู่ข้อมูลสำหรับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	4-13
4.2.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	4-17
4.2.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	4-17
4.3 ผลการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล	4-19
4.3.1 การนำเข้าสู่ข้อมูลสำหรับแบบจำลองสภาพการไหล	4-19
4.3.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการไหล	4-21
4.3.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	4-22
4.4 ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม	4-23
4.4.1 การเตรียมแบบจำลอง MIKE 21HD	4-23
4.4.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมและการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	4-25
4.5 ผลการจัดทำแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม	4-31
4.6 ผลการพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ	4-42
4.6.1 เงื่อนไขการเตือนภัยน้ำท่วมของคณะกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำจังหวัดสงขลา	4-42
4.6.2 ระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติเมืองหาดใหญ่	4-45
4.6.3 แบบจำลองการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า	4-48
5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	5-1
เอกสารอ้างอิง	
ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	
ภาคผนวก	

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	รายละเอียดการเกิดอุทกภัยในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ (ทองเปลว, 2554)	2-8
2.2	สัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องลำนํ้าของทางนํ้าเปิด (CHOW, 1959)	2-15
3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	3-3
4.1	ข้อมูลหน้าตัดของลำนํ้าของคลองอุ้ตะเภาที่บริเวณต้นนํ้าพื้นที่อำเภอสะเดา	4-6
4.2	ข้อมูลหน้าตัดของลำนํ้าของคลองอุ้ตะเภาที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก้อง (X.173A)	4-7
4.3	ข้อมูลหน้าตัดของลำนํ้าของคลองอุ้ตะเภาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)	4-8
4.4	ข้อมูลหน้าตัดของลำนํ้าของคลองอุ้ตะเภาที่สถานีโทรมาตรบ้านหาดใหญ่ใน (X.44)	4-9
4.5	ข้อมูลหน้าตัดของลำนํ้าของคลองอุ้ตะเภาที่บริเวณปลายนํ้าพื้นที่บ้านแหลมโพธิ์	4-10
4.6	ข้อมูลหน้าตัดของลำนํ้าของคลองระบายนํ้าที่ 1 (ร.1)	4-11
4.7	ค่าพารามิเตอร์ของ NAM MODEL ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง	4-17
4.8	การกำหนดค่าในแบบจำลอง MIKE21HD	4-24
4.9	การกำหนดค่าในแบบจำลองนํ้าท่วม	4-27
4.10	คาบการเกิดซ้ำอัตราการใช้สูงสุดที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา	4-31
4.11	การกำหนดเวลาในการพยากรณ์ (Time of Forecast, TOF) เวลาเริ่มคำนวณ (Start simulation) และเวลาสิ้นสุดการคำนวณ (End of simulation)	4-50

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 เหตุการณ์อุทกภัยในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ใน ปี พ.ศ. 2553	1-2
2.1 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา	2-2
2.2 แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา	2-3
2.3 แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา	2-5
2.4 แผนที่แสดงสภาพอุทกวิทยาพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา	2-6
2.5 สถานีตรวจวัด บันทึกข้อมูลระดับน้ำ และปริมาณน้ำท่าของคลองอู่ตะเภา (ทองเปลว, 2554)	2-7
2.6 แผนที่แสดงพื้นที่อุทกภัยปี พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2553 (ทองเปลว, 2554)	2-8
2.7 เหตุการณ์น้ำท่วมพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ใกล้เคียงในปี พ.ศ. 2531	2-9
2.8 ผลการจำลองด้วย HD Model โดยแสดงผลในรูปแบบของระดับน้ำตามเวลา	2-13
2.9 ลักษณะการเชื่อมต่อของแบบจำลอง 1 มิติ และ 2 มิติ ในแบบจำลอง MIKE Flood (MIKE Flood User Manual, 2007)	2-16
2.10 การจำลองลักษณะการไหลแบบสองมิติของแบบจำลอง MIKE 21 (MIKE 21 HD User Manual, 2007)	2-17
2.11 ลักษณะการแบ่งระดับความเสี่ยงของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม (German Working Group of the Federal States on Water Issues, 2006)	2-19
2.12 แผนผังแนวคิดระบบเตือนภัยน้ำท่วมประเทศออสเตรเลีย (Australian Government, 2009)	2-21
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำในการพยากรณ์และระยะเวลาในการพยากรณ์ล่วงหน้า (Wright, 2001)	2-22
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3-2
4.1 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา	4-2
4.2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2554 และเดือน มกราคม พ.ศ. 2555	4-3
4.3 ปริมาณการคายเหยของน้ำเฉลี่ยรายวันของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2554 และเดือน มกราคม พ.ศ. 2555	4-3
4.4 ระดับน้ำรายชั่วโมงที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2555 (กรมชลประทาน)	4-4

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.5	อัตราการไหลรายชั่วโมงสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2555 (กรมชลประทาน)	4-5
4.6	ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุต๊ะเกาที่บริเวณต้นน้ำพื้นที่อำเภอสะเตา	4-6
4.7	ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุต๊ะเกาที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก้อง (X.173A)	4-7
4.8	ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุต๊ะเกาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)	4-8
4.9	ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุต๊ะเกาที่สถานีโทรมาตรบ้านหาดใหญ่ใน (X.44)	4-9
4.10	ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุต๊ะเกาที่บริเวณปลายน้ำพื้นที่บ้านแหลมโพธิ์	4-10
4.11	ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองระบายน้ำที่ 1 (ร.1)	4-11
4.12	แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตลำน้ำและที่ตั้งของสถานีโทรมาตร ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา	4-12
4.13	ข้อมูลระดับเชิงตัวเลข (DEM) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา	4-14
4.14	การกำหนดพื้นที่รับน้ำในการจำลองการเกิดน้ำท่า	4-15
4.15	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนและพื้นที่ไทเสนเพื่อคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย	4-16
4.16	การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของ NAM model	4-16
4.17	อัตราการไหลรายชั่วโมงในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ที่สถานีบ้านบางศาลา เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง	4-18
4.18	อัตราการไหลรายชั่วโมงในเดือนพฤศจิกายน ถึงธันวาคม พ.ศ. 2556 ที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง	4-18
4.19	การนำเข้าข้อมูลลักษณะหน้าตัดลำน้ำ a) คลองอุต๊ะเกา b) คลองระบายน้ำสายที่ 1	4-20
4.20	โครงข่ายลำน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำ	4-21
4.21	กราฟความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับเวลาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดได้จริง	4-22
4.22	กราฟความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับเวลาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา ช่วงวันที่ 20 พ.ย. ถึง 10 ธ.ค. ปี พ.ศ. 2556 เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดได้จริง	4-23
4.23	ข้อมูล Digital Elevation Model (DEM) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา	4-25

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	การเชื่อมต่อข้อมูลคลองอุต๊ะเถาและคลอง ร.1 (MIKE 11HD) เข้ากับไฟล์ข้อมูลค่าระดับ เชิงตัวเลข (MIKE 21HD) ในแบบจำลองน้ำท่วม MIKE Flood	4-26
4.25	ปริมาณน้ำฝนในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2553	4-26
4.26	ผลการจำลองการเกิดน้ำท่วมในในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม ถึง 2 พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2553	4-28
4.27	พื้นที่น้ำท่วมใน ปี พ.ศ. 2553 (ทองเปลาว และสุเทพ, 2554)	4-29
4.28	พื้นที่น้ำท่วมใน ปี พ.ศ. 2553 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงของทองเปลาวและสุเทพ (2554) และผลการจำลองด้วยแบบจำลองน้ำท่วมในการศึกษานี้	4-30
4.29	การจำแนกระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วมพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา	4-32
4.30	ระดับน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา ที่คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี	4-33
4.31	ระดับน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา ที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี	4-34
4.32	ระดับน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา ที่คาบการเกิดซ้ำ 100 ปี	4-35
4.33	ระดับน้ำท่วมในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง ที่คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี	4-36
4.34	ระดับน้ำท่วมในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง ที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี	4-37
4.35	ระดับน้ำท่วมในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง ที่คาบการเกิดซ้ำ 100 ปี	4-38
4.36	แผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับ พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา	4-40
4.37	แผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับ พื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง	4-41
4.38	ขั้นตอนการแจ้งเตือนให้เฝ้าระวัง (ธงเหลือง) ของลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา	4-43
4.39	ขั้นตอนการเตือนภัยน้ำท่วม (ธงแดง)ของลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา	4-44
4.40	ขั้นตอนการยกเลิกการเตือนภัยน้ำท่วม (ลดธงแดง) ของลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา	4-45
4.41	แผนผังขั้นตอนการเตือนภัยแบบอัตโนมัติ เมืองหาดใหญ่	4-46
4.42	ข้อมูลตรวจวัดที่ส่งยังระบบแม่ข่าย (Sever) จากนั้นแสดงผลบน websiteทุกๆ 15 นาที	4-47
4.43	ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยบริเวณพื้นที่เหนือน้ำ	4-48
4.44	เวลาในการพยากรณ์ (Time of Forecast, TOF) ช่วงเวลาก่อนการพยากรณ์ (Hindcast Period) และ ช่วงเวลาการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า (Forecast Period)	4-48
4.45	ผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าด้วยแบบจำลองทั้ง 9 ครั้ง เทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริง	4-51

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญ

พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาเป็นพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยขึ้นบ่อยครั้ง ประวัติการเกิดน้ำท่วมที่มีการบันทึกไว้ตั้งแต่ พ.ศ. 2485 ถึง พ.ศ. 2530 พบว่า เกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาทั้งสิ้น 16 ครั้ง และในปี พ.ศ. 2531 พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2553 เกิดน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกา โดยเฉพาะในพื้นที่เมืองหาดใหญ่ (รูปที่ 1) สร้างความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนรวมทั้งความเสียหายทางด้านการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจสร้างความเสียหายในระดับหมื่นล้านบาท

สาเหตุที่ทำให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่เมืองหาดใหญ่มีปัจจัยอันเนื่องมาจากการไหลผ่านของคลองอุตะเกาซึ่งเป็นคลองสายหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำนี้ ประกอบกับลักษณะภูมิประเทศซึ่งเป็นที่ราบลุ่ม เมื่อมีปริมาณน้ำที่ไหลมามากเกินกว่าที่คลองจะระบายได้จึงทำให้เกิดน้ำล้นตลิ่งท่วมในพื้นที่ริมคลองและแผ่กระจายออกไปยังพื้นที่ด้านข้าง แม้ในปัจจุบันมีการใช้มาตรการทางด้านโครงสร้างเช่น คลองระบายน้ำ คันกั้นน้ำตามส่วนต่างๆ หลายพื้นที่ แต่ก็มีโอกาสเกิดปัญหาน้ำท่วมได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จึงยังคงก่อให้เกิดความเสียหายอยู่ จึงต้องมีมาตรการอื่นเพื่อช่วยในการรับมือและบรรเทาอุทกภัย

ระบบเตือนภัยน้ำท่วมเป็นอีกมาตรการที่ช่วยในป้องกันและบรรเทาความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งระบบเตือนภัยน้ำท่วมนั้นเป็นมาตรการในการแก้ปัญหาที่ท่วมแบบไม่ใช่โครงสร้าง โดยใช้การประเมินสถานการณ์น้ำเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจในการเตือนภัยน้ำท่วมล่วงหน้า เพื่อให้ประชาชนได้เฝ้าระวังเตรียมรับมือ และอพยพ อย่างไรก็ตามระบบเตือนภัยน้ำท่วมนั้นต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

ด้วยเหตุนี้โครงการนี้จึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลองสภาพน้ำฝนน้ำท่าพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำในคลองอุตะเกา และแบบจำลองน้ำท่วมพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกา เพื่อศึกษาสภาพน้ำฝนน้ำท่า สภาพการไหล พื้นที่และระดับความลึกของการเกิดน้ำท่วม จากนั้นทำการพัฒนาระบบเตือนภัยแบบตัดสินใจอัตโนมัติในพื้นที่เมืองหาดใหญ่ ซึ่งนอกจากการมีระบบเตือนภัยน้ำท่วมมีประสิทธิภาพ และเตือนภัยได้อย่างรวดเร็วแล้ว ในการศึกษาวิจัยยังได้พัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับเผยแพร่สู่ประชาชนผ่านเว็บไซต์ของศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ ร่วมกับคณะอนุกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำ จังหวัดสงขลา



รูปที่ 1.1 เหตุการณ์อุทกภัยในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ในปี พ.ศ. 2553

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา สำหรับการศึกษาการเกิดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา
- 2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamics Model) สำหรับการศึกษาสภาพการไหลในคลองอู่ตะเภา
- 2.3 เพื่อพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม (Flood Model) พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาสำหรับศึกษาสภาพการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา
- 2.4 เพื่อจัดทำแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่
- 2.5 เพื่อพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมแบบตัดสินใจอัตโนมัติสำหรับพื้นที่เมืองหาดใหญ่

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในการศึกษานี้ได้มีการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า แบบจำลองการไหลในลำน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วม สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา คลองอู่ตะเภาและคลอง ร.1 ซึ่งเป็นคลองสายหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเท่านั้น ไม่ได้ทำการจำลองลุ่มน้ำย่อยอื่นๆ ในลุ่มน้ำ เนื่องจากไม่มีข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำ และระบบการเตือนภัยอัตโนมัติได้พัฒนาเฉพาะสำหรับพื้นที่เมืองหาดใหญ่เท่านั้น

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 มีแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่าสำหรับประเมินการเกิดน้ำท่าเมื่อมีฝนตกในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา
- 4.2 มีแบบจำลองสภาพการไหลสำหรับการประเมินระดับน้ำและสภาพการไหลในคลองอู่ตะเภา
- 4.3 มีแบบจำลองน้ำท่วมเพื่อประเมินสภาพการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา
- 4.4 มีแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาและเมืองหาดใหญ่
- 4.5 มีแบบจำลองคาดการณ์ระดับน้ำล่วงหน้า เพื่อประกอบการตัดสินใจในการแจ้งเตือนภัย

4.6 มีระบบการเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเภาคองอุต๊ะเภา สามารถนำไปใช้ในการประเมินการเกิดน้ำท่วมของเมืองหาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ของคณะอนุกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำของจังหวัดสงขลา

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

การตรวจเอกสารในการศึกษาและดำเนินงานโครงการแบบจำลองน้ำท่วมขนาดใหญ่และระบบเตือนภัยแบบตัดสินใจอัตโนมัติ ประกอบด้วยเนื้อหา 8 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ข้อมูลทั่วไปพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา 2) สภาพการไหลของคลองอุตตะเกาและประวัติการเกิดน้ำท่วมลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา 3) แบบจำลอง MIKE 11 4) แบบจำลอง MIKE Flood 5) แผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม 6) ระบบเตือนภัยน้ำท่วม 7) โครงการระบบเตือนภัยน้ำท่วมในประเทศและต่างประเทศ และ 8) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดในแต่ละส่วน มีดังนี้

2.1 ข้อมูลทั่วไปพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา

2.1.1 ที่ตั้งและขอบเขต

ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาตั้งอยู่ระหว่างพิกัดเหนือ 718000 ถึง 788000 และพิกัดตะวันออก 630000 ถึง 682500 ครอบคลุมพื้นที่ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอสะเดา อำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอบางกล่ำ และอำเภอหาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีพื้นที่รวมทั้งสิ้นประมาณ 2,392 ตารางกิโลเมตร และมีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	อำเภอรัตภูมิ อำเภอควนเนียง และทะเลสาบสงขลา
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ประเทศมาเลเซีย
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	อำเภอนาทวี อำเภอจะนะ และอำเภอเมืองสงขลา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	แนวเทือกเขาบรรทัด และจังหวัดสตูล

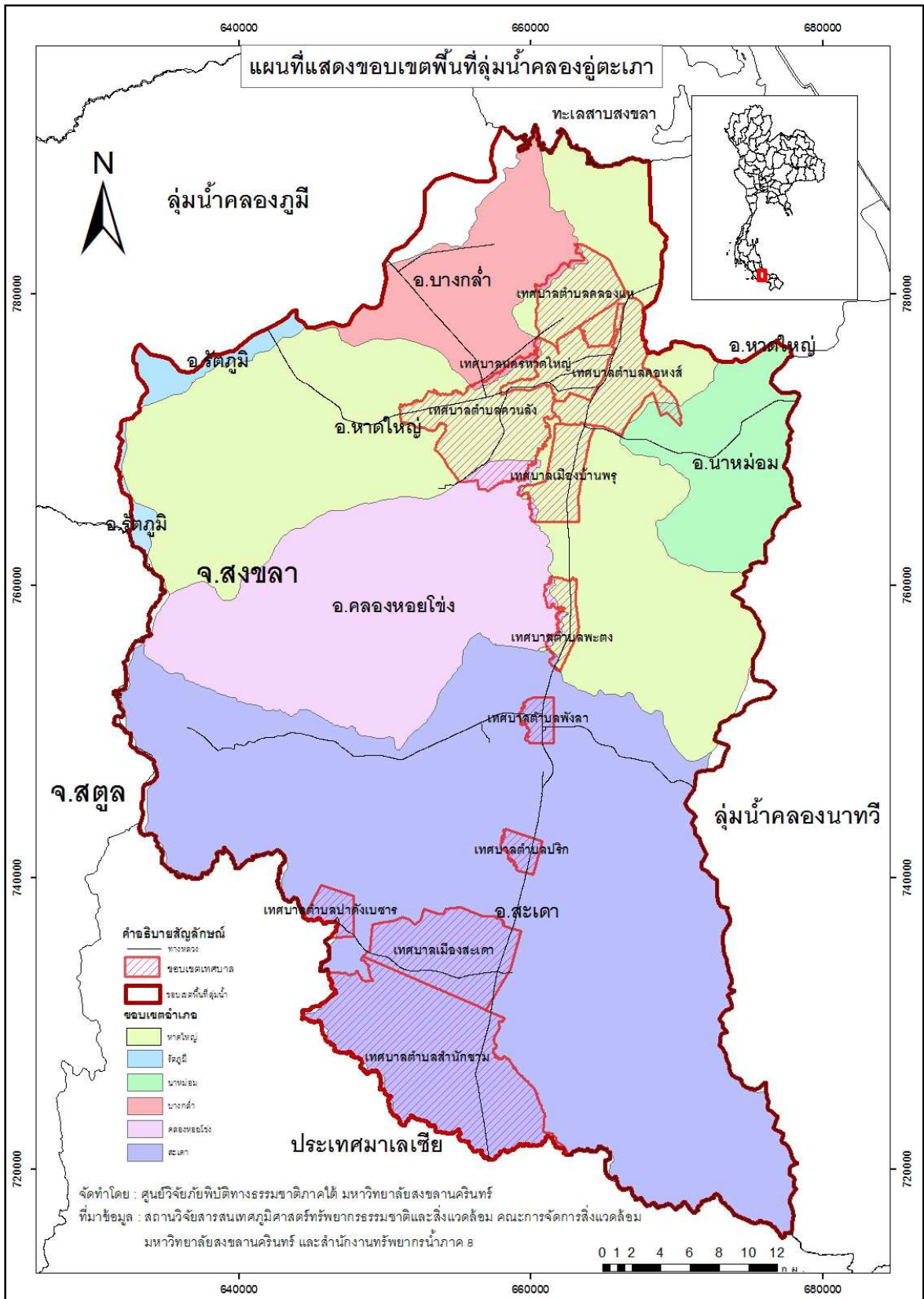
2.1.2 ลักษณะทางภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกามีลักษณะภูมิประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ลักษณะพื้นที่แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะหลัก คือ พื้นที่ภูเขา พื้นที่ราบลูกคลื่น และพื้นที่ราบ

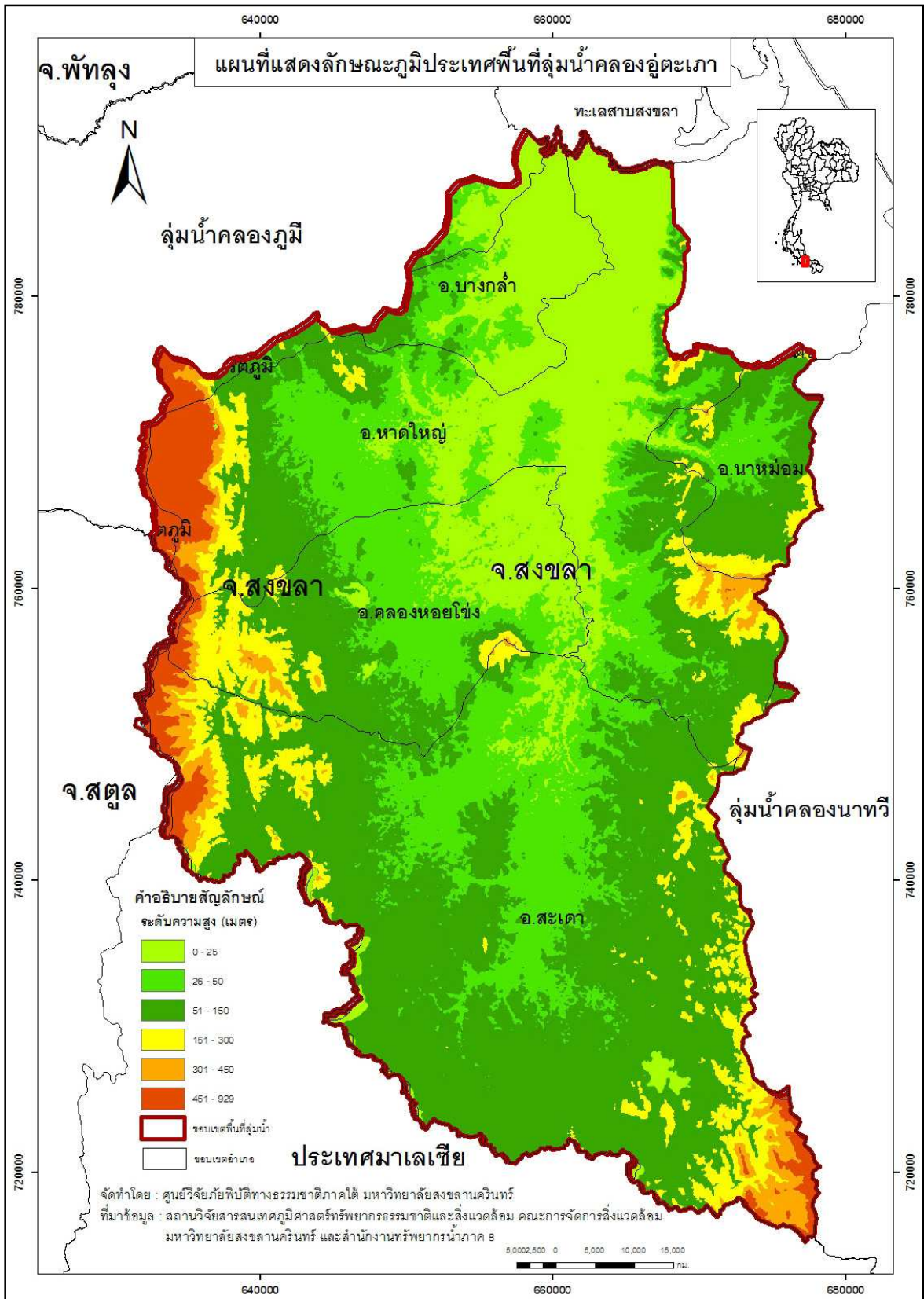
1) พื้นที่ภูเขาทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาบรรทัด ส่วนทางทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศใต้เป็นส่วนหนึ่งของแนวเทือกเขาสันกาลาศิรี พื้นที่ส่วนที่เป็นภูเขานี้มีความสูงลดหลั่นกันไปจากระดับน้ำทะเลปานกลาง พื้นที่บริเวณนี้เป็นแหล่งกำเนิดต้นน้ำลำธารหลายสายที่ไหลลงสู่คลองอุตตะเกา

2) พื้นที่ราบลูกคลื่น อยู่ถัดจากพื้นที่ภูเขาลงมา มีลักษณะเป็นเนินเขาลูกคลื่นลอนลาดและลอนชันสลับกันไป กระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่ตอนกลางถึงตอนใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา

3) พื้นที่ราบทางทิศเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ ส่วนใหญ่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำอุตตะเกาและลำน้ำสาขา เป็นที่ตั้งของชุมชนขนาดใหญ่ และพื้นที่ทำนาข้าว



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกา



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

2.1.3 ลักษณะทางภูมิอากาศ

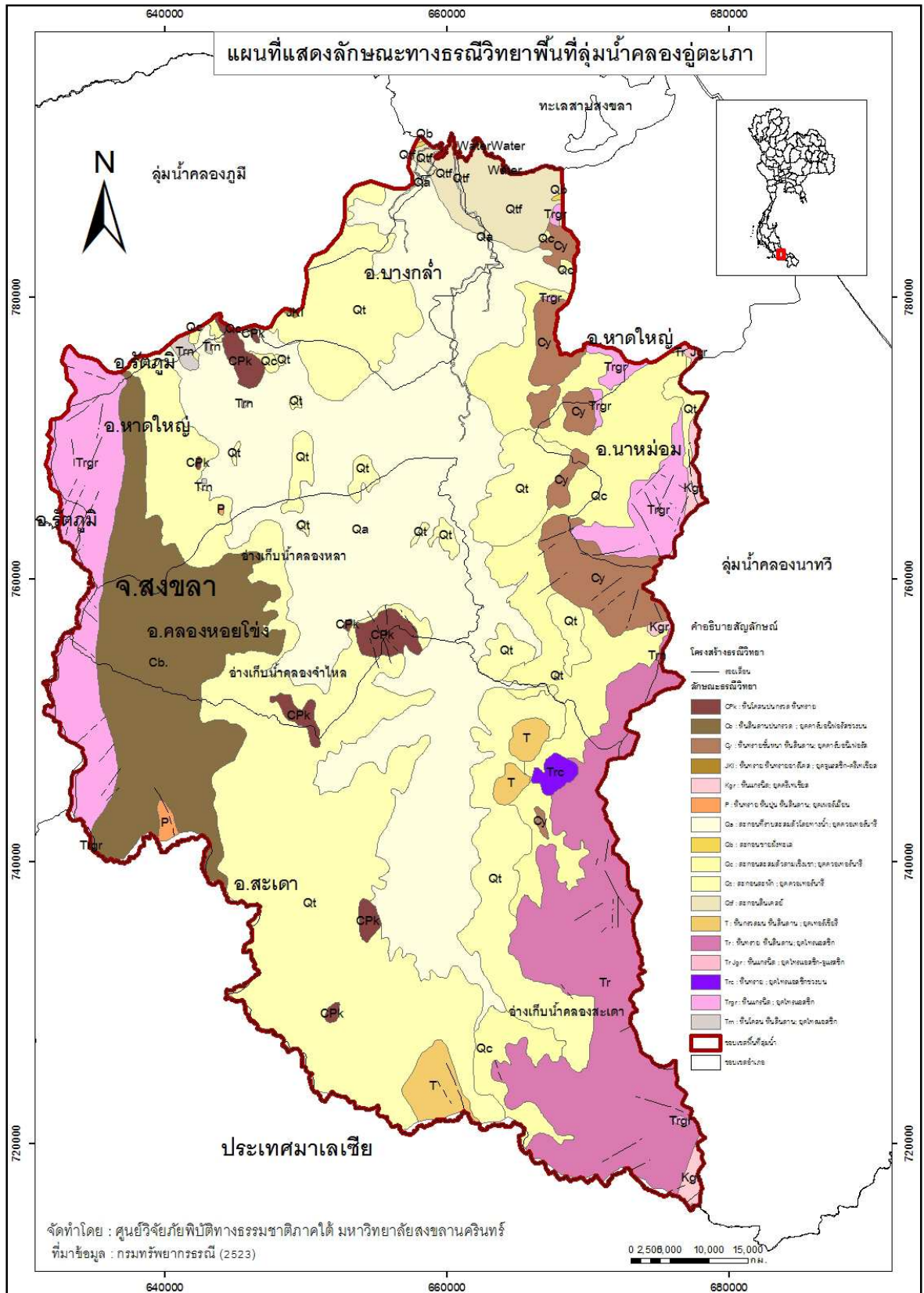
ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบมรสุมเขตร้อน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้มีฝนตกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ทำให้มีฝนในช่วงเดือนตุลาคมถึงมกราคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนตกมากที่สุด เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน เป็นช่วงที่มีอากาศร้อนและฝนตกในปริมาณน้อย จากข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัยซึ่งทำการตรวจวัด ณ สถานีตรวจอากาศท่าอากาศยานหาดใหญ่ในคาบ 30 ปี พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในรอบปีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และอยู่ในช่วง 25-28 องศาเซลเซียส โดยฝนตกมากที่สุดจะอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 585 มิลลิเมตร

2.1.4 ลักษณะทางธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยามีบริเวณลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาจำแนกลักษณะของหิน 3 ประเภท (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) คือ หินชั้น (Sedimentary rocks) หินแปร (Metamorphic rocks) และ หินแกรนิต (Igneous rocks) พบว่าส่วนใหญ่เป็นหินชั้นหินแปรในยุคควาเทอร์นารี (Quaternary : Qa, Qt) ประกอบด้วยตะกอนน้ำพา และตะกอนตะกัฟลุ่มน้ำ พบในบริเวณตั้งแต่ที่ราบลุ่ม ที่ราบ ไปจนถึงที่ลูกคลื่นลอนลาด ทำให้มีลักษณะเป็นพื้นที่กว้างในแนวยาวทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งเกิดจากตะกอน กรวด ทราย ที่ถูกพัดพาทับถมมากับลำน้ำในคลองอู่ตะเภา และลำคลองสาขา หินที่พบเป็นประเภท กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินแลง นอกจากนี้ยังพบหินในยุครีคาร์บอนิ-เฟอรัส (Carboniferous : C, Cb, Cy) ซึ่งประกอบไปด้วย หินดินดาน หินทราย หินชนวน หินฮอร์นเฟล และหินควอร์ตไซต์ เป็นต้น พบมากบริเวณพื้นที่ด้านทิศ ตะวันออกและตะวันตกถัดจากพื้นที่ตะกอนตะกัฟลุ่มน้ำ ส่วนบริเวณที่เป็นหินในยุคไทรแอสสิก (Triassic : Tr) พบบริเวณเทือกเขาน้ำค้าง ประกอบด้วยหินทราย หินดินดาน และหินกรวดมน ดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.1.5 ลักษณะทางอุทกวิทยา

ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภามีคลองอู่ตะเภาเป็นลำน้ำสายหลักยาวประมาณ 102 กิโลเมตร มีความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำ (Average Slope) ประมาณ 1:10,000 ถึง 1:200 ไหลผ่านกึ่งกลางของกลุ่มน้ำในแนวเหนือใต้ โดยเริ่มต้นที่อำเภอสะเดา ไหลผ่านอำเภอหาดใหญ่ และไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา ที่บ้านแหลมโพธิ์ มีลำน้ำสาขาย่อยหลายสายไหลมาเชื่อมบรรจบกัน ได้แก่ คลองตง คลองปอม คลองพังลา คลองรำ คลองหวะ คลองเล คลองวาด คลองตำ คลองหลา คลองจำไทร คลองหอยโข่ง คลองสะเดา เป็นต้น (รูปที่ 2.4) ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีอ่างเก็บน้ำขนาดกลางตั้งอยู่ 3 แห่ง ได้แก่ 1) อ่างเก็บน้ำคลองสะเดา ตั้งอยู่ที่บ้านห้วยคู ตำบลสำนักแต้ว อำเภอสะเดา มีความจุ 56.74 ล้านลูกบาศก์เมตร 2) อ่างเก็บน้ำ คลองหลา ตั้งอยู่ที่บ้านต้นสำน ตำบลคลองหลา อำเภอคลองหอยโข่ง มีความจุ 21.42 ล้านลูกบาศก์เมตร 3) อ่างเก็บน้ำคลองจำไทร ตั้งอยู่ที่บ้านทุ่งยุง ตำบลคลองหอยโข่ง อำเภอคลองหอยโข่ง มีความจุ 6.00 ล้าน ลูกบาศก์เมตร โดยพื้นที่รับน้ำของอ่างเก็บน้ำทั้ง 3 แห่งนี้ รวม 131.15 ตร.กม. คิดเป็น 5.50 % ของพื้นที่ ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา



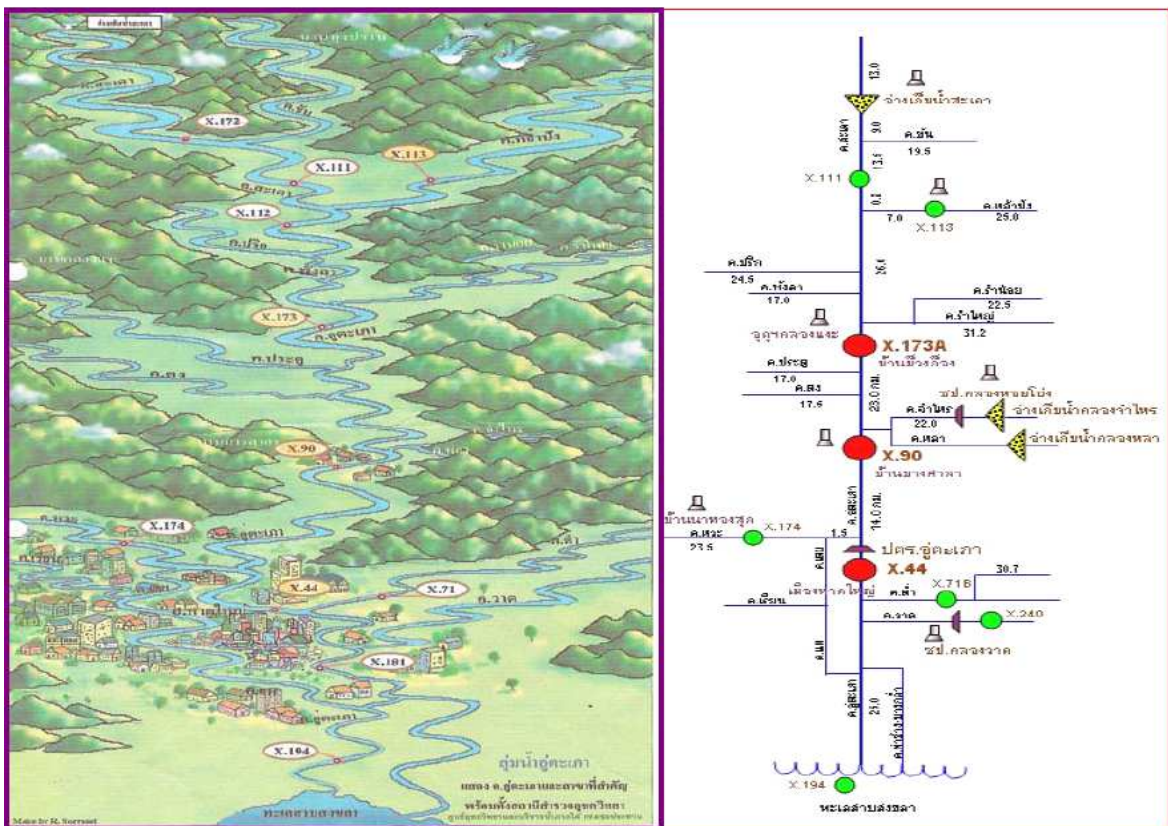
รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกา

2.2 สภาพการไหลของคลองอุต๊ะเถาและประวัติการเกิดน้ำท่วมคลองอุต๊ะเถา

รายละเอียดสภาพการไหลของคลองอุต๊ะเถาและประวัติการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา มีดังนี้

2.2.1 สภาพการไหลของคลองอุต๊ะเถา

สภาพการไหลของน้ำในคลองอุต๊ะเถามีทิศทางการไหลจากทิศใต้ไปสู่ออกสู่ทะเลสาบสงขลาที่บริเวณตำบลคูเต่า อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา คลองอุต๊ะเถามีความสามารถในการระบายน้ำสูงสุด 465 ลบ.ม./วินาที โดยตลอดแนวคลองอุต๊ะเถามีการติดตั้งสถานีตรวจวัด บันทึกข้อมูลระดับน้ำ และปริมาณน้ำท่าที่ไหลผ่านของกรมชลประทานทั้งสิ้น 3 สถานี ได้แก่ สถานีบ้านม่วงก้อง (X.173A) สถานีบ้านบางศาลา (X.90) และสถานีบ้านหาดใหญ่ใน (X.44) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สถานีตรวจวัด บันทึกข้อมูลระดับน้ำ และปริมาณน้ำท่าของคลองอุต๊ะเถา (ทองเปลว, 2554)

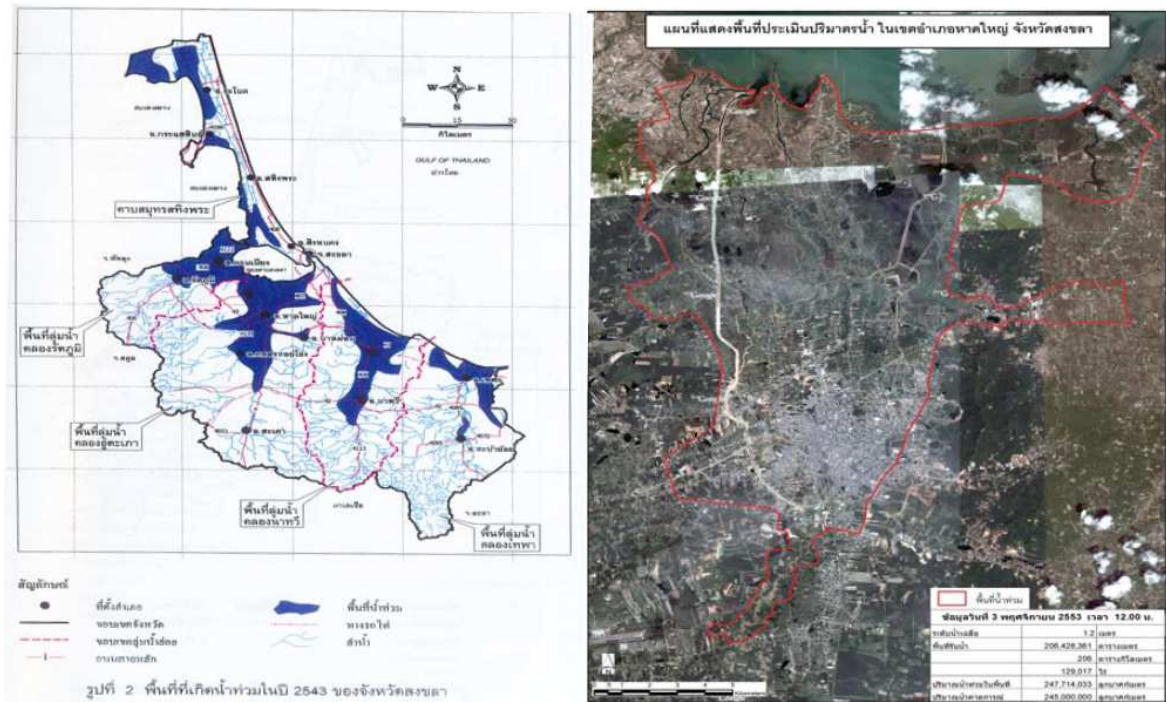
เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของอำเภอหาดใหญ่ซึ่งเป็นที่ราบลุ่มชายฝั่งและตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เป็นแอ่งกระทะและยังเป็นบริเวณจุดบรรจบของลำน้ำสาขาหลายสายของกลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา ประกอบกับสภาพภูมิประเทศที่มีปริมาณฝนตกชุก และมีการพัฒนาพื้นที่อย่างรวดเร็วจนเป็นเมืองที่มีขนาดใหญ่ ผลจากการพัฒนาจะมีสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางระบายน้ำธรรมชาติและคลองต่างๆทำให้การไหลของน้ำลงสู่ทะเลสาบสงขลาไม่สะดวกและล่าช้า ตลอดจนสูญเสียพื้นที่เก็บกักน้ำบางส่วนที่ใช้ชะลอน้ำไว้ได้

ทำให้มีปริมาณการไหลของน้ำสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้เกิดอุทกภัยครั้งใหญ่ดังเช่นในปี พ.ศ. 2531 พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2553 ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างมากมาย

จากข้อมูลการเกิดอุทกภัย พบว่าพื้นที่น้ำท่วมจะกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างขนานไปกับคลองอุต๊ะเกาทั้งสองฝั่งและจะเกิดน้ำท่วมในบริเวณชุมชนเทศบาลหลัก เช่น เทศบาลตำบลตะพง เทศบาลตำบลบ้านพรุ และเทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ รูปที่ 2.6

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดการเกิดอุทกภัยในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ (ทองเปลว, 2554)

ปี พ.ศ.	ช่วงวันที่	ปริมาณฝนสะสม สูงสุด 3 วัน (มม.)	ปริมาณการไหล สูงสุดที่สถานี X.44 (ลบ.ม./วินาที)	พื้นที่น้ำท่วม (ตร.กม.)
2531	19 – 21 พ.ย.	319.5	559	253
2543	21 – 23 พ.ย.	394.1	750	329
2553	1 – 3 พ.ย.	428.4	892	250



รูปที่ 2.6 แผนที่แสดงพื้นที่อุทกภัยปี พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2553 (ทองเปลว, 2554)

2.2.2 ประวัติการเกิดน้ำท่วมคลองอู่ตะเภา

- ปี พ.ศ. 2376 (ในรัชกาลที่ 3) น้ำท่วมใหญ่ จนท้องนาของราษฎรทำนาไม่ได้ พระยาสงขลानำความขึ้นกราบบังคมทูลพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 3) แล้วขอรับพระราชทานซื้อข้าวสารออกมาแจกจ่ายราษฎรในเมืองสงขลา 1,000 เกวียน

- ปี พ.ศ. 2459 เกิดน้ำท่วมเทศบาลนครหาดใหญ่ มีระดับสูงประมาณ 2.0 เมตร น้ำท่วมในระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม

- ปี พ.ศ. 2485 - ปี พ.ศ. 2530 รวม 16 ครั้ง เกิดน้ำท่วมในอำเภอหาดใหญ่ และพื้นที่ใกล้เคียง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม

- 22 พ.ย. 2531 เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ใกล้เคียงได้รับความเสียหายจากระดับน้ำในคลองอู่ตะเภาเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดน้ำท่วมสูงถึง 1.50 เมตร (รูปที่ 2.7) เป็นเวลาหลายวัน ความเสียหายคิดเป็นมูลค่าราว 1,000 ล้านบาท

- 22 พ.ย. 2543 เกิดน้ำท่วมในเขตเศรษฐกิจ และศูนย์การค้าของ อ.หาดใหญ่ เนื่องจากระดับน้ำในคลองอู่ตะเภาเอ่อล้นตลิ่งระดับมีความสูงถึง 2.00 เมตร ความเสียหายคิดเป็นมูลค่าสูงถึง 18,162 ล้านบาท มีผู้เสียชีวิตจำนวน 32 ราย สูญหาย 9 ราย

- 1-3 พ.ย. 2553 น้ำเริ่มท่วมบริเวณเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ระดับน้ำสูงประมาณ 1.5 เมตร อุทกภัยครั้งนี้ถือเป็นครั้งที่รุนแรงที่สุดในรอบ 100 ปี



รูปที่ 2.7 เหตุการณ์น้ำท่วมพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ใกล้เคียงในปี พ.ศ. 2531

2.3 แบบจำลอง MIKE 11

แบบจำลอง MIKE 11 พัฒนาขึ้นโดย The Danish Hydraulic Institute (DHI) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์น้ำท่วม การจำลองการไหลของน้ำ ที่เป็นการไหลใน 1 มิติ (One dimension) และเป็นการไหลที่ไม่คงตัว (Unsteady flow) สามารถจำลองการเกิดน้ำท่าเมื่อมีฝนตก ชลศาสตร์ของแม่น้ำ การเคลื่อนย้ายตะกอนและคุณภาพน้ำ ส่วนที่เป็นการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมในแบบจำลอง MIKE 11 จะประกอบไปด้วย 3 module คือ Rainfall-Runoff Model (NAM-Module),

Hydrodynamic module (HD - module) และ Flood forecasting module (FF module) โดยรายละเอียดของ module ทั้งสาม มีดังนี้

2.3.1 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า โดยพิจารณาบนพื้นฐานความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สภาพอุทกนิยามวิทยา สภาพอุทกวิทยา และลักษณะการใช้ที่ดิน เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลอง น้ำฝน-น้ำท่าต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น แบบจำลอง SSARR, STANFORD WATERSHED, SACRAMENTO WATERSHED, TANK, SCS, Linear Programming, RIBAMAN (RBM-DOGGS), HEC-HMS และ NAM เป็นต้น

2.3.2 แบบจำลอง NAM model

แบบจำลอง NAM หรือ Nedbor-Afstominga Model ในภาษา Danish แปลว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Nielsen และ Hansen(1973) จาก Institute of Hydrodynamics and Hydraulics Engineering, Technical University of Denmark แบบจำลอง NAM สามารถนำมาใช้ในการจำลองกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า ต่อมาได้มีการรวมเอาแบบจำลอง NAM เข้าไปรวมไว้ในซอฟต์แวร์ MIKE 11 โดย Danish Hydrodynamic and Hydraulic Institute (DHI) เพื่อนำมาใช้ในการจำลองปริมาณน้ำท่าของการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) เพื่อใช้เป็นข้อมูลกราฟน้ำท่าสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ สำหรับแบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module; HD) ในซอฟต์แวร์ MIKE 11 (นุชนารถ, 2545)

แบบจำลอง NAM จัดอยู่ในแบบจำลองประเภทลัมพ์ (Lumped System Routing) ซึ่งมีพื้นฐานของการเฉลี่ยตามพื้นที่ (Spatial Averaging) โดยเป็นการเฉลี่ยแบบทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่พิจารณา โดยกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยเป็นหนึ่งหน่วย ในการประเมินกราฟน้ำท่าโดยแบบจำลอง NAM นั้น การคำนวณกราฟน้ำท่าจะพิจารณาให้เป็นฟังก์ชันของเวลาเพียงอย่างเดียว ณ จุดที่พิจารณา ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางอุทกนิยามวิทยาและอุทกวิทยาเป็นข้อมูลนำเข้า ซึ่งประกอบด้วย 1) ข้อมูลน้ำฝน (Rainfall) 2) ปริมาณการระเหย (Evapotranspiration) และ 3) อุณหภูมิ (Temperature) สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM คือ กราฟน้ำท่า

ในการใช้งานแบบจำลอง NAM นั้น หากเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย โดยจะมีพารามิเตอร์และตัวแปรสำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นของ Parameter ต่าง ๆ จากลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำ เช่น ความลาดชันของลุ่มน้ำ ความลาดชันของแม่น้ำ ความหนาแน่นของแม่น้ำในลุ่มน้ำ ลักษณะดิน ลักษณะชั้นดิน และชนิดของพืชที่ปลูก อย่างไรก็ตาม ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ที่ถูกต้องไม่สามารถประเมินได้จากการวัดค่าลักษณะพื้นฐานทางกายภาพของดินได้โดยตรง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์เกือบทั้งหมดเป็นค่าที่ประเมินขึ้นจากประสบการณ์และข้อเท็จจริงที่ได้จากข้อมูลของลักษณะทางธรรมชาติจากการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม (an empirical nature) โดยผู้ใช้งานจะต้องทำการปรับเทียบ (Calibrate) ค่าเหล่านี้ และใน

การเปรียบเทียบแบบจำลอง ต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง เพื่อให้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลจริงมีความเข้ากันได้มากที่สุด สำหรับพารามิเตอร์แบบจำลอง NAM มีดังต่อไปนี้

1) Umax: Maximum Water Content in Surface Storage หมายถึงค่าสูงที่สุดของปริมาณน้ำที่ขังไว้บนผิวดินในลักษณะของแอ่งน้ำตื้น ๆ หรือหลุมบ่อตื้น โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 มิลลิเมตร

2) Lmax: Maximum Water Content in Root Zone Storage หมายถึงปริมาณความชื้นสูงสุดในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยมีค่าเท่ากับผลต่างของจุดอิ่มตัวของการอุ้มน้ำ (Field Capacity) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Wilting Point) ของดินคูณกับค่าความลึกใช้การของรากพืชซึ่งค่าเหล่านี้จะประมาณจากข้อมูลดิน

3) CQOF: Overland Flow Runoff Coefficient หมายถึงพารามิเตอร์ที่ใช้แบ่ง Excess Rainfall ระหว่าง Overland Flow Runoff และ Infiltration ซึ่งไม่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์นี้ได้โดยตรงจากข้อมูลดิน แต่จะสามารถประมาณความสัมพันธ์ได้คือ ถ้าลุ่มน้ำมีความลาดชันน้อยรวมทั้งมีลักษณะเป็นดินหยาบหรือดินทราย และมีชั้นดินอุ้มน้ำไว้มาก ค่า CQOF จะมีค่าต่ำถ้าดินในลุ่มน้ำเป็นดินที่มีค่าความซึมน้ำต่ำ เช่น ดินเหนียวหรือดินจะมีค่า CQOF สูง โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.90

4) CKIF: Time Constant for Interflow เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่มีความสำคัญมากนัก เนื่องจาก Interflow ไม่ใช่ตัวหลักที่ทำให้เกิด Stream flow โดย Interflow จะมีค่าลดลงเมื่อ CKIF มีค่าสูงขึ้น ค่าที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 500-1,000 ชั่วโมง

5) TOF: Root Zone Threshold Value for Overland Flow หมายถึงค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Overland Flow ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีน้ำมากและน้ำน้อยสลับกัน โดยจะเกิด Overland Flow ก็ต่อเมื่อความชื้นในเขตรากพืช (Root Zone) ต้องมากกว่าค่า TOF ค่านี้มีผลอย่างมากต่อเวลาเริ่มต้นของการเกิด Overland Flow หลังจากช่วงน้ำน้อย ปกติจะใช้ค่า 0-70 เปอร์เซ็นต์ของ Lmax

6) TIF: Root Zone Threshold Value for Interflow หมายถึงค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Interflow มีความหมายทำนองเดียวกับ TOF มีความสำคัญไม่มากนัก ส่วนมากจะกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์

7) TG: Root Zone Threshold Value for Groundwater Recharge หมายถึงค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Groundwater Recharge มีความหมายทำนองเดียวกับ TOF เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

8) CK1, CK2: Time Constant for Routing Interflow and Overland Flow หมายถึงพารามิเตอร์เพื่อการอธิบายรูปร่างของกราฟน้ำท่า สำหรับ Overland Flow, Interflow และระยะเวลาการเกิด Peak โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ทำให้เหลือพารามิเตอร์ระหว่างการเปรียบเทียบแบบจำลองเพียงตัวเดียว

9) Sy: Specific Yield หมายถึง ค่า Specific Yield ของแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดินอาจจะกำหนดจากข้อมูลอุทกธรณีวิทยา หรือ Pumping Test โดยทั่วไปอาจประเมินจากชนิดดินสำหรับดินเหนียวมีค่า 1-10 เปอร์เซ็นต์ ดินทรายมีค่า 10-30 เปอร์เซ็นต์

10) CKBF: Time Constant for Routing Base flow หมายถึงค่าที่ประมาณจาก Base flow Recession Curve ในช่วงเริ่มต้นของฤดูแล้ง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 500-5,000 ชั่วโมง

11) GWLBF0: Maximum Groundwater Depth Causing Base flow หมายถึงค่าความลึกมีหน่วยเป็นเมตร แปรผันอยู่ระหว่างค่าระดับผิวดินเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำกับระดับน้ำต่ำสุดที่จุดไหลออกสู่ลำน้ำ ที่ระดับน้ำใต้ดินเกือบถึงระดับผิวดินจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ GWLBF0 มีค่า 20 เมตร และค่า Sy ใช้ค่า 0.5 โดยมีข้อกำหนดว่าระดับน้ำใต้ดินต้องอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินเฉลี่ย เพราะฉะนั้นค่า Base flow คำนวณได้จากค่าเริ่มต้นค่านี้

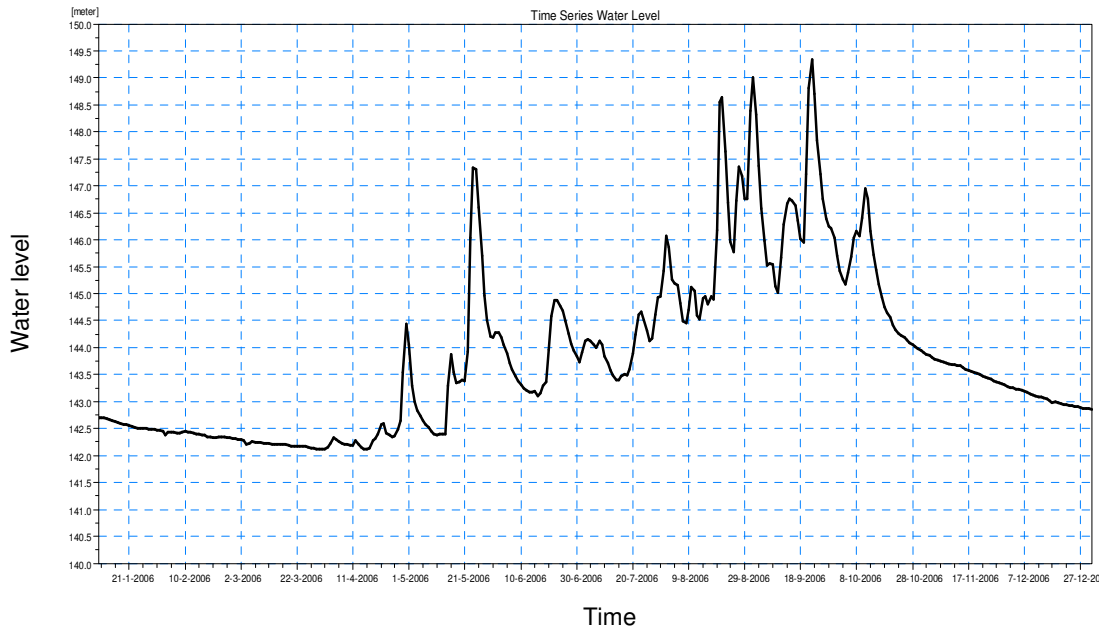
12) GWLFL1: Groundwater Depth for Unit Capillary Flux หมายถึงค่าความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) ที่จะทำให้เกิด Upward Capillary เท่ากับ 1 มิลลิเมตร/วัน ในเงื่อนไขที่ Lower Zone Storage อยู่ในสภาพที่แห้งสนิท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินด้วย โดย GWLFL1 มีค่าเป็นศูนย์ที่ Zero Capillary Flux

2.3.3 แบบจำลองสภาพการไหล

แบบจำลองสภาพการไหลของน้ำแบบอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งใช้คำนวณผลกระทบทางด้านชลศาสตร์ การเคลื่อนที่ทางชลศาสตร์ (Hydraulic Routing) การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากสำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำท่าในลำน้ำ โดยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์สามารถคำนวณการไหลในระบบลำน้ำที่มีการไหลเข้าด้านข้าง และแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time) และสถานที่ (Space) แบบจำลองประเภทนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของ Partial differential equation (the Saint-Venant Equations) สำหรับการไหลในหนึ่งมิติ (บุชนารถ, 2545) ปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองอุทกพลศาสตร์มากมายเช่น แบบจำลอง RUBICON, DWOPER, ISIS, Info work, HEC-RAS และ MIKE 11 HD เป็นต้น สำหรับโครงการนี้ได้ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ในการสร้างแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า

แบบจำลอง MIKE 11 HD เป็น Hydrodynamic Module ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม MIKE 11 เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพของแหล่งน้ำ โดยนำข้อมูลต่างๆ เช่น ภาพตัดขวางลำน้ำ ปริมาณน้ำ ระดับน้ำ เป็นต้น มาใช้คำนวณเพื่อทำนายลักษณะการไหลของน้ำ สามารถคาดการณ์ระดับน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่งของลำน้ำตามเวลาได้ (ดังแสดงในรูปที่ 2.8) โดยพิจารณาลักษณะการไหลของน้ำเป็นแบบการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) ในลำน้ำและบริเวณปากแม่น้ำ ใช้ลักษณะการแก้ปัญหาสมการทางคณิตศาสตร์โดยวิธี Implicit Finite Difference โดยพิจารณาสมการการไหลของคลื่นแบบพลศาสตร์ (Dynamic Wave Description) แก๊สมการของสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ซึ่งรวมเรียกว่า Saint-Venant Equations ดังแสดงในสมการ (1) และ (2) โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นคือ

- 1) น้ำเป็นของเหลวที่ไม่สามารถถูกกดอัดได้ (Incompressible) และความหนาแน่นคงที่ตลอดการไหล
- 2) ความลาดชันท้องลำน้ำมีค่าน้อย (Mild Slope)
- 3) การไหลเป็นแบบมิติเดียว (One Dimension) ความลึกและความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของลำน้ำ
- 4) สภาพการไหลเป็นแบบต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow)



รูปที่ 2.8 ผลการจำลองด้วย HD Model โดยแสดงผลในรูปของระดับน้ำตามเวลา

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

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

- เมื่อ
- Q = อัตราการไหล (m^3/s)
 - A = พื้นที่หน้าตัดการไหล (m^2)
 - R = รัศมีชลศาสตร์ (m)
 - h = ความสูงของระดับน้ำเทียบกับระดับอ้างอิง (m)
 - q = การไหลเข้าด้านข้าง (m^2/sec)
 - C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Chezy

สำหรับความต้านทานท้องน้ำ แบบจำลอง MIKE 11 จะสามารถทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหลเนื่องจากความเสียดทานที่ท้องคลอง ได้สองวิธีจากสมการของ Chezy หรือ Manning

สำหรับสมการ Chezy แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (3)

$$Q = AC\sqrt{RS} \quad (3)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (m^3/s)
 A = พื้นที่หน้าตัดการไหล (m^2)
 R = รัศมีชลศาสตร์ (m)
 C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Chezy

สำหรับสมการ Manning แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (4)

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = MAR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

เมื่อ n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning
 $M = \frac{1}{n}$

โดยที่ค่า M คือ ส่วนกลับของ Manning coefficient n ($M = 1/n$) และค่า Manning's n มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.01 จนถึง 0.10 ดังนั้นค่า M ที่สอดคล้องกันจะมีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 10 สำหรับค่า Manning's n โดยประมาณของการไหลทางน้ำเปิดทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.2 (ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องลำน้ำโดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก.)

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล เนื่องจากความขรุขระของทางน้ำ ซึ่งหมายถึงค่า C , n หรือ M นั้นสามารถประเมินได้โดยการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในสนาม นอกจากนั้นแล้วยังสามารถประเมินค่า Manning's n ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ของระบบการทำงานอื่น ๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพของภูมิประเทศที่คล้ายคลึงกัน (นุชนารถ, 2545)

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องลำน้ำของทางน้ำเปิด (Chow, 1959)

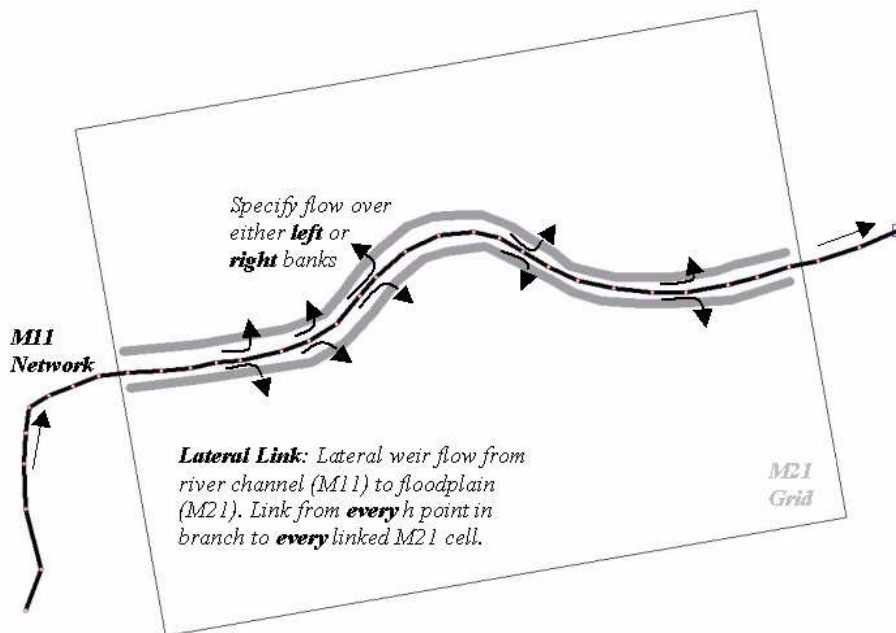
ชนิดทางน้ำเปิด	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n
คอนกรีต	0.012
คลองตาด	
- คลองตาดคอนกรีตแบบผิวเรียบ	0.020
- คลองตาดคอนกรีตแบบธรรมดา	0.023
- หินทิ้ง	0.033
ทางน้ำธรรมชาติ	
- คลองสะอาดและเป็นคลองตรง	0.030
- คลองสะอาดและเป็นคลองคดเคี้ยว	0.040
- คลองคดเคี้ยวมีวัชพืชและหลุมบ่อ	0.050
- พุ่มไม้หนาแน่นและมีเศษท่อนไม้	0.100
ทุ่งน้ำท่วม	
- ทุ่งหญ้า	0.035
- พื้นที่เกษตรกรรม (ทุ่งนา)	0.040
- พุ่มไม้เตี้ยๆและวัชพืช	0.050
- พุ่มไม้หนาแน่น	0.070
- ต้นไม้หนาแน่น	0.100

2.3.4 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลองมีจุดประสงค์เพื่อให้ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (Simulated data) มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด (Monitored data) นั่นคือทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งกระทำได้โดยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง (Control parameter) ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละลุ่มน้ำนั้นสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการจำลองแบบการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับเหตุการณ์พายุฝนอื่น ๆ ต่อไป ซึ่งการสร้างแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าโดยใช้ NAM model การปรับเทียบทำได้โดยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง NAM ตามที่ได้กล่าวถึงแล้วข้างต้น และสำหรับแบบจำลองสภาพการไหลนั้น ทำการปรับเทียบค่าโดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องน้ำ

2.4 แบบจำลองน้ำท่วม MIKE Flood

แบบจำลองน้ำท่วม MIKE Flood ซึ่งพัฒนาโดย Danish Hydraulic Institute (DHI) ประเทศเดนมาร์ก เป็นแบบจำลองซึ่งใช้ในประเมินพื้นที่การเกิดน้ำท่วม (Flood area) และระดับความลึกของน้ำท่วมโดยนำเอาการไหลของน้ำใน 1 มิติ และ 2 มิติ มาทำการคำนวณเชื่อมต่อกัน ซึ่งแบบจำลอง MIKE Flood นั้นประกอบด้วย การเชื่อมต่อกันของแบบจำลอง 2 แบบจำลองคือ แบบจำลองสภาพการไหลในลำน้ำ 1 มิติ (MIKE11 HD) ซึ่งจำลองสภาพการไหลของลำน้ำ และแบบจำลอง 2 มิติ MIKE21HD ซึ่งจำลองสภาพการไหลหลากของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังแสดงตัวอย่างการเชื่อมต่อในรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงให้เห็นการเชื่อมต่อแบบ Lateral Link คือมีการไหลของน้ำในลำน้ำและล้นตลิ่งออกสู่พื้นที่ราบลุ่มด้านข้าง



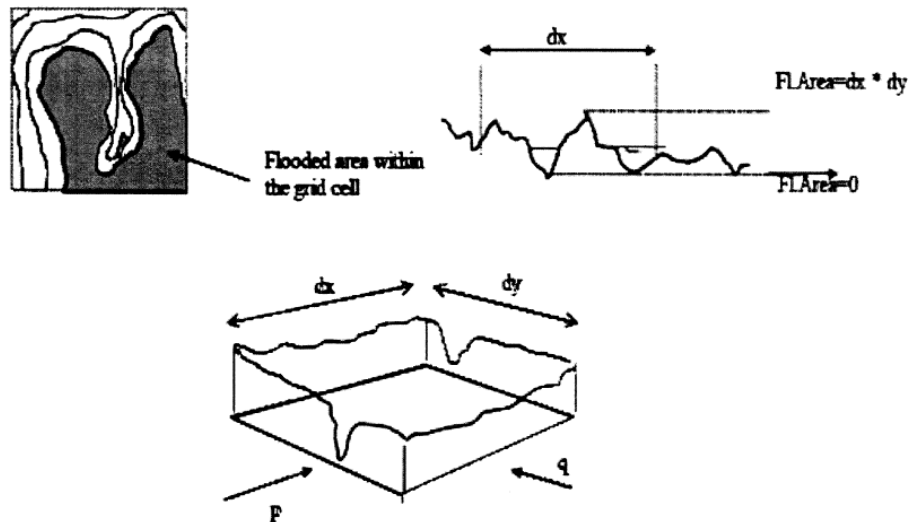
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อของแบบจำลอง 1 มิติ และ 2 มิติ ในแบบจำลอง MIKE Flood (MIKE Flood User Manual, 2007)

แบบจำลอง MIKE 21HD เป็นระบบการสร้างแบบจำลองสำหรับการไหลของน้ำในสองมิติ เป็นแบบจำลองที่สามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสภาพทางชลศาสตร์ ซึ่งสามารถคำนวณค่าระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำ โดยมีข้อมูลนำเข้าหลักคือ ข้อมูลค่าระดับเชิงตัวเลข (DEM) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานท้องน้ำ และแรงกระทำอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดการไหล ทั้งนี้แบบจำลองสามารถคำนวณโดยครอบคลุมสิ่งต่างๆเหล่านี้

- ความเสียดทานท้องน้ำ
- แรงกระทำเนื่องจากลม
- แรงกระทำเนื่องจากความกดอากาศ
- แรงกระทำจากการหมุนรอบตัวเองของโลก

- การบังคับการเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำ ณ ตำแหน่งที่กำหนด
- การระเหยของน้ำ
- การเปลี่ยนสภาพระหว่างเปียกและแห้ง
- แรงกระทำจากคลื่น

ลักษณะการจำลองการไหลแบบสองมิติด้วยแบบจำลอง MIKE 21 แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการจำลองลักษณะการไหลแบบสองมิติของแบบจำลอง MIKE 21 (MIKE 21 HD User Manual, 2007)

2.5 แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

2.5.1 แผนที่เสี่ยงภัย

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2553) กล่าวว่า แผนที่เสี่ยงภัย คือ แผนที่ที่แสดงพื้นที่ภายในชุมชน และ พื้นที่ใกล้เคียง ที่อาจจะได้รับผลกระทบจากภัยที่เกิดขึ้น ซึ่งในพื้นที่เสี่ยงภัยจะแสดงให้เห็นถึงพื้นที่อันตราย และ พื้นที่ปลอดภัยรวมถึงเส้นทางอพยพอย่างชัดเจน โดยการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1) ให้คนในชุมชนได้เข้าใจถึงพื้นที่เสี่ยงภัยและทรัพยากรต่างๆในชุมชน
- 2) เพื่อหลีกเลี่ยง หรือ ลดผลกระทบจากภัยหรือภัยพิบัติ
- 3) เพื่อช่วยให้คนในชุมชนเตรียมพร้อมรับมือกับอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น

ก่อนที่จะมีการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยนั้น ควรมีการจัดทำแผนที่ชุมชนที่ประกอบไปด้วยข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงภัย โดยแผนที่ชุมชนนั้นควรประกอบไปด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้

- 1) แสดงที่ตั้งทางกายภาพของชุมชน เช่น แสดงที่ตั้งบ้านเรือน อาณาเขตติดต่อ เส้นทางคมนาคม แม่น้ำ ภูเขา

2) แผนที่ชุมชนควรแสดงสถานที่สำคัญ เช่น พื้นที่ปลอดภัยหากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน และ สถานที่ที่ต้องอพยพประชาชน วัด โรงเรียน โรงพยาบาล สถานีอนามัย ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบล สถานีตำรวจ เป็นต้น

3) แผนที่ชุมชนควรแสดงเส้นทางการเดินทางไปยังพื้นที่ปลอดภัยให้ชัดเจน เช่น ถนนหรือแม่น้ำ เป็นต้น

4) แผนที่ชุมชนควรมีการระบุบ้านเรือนของกลุ่มเปราะบาง หรือ กลุ่มที่ต้องได้รับความช่วยเหลือเป็นพิเศษ หากเกิดกรณีฉุกเฉิน

5) ระบุพื้นที่ที่เคยเกิดภัย

2.5.2 แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

German Working Group of the Federal States on Water Issues, LAWA (2006) กล่าวว่า แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม นั้น เป็นแผนที่ทางกายภาพซึ่งแสดงถึงระดับความเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่นั้นๆ โดยระดับความเสี่ยงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสองประการคือ ความรุนแรงของน้ำท่วม และความน่าจะเป็นของการเกิดน้ำท่วมจากข้อมูลทางสถิติ

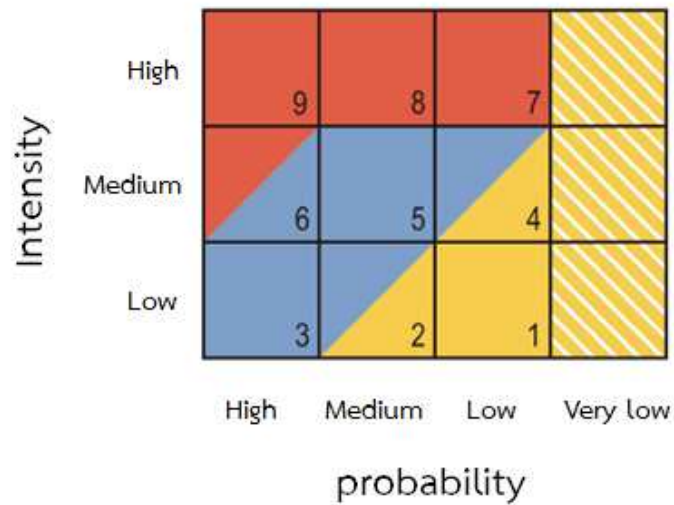
1) ระดับความรุนแรงของการเกิดน้ำท่วม จำแนกออกได้เป็น 3 ระดับคือ

- ความรุนแรงสูง ประชาชนที่และสัตว์เลี้ยง รวมถึงที่อยู่อาศัยอาจได้รับความเสียหาย
- ความรุนแรงปานกลาง ประชาชนและสัตว์เลี้ยงอาจจะไม่เกิดอันตรายหากหลบภัยอยู่ภายในบ้าน
- ความรุนแรงต่ำ ประชาชนและสัตว์เลี้ยงไม่ได้รับอันตรายแต่อาจจะเกิดความเสียหายเล็กน้อยกับอาคารชั้นล่างหรือชั้นใต้ดิน

2) ประเภทของความน่าจะเป็นในการเกิดน้ำท่วม จำแนกออกได้เป็น 4 ระดับคือ

- เหตุการณ์น้ำท่วมโดยมีรอบการเกิดซ้ำ (Return period) 20 ปี อยู่ในระดับความน่าจะเป็นสูง
- เหตุการณ์น้ำท่วมโดยมีรอบการเกิดซ้ำ (Return period) 20 ถึง 100 อยู่ในระดับความน่าจะเป็นปานกลาง
- เหตุการณ์น้ำท่วมโดยมีรอบการเกิดซ้ำ (Return period) 100 ปี อยู่ในระดับความน่าจะเป็นจะต่ำ
- เหตุการณ์น้ำท่วมโดยมีรอบการเกิดซ้ำ (Return period) 200 ปี ความเสี่ยงน้อยมาก

ซึ่งเมื่อนำปัจจัยทั้งสองตัวมาทำการพิจารณาเพื่อแบ่งระดับพื้นที่เสี่ยงภัย จะสามารถแบ่งระดับความเสี่ยงได้เป็น 4 ระดับคือ ระดับความเสี่ยงภัยสูง (Red zone) ระดับความเสี่ยงภัยปานกลาง (Blue zone) ระดับความเสี่ยงภัยต่ำ (Yellow zone) และระดับความเสี่ยงภัยต่ำมาก (Hatched zone) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการแบ่งระดับความเสี่ยงของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม (German Working Group of the Federal States on Water Issues, 2006)

2.6 ระบบเตือนภัยน้ำท่วม (Flood warning system)

2.6.1 การแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมล่วงหน้า

การแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมเป็นการให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์น้ำ หรือ แจ้งสถานการณ์ที่จำเป็นต้องรับรู้เกี่ยวกับภัยจากน้ำท่วมแก่ผู้ที่ได้รับผลกระทบ หรือคาดว่าจะได้รับผลกระทบ เพื่อให้เตรียมพร้อมรับสถานการณ์ และสามารถอพยพ เคลื่อนย้ายไปสู่ที่ปลอดภัยได้ทันเวลา โดยรูปแบบของการแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การแจ้งเพื่อเตรียมความพร้อม และการแจ้งเตือนเพื่อหนีภัย (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2553)

1) การแจ้งเตือนเพื่อเตรียมพร้อม เป็นการแจ้งเตือนเพื่อให้ประชาชนในหมู่บ้านหรือพื้นที่เสี่ยงภัยเตรียมความพร้อมสำหรับการเผชิญกับสถานการณ์ เช่น การแจ้งเตือนให้ประชาชนฟังประกาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาหรือหน่วยงานราชการอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการเตรียมความพร้อมในด้านอื่นๆ เช่น การเตรียมความพร้อมสำหรับการอพยพ ซึ่งควรจัดทำแผนอพยพประชาชนและมีการฝึกซ้อมแผนอยู่เสมอ

2) การแจ้งเตือนเพื่อหนีภัย เป็นการบอกให้รู้ว่าภัยกำลังจะเกิดขึ้นในเวลาอันใกล้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงบางอย่าง เช่น ปริมาณน้ำฝนจากกระบอกวัดน้ำฝนมีจำนวนมากอยู่ในขั้นอันตราย หรือระดับน้ำทางด้านต้นน้ำขึ้นสูง คาดการณ์ว่าจะเกิดน้ำท่วมในระยะเวลาอันใกล้ เป็นต้น

2.6.2 ระบบเตือนภัยน้ำท่วม

Australian Government (2009) ประเทศออสเตรเลียได้กล่าวถึงระบบเตือนภัยน้ำท่วมว่า เป้าหมายของระบบเตือนภัยน้ำท่วมคือ การช่วยให้หน่วยงานด้านการจัดการน้ำท่วมและประชาชนในชุมชนที่มีแนวโน้มที่จะเกิดน้ำท่วมได้เข้าใจธรรมชาติและพฤติกรรมของการเกิดน้ำท่วม เพื่อให้สามารถดำเนินการเพื่อป้องกันและบรรเทาผลกระทบที่เกิดจากน้ำท่วมได้

ดังนั้น เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้จึงต้องมีการจัดทำระบบเตือนภัยน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพ โดยระบบเตือนภัยน้ำท่วมถูกพัฒนาขึ้นจากองค์ประกอบหลายด้าน แล้วนำมาบูรณาการร่วมกันเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับองค์ประกอบของระบบการเตือนภัยน้ำท่วมประกอบด้วย

- 1) การติดตามการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนและการไหลในแม่น้ำที่อาจนำไปสู่การเกิดน้ำท่วม
- 2) การพยากรณ์ความรุนแรงของน้ำท่วมและเวลาที่จะเกิดการท่วม
- 3) การแปลความหมายของการพยากรณ์เพื่อตรวจสอบผลกระทบของน้ำท่วมที่มีต่อชุมชน
- 4) การสร้างข้อความเตือนภัยเพื่ออธิบายสิ่งที่เกิดขึ้น และกำลังจะเกิดพร้อมบอกถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นและสิ่งที่ต้องทำ
- 5) การเผยแพร่ข้อความเตือนภัย
- 6) การตอบสนองต่อคำเตือนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและสมาชิกในชุมชน
- 7) ทบทวนระบบเตือนภัยหลังจากเหตุการณ์น้ำท่วม

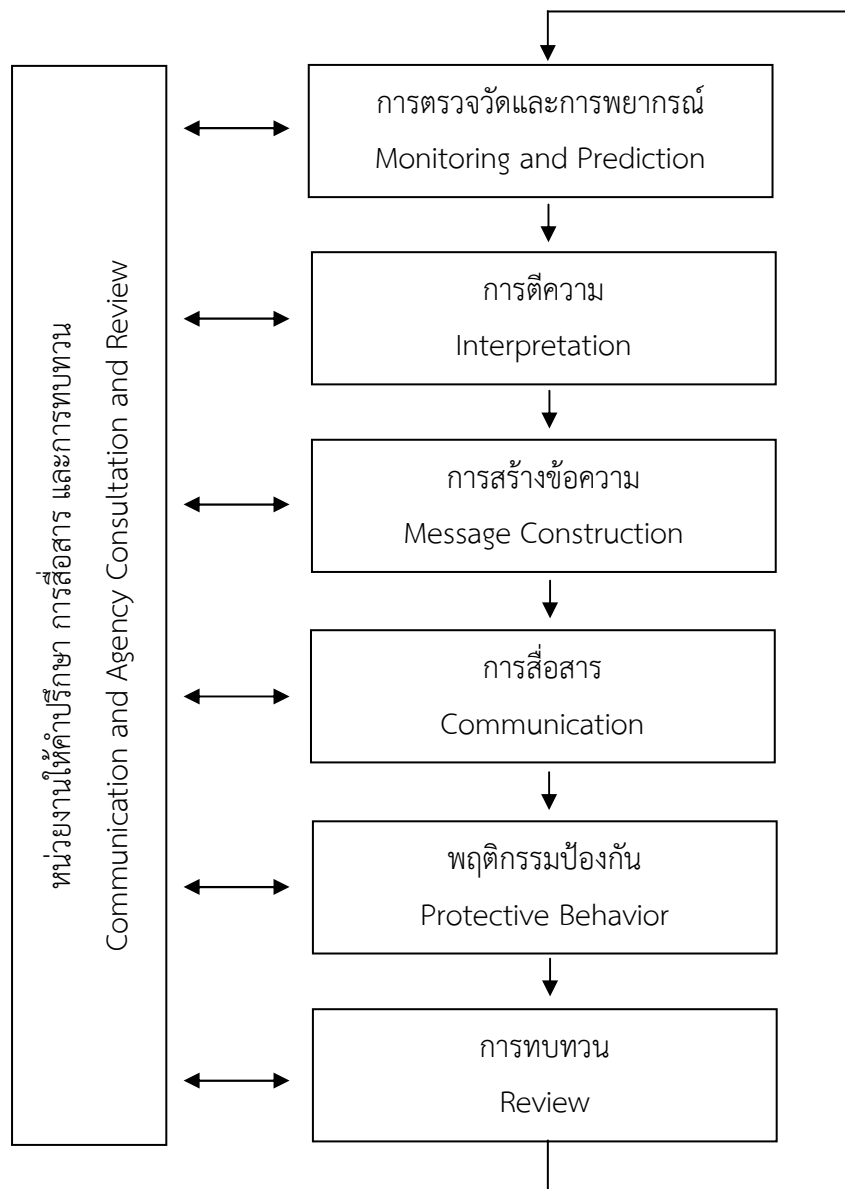
ในประเทศออสเตรเลียแนวคิดของ “ระบบการเตือนภัยน้ำท่วมออสเตรเลีย” (Total Flood Warning System) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายองค์ประกอบรวมที่จะต้องพัฒนาเพื่อการเตือนภัยน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพ แนวคิดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบการเตือนภัยน้ำท่วมนั้นมีการทำงานหลายด้านรวมกัน ต้องมีความร่วมมือกันของทุกภาคส่วน นั่นคือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องร่วมกันพัฒนาและทำงานเกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดในทุกขั้นตอนของการพัฒนาและระบบปฏิบัติการ นอกจากนี้สิ่งสำคัญคือการออกแบบและการวางแผนของระบบ การตรวจสอบศักยภาพในการทำงานของระบบจากชุมชน

2.6.3 การพยากรณ์น้ำท่วม

การพยากรณ์น้ำท่วมเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบการเตือนภัยน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพ ขั้นตอนแรกของการพยากรณ์น้ำท่วม คือการติดตามการตรวจวัดน้ำฝนหรือระดับน้ำ ซึ่งเป็นในการคาดการณ์ระดับน้ำในแม่น้ำเพื่อประเมินโอกาสของการเกิดน้ำท่วม ถ้าคาดว่าจะเกิดน้ำท่วมให้ทำการพยากรณ์พฤติกรรมของน้ำในแม่น้ำในช่วงน้ำท่วม ซึ่งประกอบด้วยความสูงของระดับน้ำที่สถานีวัดต่างๆ ที่สัมพันธ์กับเวลา เพื่อทำความเข้าใจถึงความรุนแรงของน้ำท่วมที่กำลังจะมาถึง จากนั้นจึงดำเนินการเพื่อการบรรเทาผลกระทบจากน้ำท่วม (Australian Government, 2009)

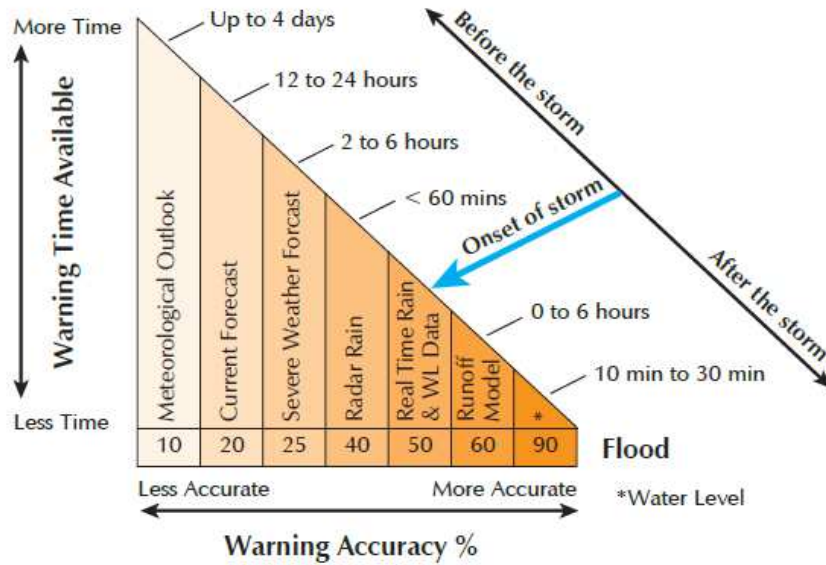
- 1) การพยากรณ์น้ำท่วมล่วงหน้ากับความแม่นยำในการพยากรณ์

ประชาชนที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจำเป็นต้องได้รับข้อมูลที่ถูกต้องว่าจากการเกิดฝนตกหนักมีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดน้ำท่วมและควรมีเวลาเพียงพอที่จะเตรียมรับมือกับน้ำท่วมเพื่อป้องกันการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน อย่างไรก็ตามเวลาสำหรับการเตือนภัยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในแม่น้ำอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 2.12 แผนผังแนวคิดระบบเตือนภัยน้ำท่วมประเทศออสเตรเลีย (Australian Government, 2009)

โดยปกติแล้วเราสามารถทำการพยากรณ์น้ำท่วมซึ่งให้ความแม่นยำสูงในกรณีที่มีข้อมูลมากพอสำหรับการพยากรณ์ เช่น ปริมาณน้ำฝนที่กำลังจะตก เป็นต้น ดังนั้นหากต้องการเตือนภัยล่วงหน้าเพื่อให้ประชาชนมีเวลาในการเตรียมตัวรับมือกับน้ำท่วมแต่ยังไม่มีข้อมูลที่มากพอ อาจต้องยอมรับในคำพยากรณ์ที่มีความแม่นยำน้อยลง เพราะเมื่อต้องการความถูกต้องของการพยากรณ์สูง เวลาในการเตือนภัยก็จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยเฉพาะกรณีน้ำท่วมแบบฉับพลันซึ่งมีเวลาในการเตือนภัยน้อยและหลีกเลี่ยงได้ยาก



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำในการพยากรณ์และระยะเวลาในการพยากรณ์ล่วงหน้า (Wright, 2001)

2) องค์ประกอบของการพยากรณ์น้ำท่วม

Australian Government (2009) กล่าวว่า องค์ประกอบของการพยากรณ์น้ำท่วม ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบคือ

- ระดับน้ำท่วมและเวลา (Flood height and time) โดยปกติแล้วสิ่งที่เราต้องการรู้ในช่วงที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วม คือการคาดการณ์ระดับน้ำ ณ จุดสำคัญของแม่น้ำ ที่เวลาใดๆ โดยการพยากรณ์อาจอยู่ในรูปของ ระยะเวลา น้ำท่วม (ช่วงที่ระดับเริ่มสูงขึ้นไปจุดสูงสุด) ระดับน้ำท่วมสูงสุด ระดับน้ำที่สำคัญ (เช่นจุดต่ำสุดบนยอดของเขื่อน) ที่จะถึงหรือล้นตลิ่ง

- ระยะเวลาในการเตือนภัย (Warning lead time) ระยะเวลาในการเตือนภัยเป็นเวลาระหว่างการออกข้อความเตือนภัยที่มีการพยากรณ์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหากมีระยะเวลาในการเตือนภัยมากกว่าย่อมดีกว่า ประสิทธิภาพในการพยากรณ์น้ำท่วมจะถูกกำหนดโดยความถูกต้องในการพยากรณ์และระยะเวลาในการเตือนภัย

- ความถี่ในการพยากรณ์ (Prediction frequency) ความถี่ที่เหมาะสมในการพยากรณ์นั้นแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ซึ่งบางพื้นที่แม่น้ำเป็นแม่น้ำสายยาวและเป็นที่ราบที่มีความลาดชันต่ำ น้ำจึงเดินทางช้ากว่าในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ดังนั้นในการพิจารณาความถี่ในการพยากรณ์ต้องพิจารณาแยกพื้นที่ตามลักษณะของพื้นที่นั้นๆ

- ความต้องการของผู้ใช้ (User requirements) ความต้องการของผู้ใช้สำหรับการพยากรณ์น้ำท่วมพิจารณาจากผลกระทบจากน้ำท่วมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ และประเภทของการป้องกันที่เหมาะสมที่สุดกับสถานการณ์ของแต่ละพื้นที่

- ความรับผิดชอบของหน่วยงานที่สำคัญและความต้องการ (Key Agency Responsibilities and Requirements) หน่วยงานสำคัญที่รับผิดชอบในการตอบสนองต่อเหตุการณ์น้ำท่วมหรือการพัฒนาแผนการฉุกเฉินสำหรับเหตุการณ์น้ำท่วม ควรทำหน้าที่หลักในการรับผิดชอบต่อความต้องการของผู้ใช้สำหรับการคาดการณ์น้ำท่วมในการรักษาหรืออย่างใกล้ชิดกับหน่วยงานอื่น ๆ และชุมชน (เช่น ในการประชุมกลุ่มย่อยกับคนที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมและจัดขึ้นเป็นระยะ ๆ รวมถึงหลังจากน้ำท่วม) และการสื่อสารความต้องการเหล่านี้ไปยังหน่วยงานคาดการณ์

2.7 โครงการระบบเตือนภัยน้ำท่วมทั้งในประเทศและต่างประเทศ

กรมชลประทาน (2553) ได้จัดทำโครงการระบบโทรมาตรเตือนภัยน้ำท่วมชุมชนเมือง นครศรีธรรมราช เนื่องจากการพยากรณ์และการเตือนภัยด้วยวิธีปกติ (Manual Operation) นั้นประสบปัญหาเรื่องการรับและส่งข้อมูลที่ไม่ทันต่อเหตุการณ์ นั่นคือ เมื่อมีฝนตกที่ต้นน้ำ ศูนย์หรือหน่วยงานที่เฝ้าระวังอยู่บริเวณเมืองนครศรีธรรมราชไม่สามารถรับข้อมูลได้ทันทีและไม่สามารถนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้เพื่อการพยากรณ์น้ำล่วงหน้าได้ จึงได้มีการดำเนินการศึกษาและดำเนินการติดตั้งระบบตรวจวัดข้อมูลทางไกลแบบอัตโนมัติ รวมทั้งระบบพยากรณ์น้ำแบบอัตโนมัติ เพื่อการติดตาม เฝ้าระวังและแจ้งเตือนสถานการณ์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบโทรมาตรเตือนภัยน้ำท่วมนี้จะแสดงผลข้อมูลน้ำฝนน้ำท่าตามเวลาจริง (Real Time) มีภาพระดับน้ำจากกล้อง CCTV รวมถึงผลการพยากรณ์ต่างๆ เช่น การพยากรณ์พื้นที่น้ำท่วม เป็นต้น และนอกจากนั้นยังมีการพัฒนาระบบฐานข้อมูล ระบบการนำเสนอข้อมูลและการเตือนภัย เพื่อเผยแพร่แก่สาธารณชน ในรูปแบบของการนำเสนอผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

โครงการระบบสนับสนุนการตัดสินใจเตือนภัยน้ำท่วม โดยมูลนิธิอาสาเพื่อนพึ่ง (ภาฯ) ยามยาก สภากาชาดไทยและศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเล กรมอุตุนิยมวิทยา (2551) ได้ทำการพัฒนาและจัดทำโปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเตือนภัยน้ำท่วม โดยโครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเตือนภัยน้ำท่วมมีขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอนในการพยากรณ์น้ำท่วมแบบฉับพลัน (Flash Flood) ได้แก่ การตรวจอากาศเพื่อให้ทราบสถานะอากาศปัจจุบัน การสื่อสารเพื่อรวบรวมข้อมูลผลการตรวจอากาศ และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการคาดหมาย โดยในส่วนของกาวิเคราะห์ข้อมูลจะสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ การบันทึกผลการตรวจอากาศที่ได้รับจากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ การวิเคราะห์ผลการตรวจอากาศที่ได้ การคาดหมายการเปลี่ยนแปลง และการออกคำพยากรณ์ โดยได้มีการติดตั้งสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยได้แก่บริเวณเทศบาลตำบลช่อแฮ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ตำบลบ้านตึก อำเภอสรีสัชชาลัย จังหวัดสุโขทัย

National weather service ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดทำระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติโดยมีการบูรณาการร่วมกันระหว่างกาติดตามการตรวจวัดปริมาณฝน ระดับน้ำ และรวมถึงระบบเรดาร์เพื่อตรวจวัดอากาศ มีระบบการส่งข้อมูลจากแต่ละท้องถิ่นเพื่อนำมาวิเคราะห์และเชื่อมโยงกับระบบเตือนภัยอัตโนมัติ โดยมีชื่อเรียกว่า Automated Flood Warning System, AFWS ซึ่งระบบเตือนภัยอัตโนมัตินี้จะเชื่อมต่อข้อมูลกับอุปกรณ์ตรวจวัดกว่า 1700 ตัวใน 12 รัฐ แล้วนำผลมาวิเคราะห์และแสดงผลเผยแพร่แก่

ประชาชนผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (<http://water.weather.gov/afws/>) โดยในหน้าจอหลักจะแสดงสถานะของการเตือนภัยในภาพรวมของทุกรัฐ เมื่อเลือกเข้าสู่ข้อมูลของแต่ละรัฐจะมีการสถานการณ์เตือนภัยย่อยของแต่ละท้องถิ่น ซึ่งจะบอกโอกาสในการเกิดน้ำท่วมในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ในการเกิดน้ำท่วมแยกให้เห็นในลักษณะของสัญลักษณ์และสีที่แตกต่างกัน

Harris county Flood warning system หรือที่เรียกสั้นๆ ว่า FWS เป็นระบบเตือนภัยน้ำท่วมของท้องถิ่นในพื้นที่ Harris county รัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งจะมีการตรวจวัดและติดตามสถานการณ์ของปริมาณฝนในพื้นที่ทุกๆ 15 นาที และนอกจากตรวจวัดปริมาณฝนแล้วยังทำการตรวจวัดและประเมินสถานการณ์น้ำในแม่น้ำและแสดงผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อให้ประชาชนได้ติดตามข้อมูลการเตือนภัยผ่านเว็บไซต์ <http://www.harriscountyfws.org/> ซึ่งจะแสดงผลการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่สำคัญๆ และเมื่อเลือกสถานีฝนที่สนใจ จะสามารถเข้าไปดูระดับน้ำ ณ จุดนั้นๆ ซึ่งจะแสดงระดับเตือนภัยไว้ด้วยเช่นกัน

ระบบเตือนภัยน้ำท่วมโดย กรมกิจการทหารและความปลอดภัยของประชาชน เวสต์เวอร์จิเนีย ประเทศอเมริกา ได้จัดทำระบบเตือนภัยน้ำท่วมโดยแบ่งการตรวจวัดเพื่อการเตือนภัยออกเป็นสองส่วนคือการตรวจวัดปริมาณฝน และการตรวจวัดระดับน้ำในแม่น้ำ จากนั้นทำการคำนวณกราฟน้ำท่าในช่วงเวลา 7 วัน และ 30 วัน และมีเกณฑ์การเตือนภัยจากปริมาณฝน ระดับน้ำ และกราฟน้ำท่า โดยการใช้สีเป็นสัญลักษณ์ในการเตือนภัยคือ แดง เหลือง เขียว ซึ่งแสดงระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชั่วโมง ซึ่งประชาชนสามารถติดตามสถานการณ์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต <http://www.rainfall.net/index.php>

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Supharatid (2006) ศึกษาแบบจำลองการไหลและการเกิดน้ำท่วมของคลองอุตตะเภาสำหรับใช้เป็นแนวทางการจัดทำมาตรการป้องกันและบรรเทาอุทกภัย ผลการจำลองพบว่า อัตราการไหลและการเกิดน้ำท่วมใหญ่ในปี 2543 สามารถจำลองได้อย่างดีโดยใช้แบบจำลอง FLO-2D มาตรการการป้องกันและบรรเทาอุทกภัยโดยวิธีการขุดคลองผันน้ำ (Diversion canals) สามารถเพิ่มอัตราการระบายน้ำลงสู่ทะเลสาบสงขลาและลดผลการทบของการเกิดน้ำท่วมต่อผู้คนในพื้นที่ได้

สุจี (2551) ได้ทำการศึกษาการเกิดอุทกภัยและแนวทางป้องกันในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการวิเคราะห์สภาพทางชลศาสตร์ของลำน้ำชีตอนบน ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองพบว่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning's, n) มีค่าเท่ากับ 0.033 ผลการศึกษากำหนดสภาพน้ำท่วมโดยการเสนอแนวทางการป้องกันและบรรเทาอุทกภัยของลำน้ำชีตอนบน แบ่งเป็นกรณีศึกษาออกเป็น 6 กรณี พบว่า กรณีที่ให้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุดคือ เมื่อขุดลอกลำน้ำสายหลักที่ลดลงจากระดับดินเดิมเฉลี่ยประมาณ 1.00 เมตร และทำคันดินสูงขึ้นประมาณ 2.00 เมตร ในบริเวณที่เกิดน้ำท่วม สามารถลดระดับน้ำท่วมได้ 2.35 เมตร (71.36%)

กานดา (2545) ได้ทำการศึกษา พารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำน่านโดยข้อมูลนำเข้าแบบจำลองประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน ปริมาณการระเหยรายวัน ผลที่ได้จากการ

ประยุกต์ใช้แบบจำลองประกอบด้วย กราฟน้ำท่ารายวัน ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน ปริมาณการไหลในระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน ปริมาณการไหลพื้นฐาน ปริมาณการระเหย ระดับน้ำใต้ดินและ คาปิลลารี พลิกซ์ ในการเปรียบเทียบ และตรวจสอบแบบจำลองทำได้โดยการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการประเมินค่าโดยแบบจำลอง NAM กับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้ต้องทำควบคู่กับการศึกษาสมดุลงน้ำ โดยพิจารณาจากปริมาณการระเหยสะสมเท่ากับค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณฝนสะสมกับปริมาณน้ำท่าสะสมโดยผลของการศึกษาพบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ข้อมูลมีความใกล้เคียงกันกล่าวคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.87

ทรงเกียรติ (2550) ได้ทำการศึกษาศักยภาพของกลุ่มน้ำน่านในการรองรับปริมาณน้ำฝนจากกลุ่มน้ำยม โดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์โดยเลือกใช้แบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลอง NAM ซึ่งเป็นแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) และแบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งเป็นแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model) โดยทำการจำลองระบบของแม่น้ำน่านตั้งแต่ทำยอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ ถึงอำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร ผลจากการคำนวณของแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า (NAM) และแบบจำลองอุทกพลศาสตร์(MIKE 11HD) จากการเปรียบเทียบ และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้งสอง ได้ผลที่ค่อนข้างดี มีความใกล้เคียงสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงอย่างมาก มีความเหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันของกลุ่มน้ำน่านได้ ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีฝนจากกลุ่มน้ำยม และผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE 11HD พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning' s n มีค่าระหว่าง 0.03 ถึง 0.05 สำหรับการไหลในลำน้ำ และ 0.05 สำหรับการไหลในทุ่งน้ำท่วม

สุพจน์และคณะ (2550) ได้นำเสนอการศึกษาโครงการสำรวจติดตั้งระบบตรวจวัด และจัดตั้งศูนย์ข้อมูลภูมิภาค ในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบน และลุ่มน้ำมูลตอนบน โดยศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ ซึ่งการติดตั้งระบบโทรมาตรในลุ่มน้ำ ดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาระบบตรวจวัดข้อมูลทางไกลแบบอัตโนมัติ (ระบบโทรมาตร) และเก็บรวบรวมข้อมูลด้าน อุตุ-อุทกวิทยา และคุณภาพน้ำ แบบ Real-Time ทำให้สามารถพัฒนาระบบพยากรณ์และเตือนภัย พร้อมทั้งพัฒนาแบบจำลองเพื่อการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำโครงการ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการบริหารจัดการด้านการพยากรณ์และเตือนภัยอุทกภัย ซึ่งผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่าแบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์ให้ค่าทางสถิติค่อนข้างดี แต่แบบจำลองด้านคุณภาพน้ำให้ค่าทางสถิติค่อนข้างน่าพอใจในระดับหนึ่ง เนื่องจากมีสถานีตรวจวัดด้านคุณภาพน้ำน้อย และแบบจำลอง MIKE FLOOD WATCH เป็นแบบจำลองที่ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจการพยากรณ์และเตือนภัยอุทกภัย ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในรูปของแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม โดยอาศัย Microsoft Virtual Earth เป็นสื่อในการนำเสนอ ซึ่งผลการพยากรณ์ในโครงการนี้ได้ประยุกต์ใช้งานแบบจำลองการพยากรณ์ MIKE 11 FF/DA ซึ่งโครงการดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินการพัฒนาระบบโทรมาตรในลุ่มน้ำต่างๆ ให้ครอบคลุมทั่วประเทศ โดยศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ และศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ ได้จัดตั้งศูนย์ปฏิบัติการ

ป้องกันและบรรเทาวิกฤติน้ำ (Water Operation Center) หรือในอีกชื่อหนึ่งคือ “ศูนย์เมขลา” เพื่อเป็น ศูนย์อำนวยการกลางในการสั่งการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับน้ำและเป็นศูนย์กลางกำหนดแผนงานและมาตรการ ป้องกันบรรเทาภัยจากน้ำ

Poretti และ Amicis (2011) ได้ทำการศึกษาแนวทางสำหรับการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมและ แผนที่เสี่ยงภัยน้ำในเมือง Valtellina เขต Lombardy ประเทศอิตาลี เนื่องจากพื้นที่นี้ได้ประสบปัญหาน้ำท่วมอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมขึ้นเพื่อให้ประชาชนได้มีความเข้าใจ และเตรียมความพร้อมสำหรับสถานการณ์น้ำท่วม โดยในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม SOBEK 1-D – 2-D ในการจำลองสภาพทางชลศาสตร์ของแม่น้ำ Adda ซึ่งไหลผ่านเมือง Valtellina เป็นระยะทาง 17 กิโลเมตร ในการพัฒนาแบบจำลองได้ทำการจำลองสถานการณ์จากความน่าจะเป็นที่จะเกิดสถานการณ์ที่มี ลักษณะแตกต่างกันทั้งหมด 12 สถานการณ์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกับสภาพทางชลศาสตร์ที่มีอยู่เดิม จากนั้นนำผลที่ได้มาจัดทำเป็นแผนที่เสี่ยงภัย

Matthew et al 2008 ได้ทำการพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมและจัดทำแผนที่น้ำท่วมน้ำท่วม สำหรับพื้นที่แม่น้ำ Blanchard ในรัฐโอไฮโอ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยได้รับการสนับสนุนจากสถาบันการ สืบสวนทางธรณีวิทยาสหรัฐ (U.S. Geological Survey, USGS) ซึ่งต้องการพัฒนาแผนที่น้ำท่วมดิจิทัล สำหรับเมืองฟินเลย์ โดยแผนที่จะถูกนำไปใช้ร่วมกับระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรในเมืองฟินเลย์ซึ่งเชื่อมต่อกับ ศูนย์บริการสภาพอากาศแห่งชาติ National Weather Service (NWS) ที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล เพื่อนำไปประมวลผลสำหรับการพยากรณ์ในระบบฐานข้อมูลของระบบเตือนภัยน้ำท่วม ซึ่งจะทำการ พยากรณ์พยากรณ์พื้นที่น้ำท่วม และระดับน้ำท่วมสูงสุดในแต่ละพื้นที่ ในการศึกษาการเกิดน้ำท่วมโดย ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ร่วมกับข้อมูลค่าระดับเชิงตัวเลข ทำการเปรียบเทียบและปรับแก้ แบบจำลองโดยใช้ฝนจากคาบการเกิดซ้ำ 100 ปี โดยผลที่ได้จะนำเสนอในรูปแบบของค่าระดับน้ำท่วมที่ซ้อนทับ บนแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยโครงการแบบจำลองน้ำท่วมขนาดใหญ่และระบบเตือนภัยแบบตัดสินใจอัตโนมัติ ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก (ดังแสดงรูปที่ 3.1) ได้แก่ 1) การจัดหา รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และการสำรวจภาคสนาม 2) การพัฒนาแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า (Rainfall-Runoff Model, RR model) 3) การพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamics Model, HD model) 4) การพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม (Flood Model) 5) การพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม และ 6) การพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

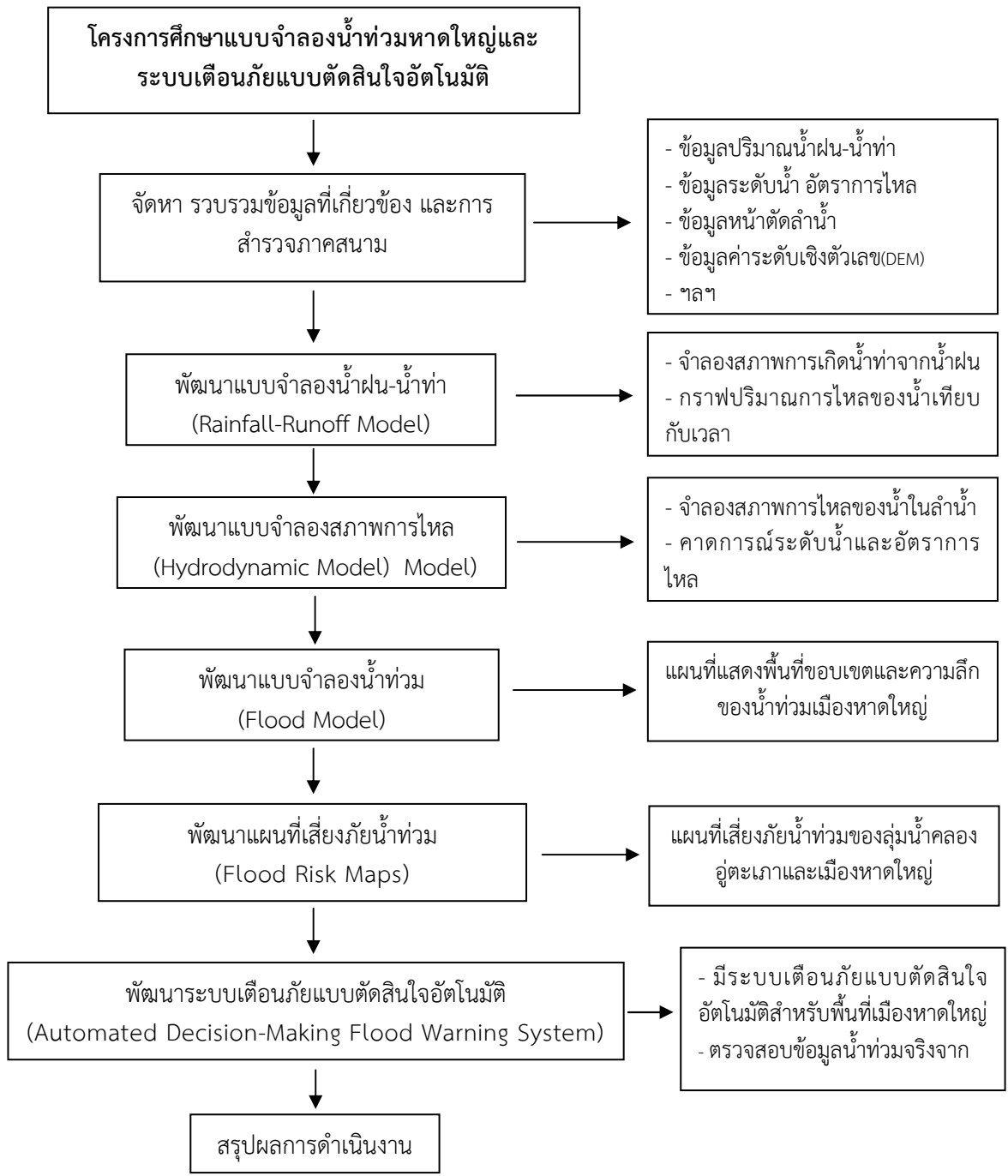
3.1 จัดหา รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และการสำรวจภาคสนาม

ขั้นตอนการจัดหา และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การออกสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การจัดหาและรวบรวมข้อมูลที่เป็นสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง การสำรวจภาคสนาม และการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับนำเข้าแบบจำลอง รายละเอียด ดังนี้

1) การจัดหาและรวบรวมข้อมูลที่เป็นสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูลสำหรับนำเข้าน้ำฝน-น้ำท่า แบบจำลองสภาพการไหล และแบบจำลองน้ำท่วม ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถรวบรวมและจัดหาได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ฯ และเทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นต้น

2) การสำรวจภาคสนาม ประกอบด้วย การสำรวจลักษณะหน้าตัดของคลองอุ้ตตะเภาตลอดลำน้ำ รวมถึงการวางหมุดหลักฐานการสำรวจเพื่อประโยชน์ในการสำรวจการเปลี่ยนแปลงของลักษณะหน้าตัดลำน้ำในอนาคต และการออกสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลค่าระดับเชิงตัวเลข (DEM)

3) การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการนำเข้าแบบจำลอง เป็นขั้นตอนในการเตรียมไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวม จัดหา และออกสำรวจ ให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้ในแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลบางชนิดที่นำเข้าสู่แบบจำลองในโปรแกรม MIKE 11 ต้องมีการเตรียมชุดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา และเป็นข้อมูลที่ต้องอยู่ในช่วงเวลาที่สุดค้องกัน เช่น ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และปริมาณการคายระเหย เป็นต้น



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลอง	ข้อมูล
น้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model, RR model)	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณน้ำฝน - ปริมาณน้ำท่า - อัตราการคายระเหย - ตำแหน่งสถานีโทรมาตร - แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำคลองอุตะเถา
สภาพการไหล (Hydrodynamics model, HD model)	<ul style="list-style-type: none"> - ลักษณะหน้าตัดลำน้ำ - ระดับน้ำ - อัตราการไหลของน้ำ - แผนที่แสดงเส้นแนวลำน้ำ
น้ำท่วม (Flood Model)	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าระดับเชิงตัวเลข (DEM) - แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตเมืองหาดใหญ่ - ตำแหน่งที่ตั้งโครงการป้องกันน้ำท่วมเช่น คันกั้นน้ำ คลองระบายน้ำ ทางรถไฟ เป็นต้น

3.2 การพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

การพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเพื่อประเมินน้ำท่าที่เกิดขึ้นเมื่อมีฝนตกในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม MIKE 11 HD ในการพัฒนาแบบจำลอง และใช้แบบจำลองย่อย Rainfall-Runoff Model หรือ RR Model (ดังที่กล่าวในบทที่ 2 ข้อ 2.3.1) ใช้วิธีการคำนวณน้ำฝน-น้ำท่าแบบ NAM Model (ดังรายละเอียดในบทที่ 2 ข้อ 2.3.2) โดยการพัฒนาแบบจำลองนี้มีข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่ใช้ในการนำเขาแบบจำลองประกอบด้วย ข้อมูลขนาดของพื้นที่รับน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลการคายระเหย และข้อมูลน้ำท่าที่สัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำและปริมาณฝนที่ตก ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า จะอยู่ในรูปของกราฟอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเทียบกับเวลา

การพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาในการศึกษานี้ได้กำหนดให้พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาบริเวณก่อนถึงสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) เป็นพื้นที่รับน้ำสำหรับการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ และทำการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model ที่ให้ค่าปริมาณน้ำท่าจากการจำลองใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริงมากที่สุด เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่จริง โดยใช้ค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (R^2) เป็นเกณฑ์การพิจารณา

เมื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองแล้ว จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่ได้มาทำการตรวจสอบอีกครั้งด้วยการนำเข้าข้อมูลฝนอีกชุด เพื่อยืนยันว่าแบบจำลองมีความถูกต้องและแม่นยำ โดยในการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าในโครงการนี้ได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบแบบจำลองใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาและข้อมูลอัตราการไหลของน้ำในคลองอุตะเถาในปี พ.ศ.

2554 ซึ่งเป็นปีที่เกิดน้ำท่วมชุมชนริมคลองอุต๊ะเถาและคลองระบายน้ำสายที่ 1 มีการบันทึกข้อมูลไว้อย่างครบถ้วน และข้อมูลชุดที่ 2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถาและข้อมูลอัตราการไหลของน้ำในคลองอุต๊ะเถาในปี พ.ศ.2556 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

3.3 การพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล

การพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหลเพื่อคาดการณ์ระดับน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่งของลำน้ำเมื่อเกิดฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ ในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม MIKE 11 HD และใช้แบบจำลองย่อย Hydrodynamics Model หรือ HD Model (ดังรายละเอียดในบทที่ 2 ข้อ 2.3.3) โดยแบบจำลอง HD Model จะเชื่อมโยงกับผลการจำลองจาก RR Model นั่นคือ ต้องทำการจัดเตรียม RR Model ก่อนหรือมีผลการวิเคราะห์จาก RR Model เตรียมไว้แล้ว

สำหรับข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับ HD Model ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำหรือระดับน้ำ และข้อมูลลักษณะหน้าตัดของลำน้ำ โดยมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่าคือ ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองก่อนจากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง แต่ต่างกันที่ค่าพารามิเตอร์ในการเปรียบเทียบ สำหรับแบบจำลองสภาพการไหลนั้นตัวแปรที่ทำการเปรียบเทียบคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ โดยในการศึกษานี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning และกำหนดให้ลำน้ำที่ตำแหน่งของสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) เป็นจุดที่ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ค่าระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ในการเปรียบเทียบ (การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและโครงข่ายลำน้ำแสดงไว้ในบทที่ 4 ข้อ 4.3.1)

3.4 การพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม

การพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือปริมาณน้ำท่าในลำน้ำ โดยในการศึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง MIKE Flood (รายละเอียดแสดงไว้ในบทที่ 2 ข้อ 2.4) ในการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมสำหรับพื้นที่เมืองหาดใหญ่ ซึ่งแบบจำลองน้ำท่วม MIKE Flood ประกอบด้วยการเชื่อมต่อของแบบจำลอง 1 มิติ และ 2 มิติ คือ แบบจำลองสภาพการไหล MIKE 11HD (1 มิติ) และแบบจำลอง MIKE 21HD (2 มิติ) นั่นคือต้องมีการเตรียมแบบจำลอง MIKE 11HD ที่เปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแล้ว และแบบจำลอง MIKE 21HD ที่ใช้ข้อมูลค่าระดับเชิงตัวเลข (DEM) เป็นข้อมูลหลักในการจำลอง จากนั้นจึงทำการคำนวณในแบบจำลอง MIKE Flood

โดยในการศึกษานี้ได้ทำการจำลองการเกิดน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ในปี พ.ศ.2553 ซึ่งเป็นปีที่เกิดน้ำท่วมครั้งใหญ่ โดยใช้ข้อมูลฝนในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2553 ในการนำเข้าแบบจำลองทำการจำลองพื้นที่น้ำท่วมโดยใช้สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาเป็นขอบเขตบน และสถานีโทรมาตรบ้านแหลมโพธิ์เป็นขอบเขตล่าง และทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลแผนที่แสดงพื้นที่อุทกภัยในปี พ.ศ. 2553 (ทองเปลว, 2554) ดังแสดงในบทที่ 2 ข้อ 2.2.1

3.5 การพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

เมื่อทำการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว จากนั้นนำแบบจำลองที่ได้มาทำการจำลองการเกิดน้ำท่วมของความน่าจะเป็นในการเกิดน้ำท่วม และนำเอาผลที่ได้ซึ่งอยู่ในรูปของค่าระดับความลึกของน้ำท่วมและพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมมาทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมตามวิธีของ German Working Group of the Federal States on Water Issues (รายละเอียดดังแสดงในบทที่ 2 ข้อที่ 2.5.2) ซึ่งกล่าววาระดับความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ความรุนแรงของน้ำท่วมและความน่าจะเป็นของการเกิดน้ำท่วม

โดยในการศึกษานี้ได้พิจารณาระดับความรุนแรงของน้ำท่วมจากระดับความลึกของน้ำท่วม (Inundation Depth) และพิจารณาความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำท่วมโดยใช้คาบการเกิดซ้ำของการเกิดน้ำท่วม (Return Period) จากนั้นจึงนำผลจากการพิจารณามาจำแนกระดับความเสี่ยง ซึ่งรายละเอียดการจำแนกระดับความรุนแรงได้แสดงไว้ในผลการดำเนินงานในบทที่ 4 ข้อ 4.5

3.6 การพัฒนาระบบเตือนภัยแบบตัดสินใจอัตโนมัติ

ขั้นตอนในการพัฒนาระบบการเตือนภัยน้ำท่วมในพื้นที่เมืองหาดใหญ่แบบตัดสินใจอัตโนมัติ ได้ดำเนินการพัฒนาโดยใช้แนวคิดบางส่วนจาก “ระบบการเตือนภัยน้ำท่วมออสเตรเลีย” (รายละเอียดดังแสดงในบทที่ 2 ข้อ 2.6.2) ของ Australian Government ร่วมกับเงื่อนไขและเกณฑ์ในการตัดสินใจเตือนภัยที่ได้ทำการพิจารณาร่วมกับคณะอนุกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำ จังหวัดสงขลา โดยใช้การประเมินสถานการณ์น้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ระดับน้ำ และอัตราการไหลในคลองอู่ตะเภา และการเกิดน้ำท่วมจากแบบจำลองต่างๆ ที่ได้ทำการพัฒนาไว้แล้วมาใช้ โดยมีการตรวจวัดและติดตามสถานการณ์น้ำฝนและระดับน้ำในคลองอู่ตะเภาจากระบบสถานีโทรมาตรซึ่งตรวจวัดข้อมูลตามเวลาจริง (Real Time) โดยข้อมูลจะส่งข้อมูลไปยัง Sever จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนของระบบเตือนภัยน้ำท่วมล่วงหน้า และแสดงการเตือนภัยผ่านระบบ Web application แบบอัตโนมัติ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยโครงการแบบจำลองน้ำท่วมขนาดใหญ่และระบบเตือนภัยน้ำท่วมแบบตัดสินใจอัตโนมัติประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ผลการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 2) ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 3) ผลการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล 4) ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม 5) ผลการพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาและเมืองหาดใหญ่ 6) ผลการพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ รายละเอียดผลการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

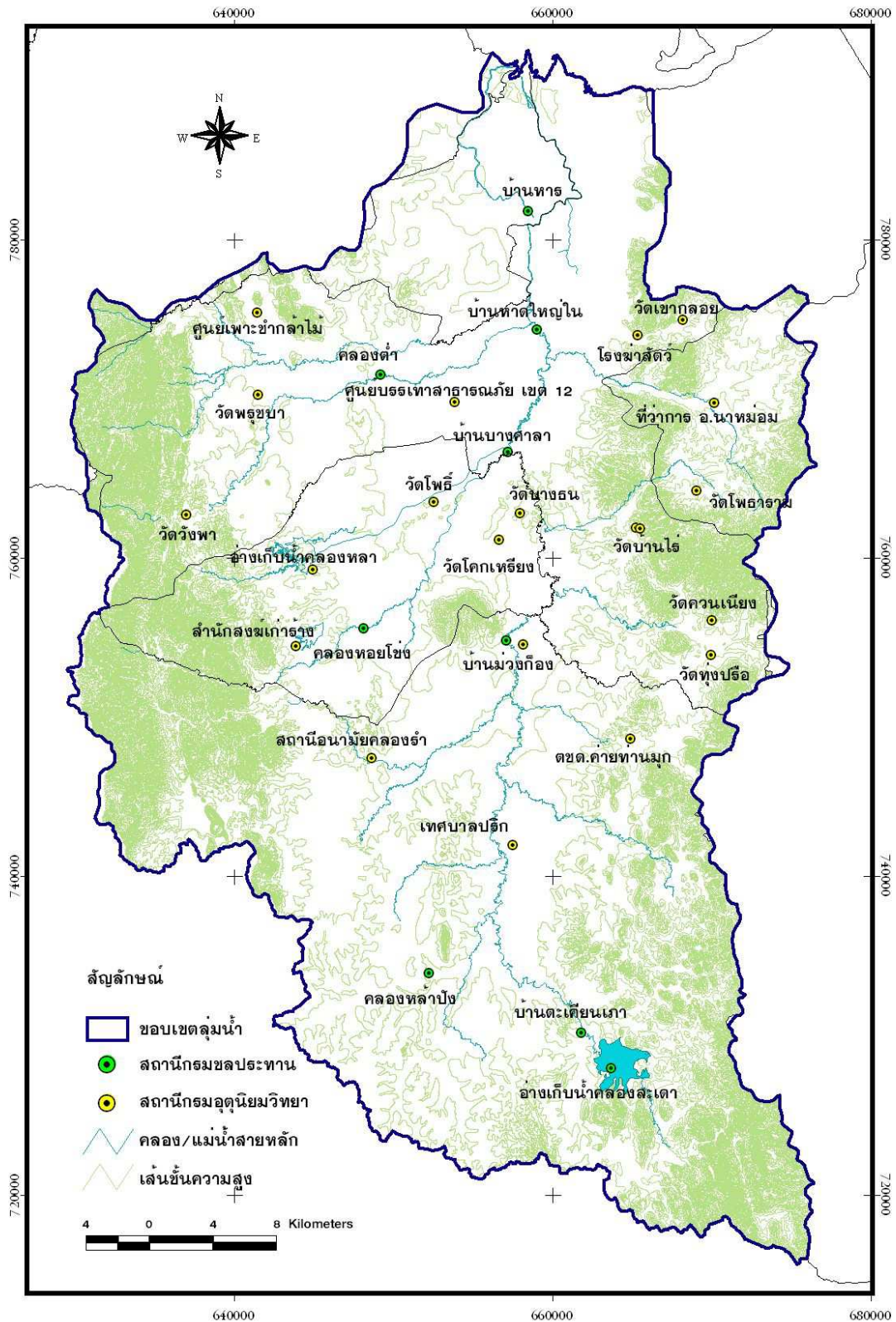
ผลการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า แบบจำลองสภาพการไหล และแบบจำลองน้ำท่วม ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลปริมาณการคายระเหย ข้อมูลอัตราการไหล ข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลลักษณะหน้าตัดลำน้ำ ข้อมูลขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตลำน้ำและที่ตั้งของสถานีโทรมาตร ข้อมูลภูมิประเทศเชิงตัวเลข (DEM) และข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดมีดังนี้

4.1.1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

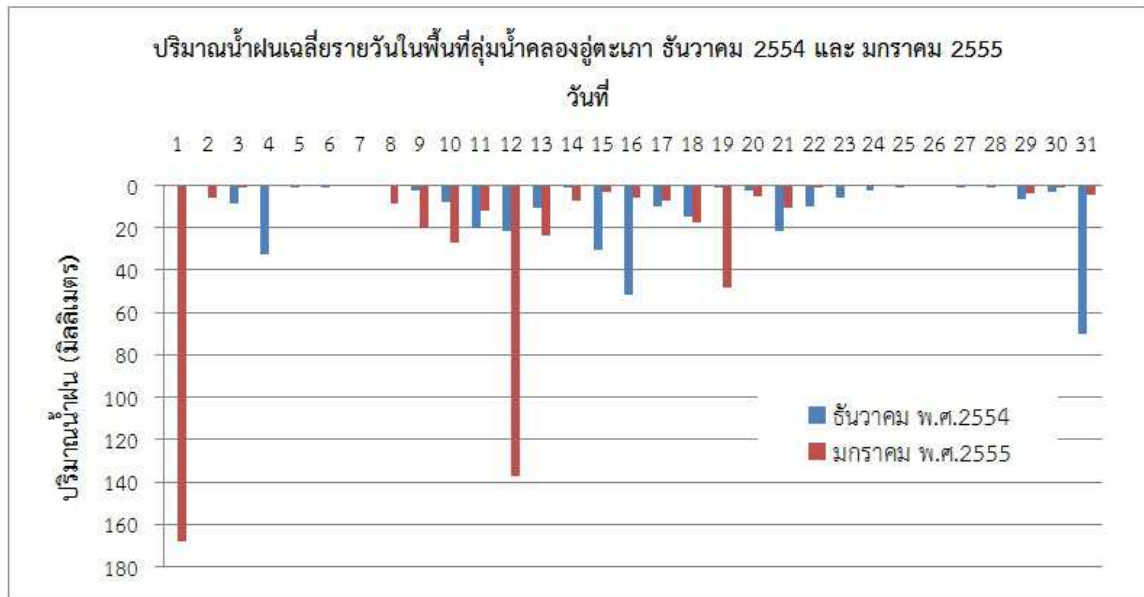
การรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนได้ทำการรวบรวมจากข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 21 สถานี และจากของกรมชลประทานอีก 3 สถานี ซึ่งกระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยข้อมูลฝนในช่วง ธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึง มกราคม พ.ศ. 2555 ซึ่งเกิดน้ำท่วมครั้งล่าสุด มีความการเกิดซ้ำ 8 ปี สามารถสรุปในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำกับเวลาดังรูปที่ 4.2 โดยมีฝนตกหลักรวม 3 ช่วง ช่วงที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 9-24 ธันวาคม พ.ศ. 2554 ช่วงที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึง 2 มกราคม พ.ศ. 2555 และช่วงที่ 3 ตั้งแต่วันที่ 8-21 มกราคม พ.ศ. 2555 (ตารางข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วง ธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึง มกราคม พ.ศ. 2555 แสดงไว้ในภาคผนวก ข.)

4.1.2 ข้อมูลปริมาณการคายระเหย

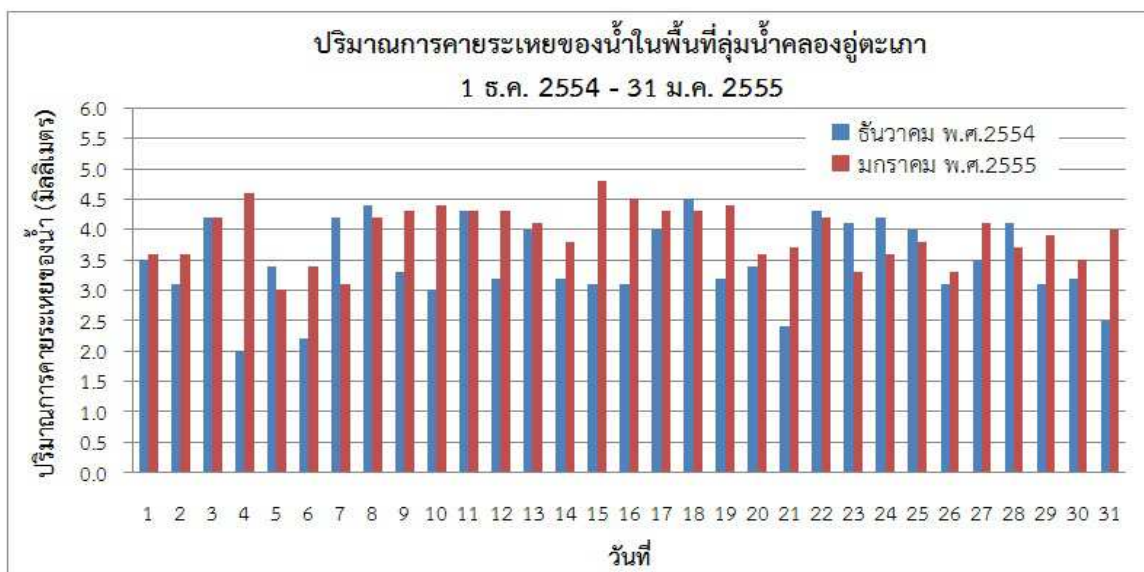
ข้อมูลปริมาณการคายระเหยของน้ำ ได้จากข้อมูลอัตราระเหยของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก กรมอุตุนิยมวิทยา โดยทำการรวบรวมข้อมูลการคายระเหยในช่วง ธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึง มกราคม พ.ศ. 2555 เช่นเดียวกับข้อมูลปริมาณน้ำฝน และสามารถนำมาสรุปในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการคายระเหยเฉลี่ยรายวันเทียบกับเวลาดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเถา



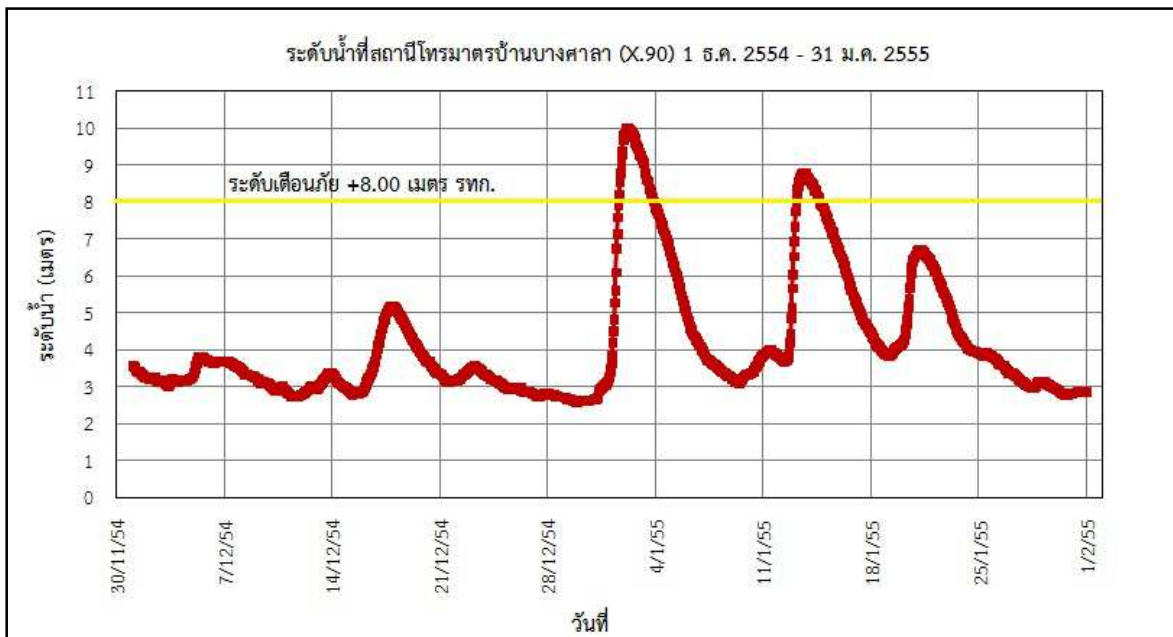
รูปที่ 4.2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2554 และเดือน มกราคม พ.ศ. 2555



รูปที่ 4.3 ปริมาณการคายระเหยของน้ำเฉลี่ยรายวันของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2554 และเดือน มกราคม พ.ศ. 2555

4.1.3 ข้อมูลระดับน้ำ

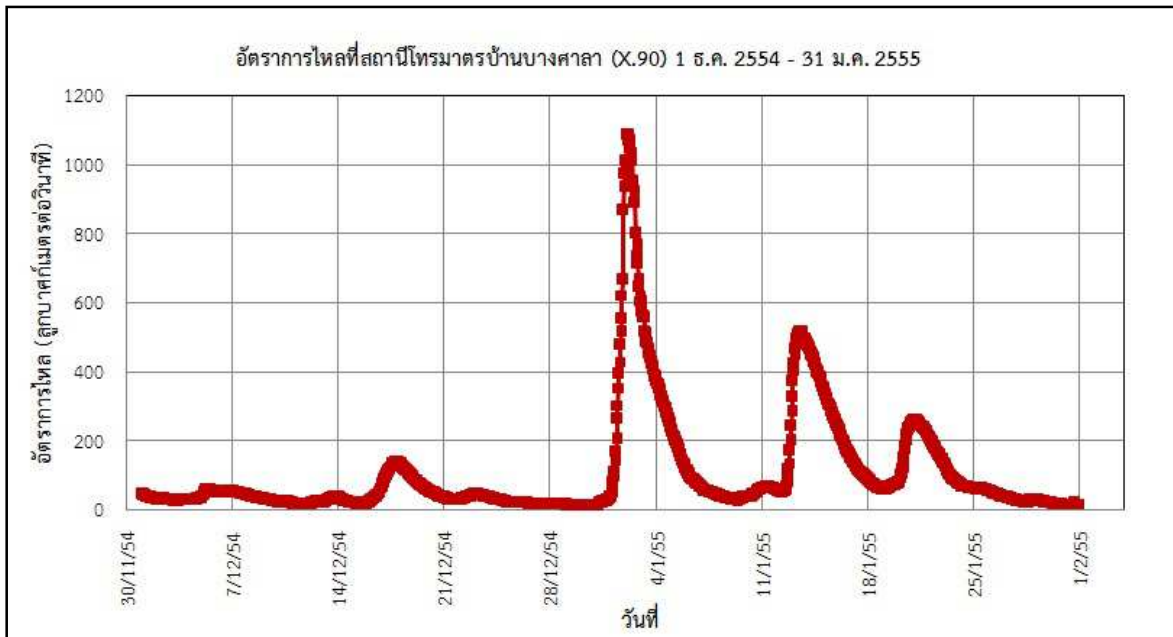
ข้อมูลระดับน้ำจากการรวบรวมข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรของกรมชลประทานสามารถสรุปในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับเวลาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2555 แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 โดยระดับน้ำสูงขึ้นถึงระดับเตือนภัย (สูงกว่า +8.00 ม.รทก.) สองครั้งคือวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 และ 12 มกราคม พ.ศ. 2555 และระดับน้ำสูงจนเกิดน้ำท่วม (ธงแดง) เมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 โดยมีระดับสูงสุดเท่ากับ +10.00 ม.รทก.



รูปที่ 4.4 ระดับน้ำรายชั่วโมงที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2555 (กรมชลประทาน)

4.1.4 ข้อมูลอัตราการไหล

ข้อมูลอัตราการไหลได้ทำการรวบรวมจากข้อมูลอัตราการไหลของน้ำรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรของกรมชลประทานเช่นเดียวกับข้อมูลระดับน้ำ และสามารถสรุปในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเทียบกับเวลา ที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2555 แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 โดยมีอัตราการไหลสูงสุดที่ 1085 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีที่มีการเกิดซ้ำ 8 ปี เมื่อวันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2555 จนทำให้เกิดน้ำท่วม (ตารางข้อมูลอัตราการไหลในช่วง ธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึง มกราคม พ.ศ. 2555 แสดงไว้ในภาคผนวก ค.)



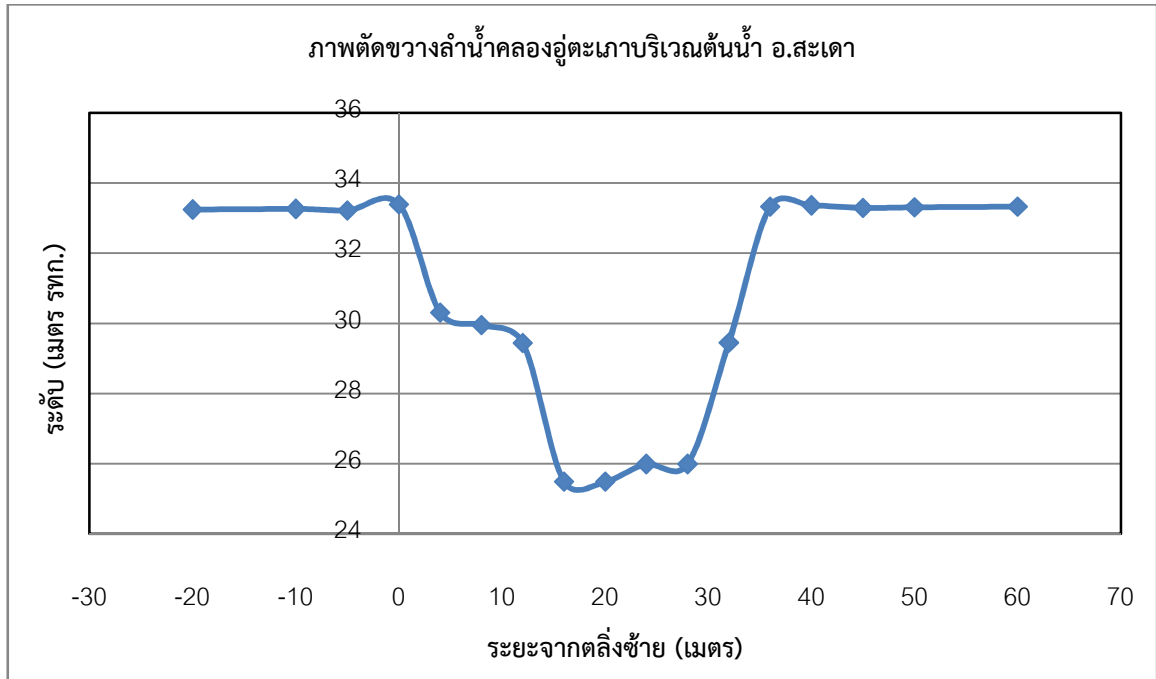
รูปที่ 4.5 อัตราการไหลรายชั่วโมงสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือน มกราคม พ.ศ. 2555 (กรมชลประทาน)

4.1.5 ข้อมูลหน้าตัดลำน้ำ

สำหรับข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำ หรือ Cross-section ของคลองอุต๊ะเกาจัดทำโดยการออกสนามเพื่อสำรวจระดับ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของหน้าตัด และรวมทั้งการรวบรวมข้อมูลหน้าตัดคลอง ร.1 จากกรมชลประทาน ซึ่งจะได้ชุดข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระยะจากตลิ่งซ้ายกับระดับของหน้าตัดแต่ละช่วงของคลองอุต๊ะเกา ตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดลำน้ำของคลองอุต๊ะเกา 5 จุดได้แก่

- 1) บริเวณต้นน้ำพื้นที่อำเภอสะเดา (ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.1)
- 2) สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก้อง (X.173A) (ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2)
- 3) สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) (ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.3)
- 4) สถานีโทรมาตรบ้านหาดใหญ่ใน (X.44) (ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.4)
- 5) บริเวณปลายน้ำพื้นที่บ้านแหลมโพธิ์ (ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.5)

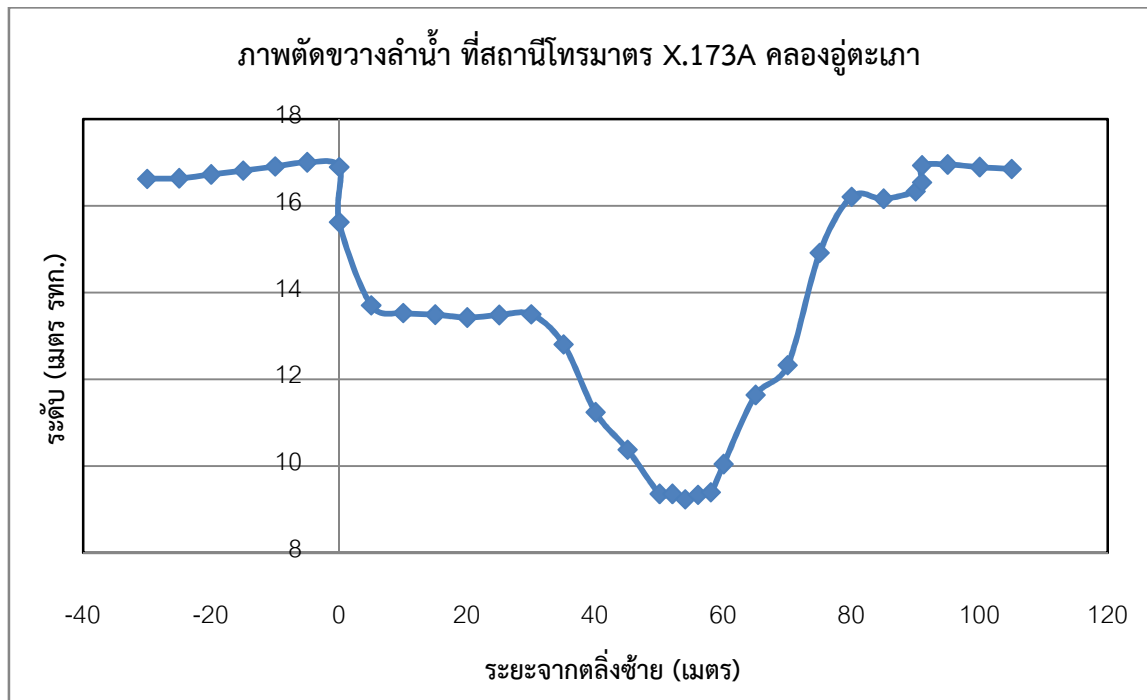
และตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดลำน้ำของคลองระบายน้ำสายที่ 1 (ร.1) ตำแหน่ง N772454 E661089 ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะหน้าตัดตลิ่งน้ำของคลองอุตะเถาที่บริเวณต้นน้ำพื้นที่อำเภอสะเตา

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำของคลองอุตะเถาที่บริเวณต้นน้ำพื้นที่อำเภอสะเตา

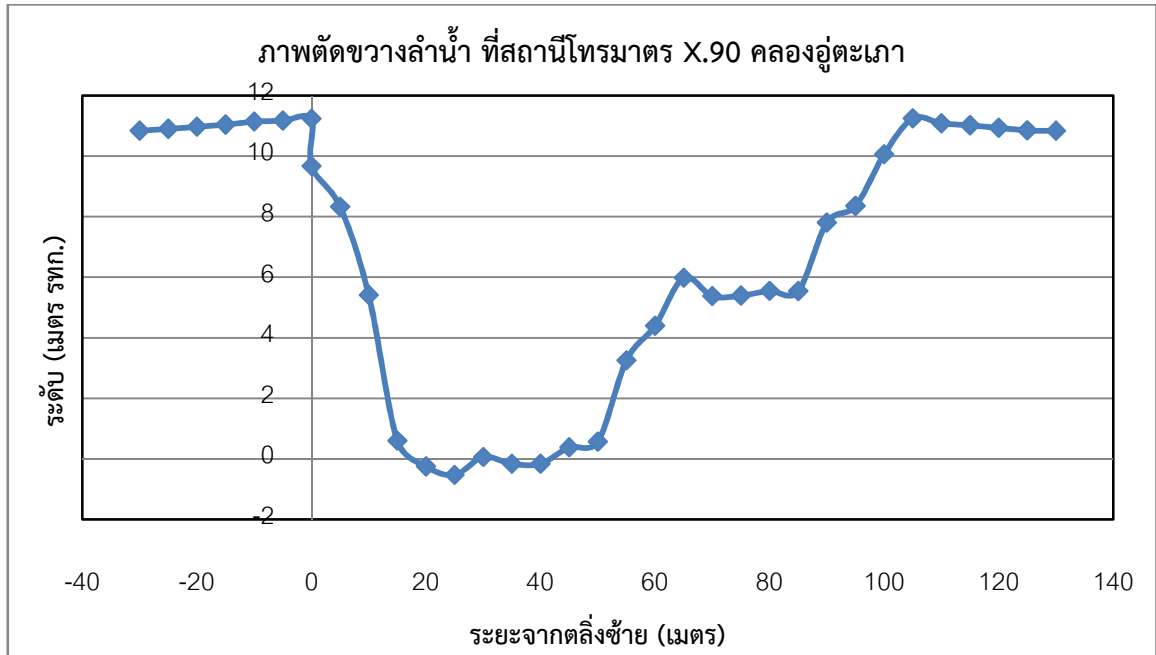
ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)	ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)
-20	33.24	24	25.99
-10	33.26	28	25.99
-5	33.22	32	29.45
0	33.39	36	33.33
4	30.31	40	33.36
8	29.95	45	33.29
12	29.44	50	33.31
16	25.49	60	33.33
20	25.49		



รูปที่ 4.7 ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุตะเถาที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก้อง (X.173A)

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำของคลองอุตะเถาที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก้อง (X.173A)

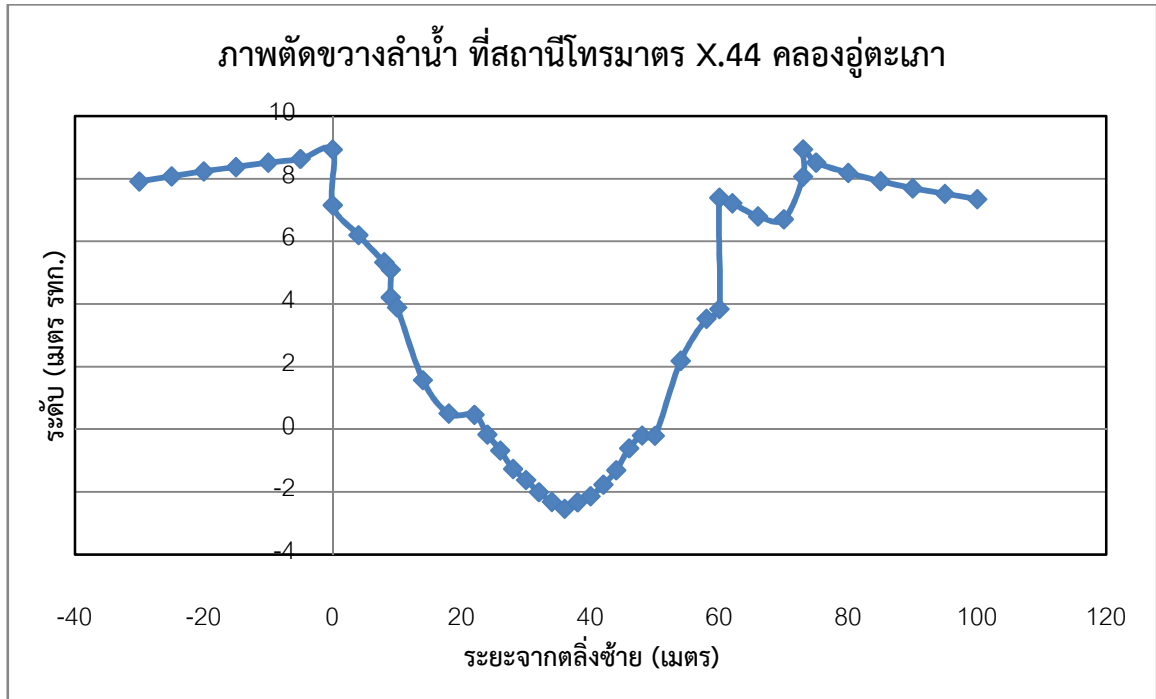
ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)	ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)	ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)
-30	16.618	30	13.496	80	16.208
-25	16.632	35	12.803	85	16.158
-20	16.72	40	11.234	90	16.333
-15	16.812	45	10.374	91	16.537
-10	16.908	50	9.352	91	16.926
-5	17	52	9.352	95	16.949
0	16.892	54	9.232	100	16.89
0	15.62	56	9.332	105	16.851
5	13.704	58	9.392	110	16.821
10	13.525	60	10.04	115	16.761
15	13.486	65	11.634	120	16.733
20	13.421	70	12.324		
25	13.48	75	14.913		



รูปที่ 4.8 ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุตะเถาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำของคลองอุตะเถาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)

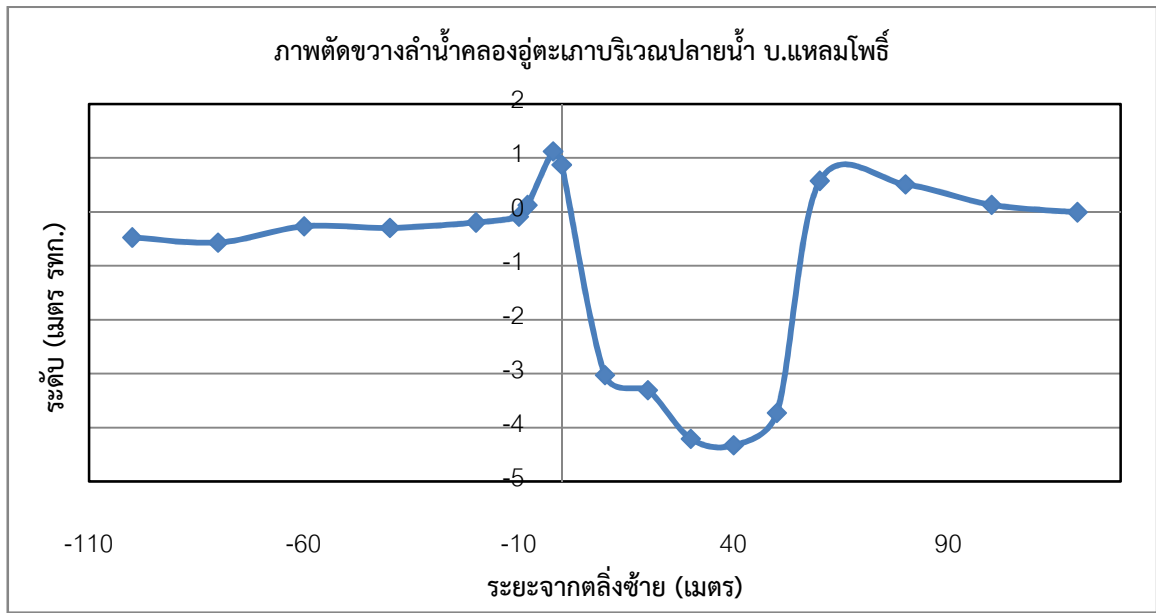
ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)	ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)	ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)
-30	10.842	25	-0.531	85	5.544
-25	10.903	30	0.059	90	7.806
-20	10.972	35	-0.161	95	8.356
-15	11.044	40	-0.161	100	10.066
-10	11.142	45	0.379	105	11.247
-5	11.176	50	0.569	110	11.084
0	11.236	55	3.252	115	11.022
0	9.675	60	4.395	120	10.937
5	8.326	65	5.98	125	10.852
10	5.414	70	5.377	130	10.84
15	0.599	75	5.393		
20	-0.251	80	5.548		



รูปที่ 4.9 ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุ้มตะเกาที่สถานีโทรมาตรบ้านหาดใหญ่ใน (X.44)

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำของคลองอุ้มตะเกาที่สถานีโทรมาตรบ้านหาดใหญ่ใน (X.44)

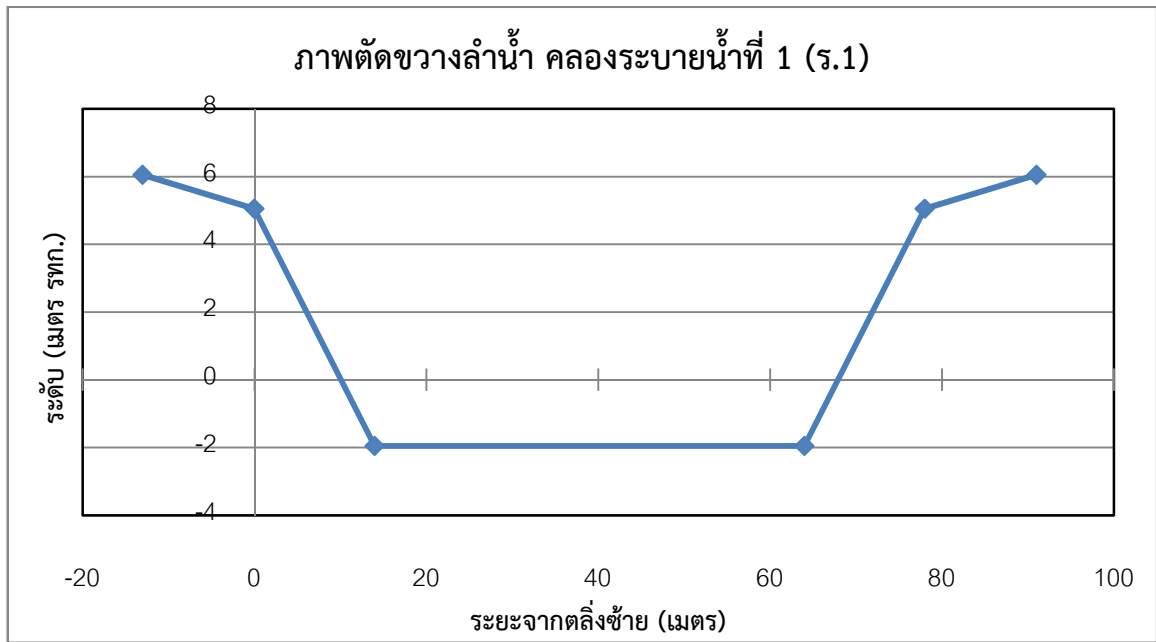
ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)	ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)	ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)
-30	7.913	22	0.462	54	2.185
-25	8.074	24	-0.169	58	3.527
-20	8.234	26	-0.679	60	3.838
-15	8.371	28	-1.269	60	7.39
-10	8.512	30	-1.619	62	7.217
-5	8.631	32	-2.009	66	6.797
0	8.931	34	-2.319	70	6.704
0	7.153	36	-2.539	73	8.065
4	6.196	38	-2.329	73	8.936
8	5.332	40	-2.139	75	8.516
9	5.096	42	-1.769	80	8.184
9	4.211	44	-1.309	85	7.918
10	3.889	46	-0.609	90	7.694
14	1.566	48	-0.199	95	7.518
18	0.502	50	-0.209	100	7.346



รูปที่ 4.10 ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองอุต๊ะเกาที่บริเวณปลายน้ำพื้นที่บ้านแหลมโพธิ์

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำของคลองอุต๊ะเกาที่บริเวณปลายน้ำพื้นที่บ้านแหลมโพธิ์

ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)	ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)
-100	-0.48	10	-3.03
-80	-0.57	20	-3.31
-60	-0.27	30	-4.21
-40	-0.3	40	-4.33
-20	-0.2	50	-3.73
-10	-0.09	60	0.57
-8	0.12	80	0.51
-2	1.12	100	0.13
0	0.87	120	-0.01



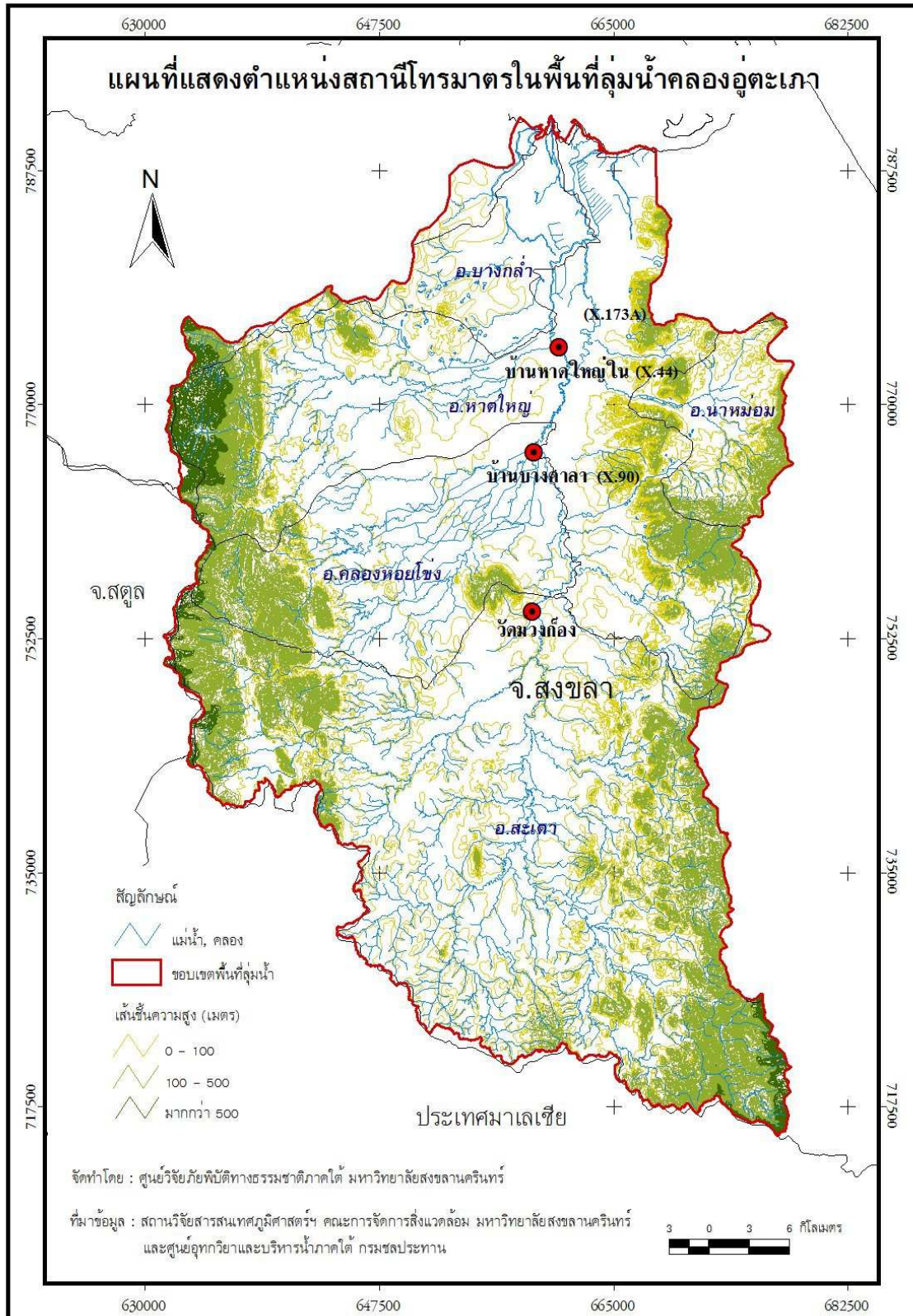
รูปที่ 4.11 ลักษณะหน้าตัดลำน้ำของคลองระบายน้ำที่ 1 (ร.1)

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำของคลองระบายน้ำที่ 1 (ร.1)

ระยะจากตลิ่งซ้าย (เมตร)	ระดับ (เมตร รทก.)
-13	6.05
0	5.05
14	-1.95
64	-1.95
78	5.05
91	6.05

4.1.6 ข้อมูลแผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตลำน้ำ และที่ตั้งของสถานีโทรมาตร

ข้อมูลแผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตลำน้ำ และที่ตั้งของสถานีโทรมาตร เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้น้ำเข้าแบบจำลองเพื่อกำหนดพื้นที่ในการวิเคราะห์ แนวเส้นลำน้ำที่จะทำการวิเคราะห์ รวมถึงตำแหน่งที่เป็นเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง (Boundary conditions) โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้ กรมชลประทาน สำนักทรัพยากรน้ำภาค 8 กรมทรัพยากรน้ำ และสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตลำน้ำและที่ตั้งของสถานีโทรมาตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตลำน้ำและที่ตั้งของสถานีโทรมาตร ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกา

4.1.7 ข้อมูลภูมิประเทศเชิงตัวเลข (DEM)

ข้อมูลระดับเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) เป็นข้อมูลที่บอกถึงลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ ซึ่งจำเป็นในการสร้างแผนที่น้ำท่วม ข้อมูล DEM ที่นำเข้าแบบจำลองจะต้องอยู่ในรูปของข้อมูลพิกัดของกริดในแนวนอน-แนวตั้งและค่าระดับเทียบกับระดับทะเลปานกลางที่กริดนั้นๆ โดยข้อมูล DEM ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาได้แสดงในรูปของแผนที่ดังรูปที่ 4.13

4.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-runoff model) ของลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูลแบบจำลอง ผลการปรับเทียบแบบจำลอง และผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง รายละเอียดผลการดำเนินงานมีดังนี้

4.2.1 การนำเข้าข้อมูลแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

การนำเข้าข้อมูลแบบจำลองประกอบด้วย การกำหนดพื้นที่รับน้ำ การกำหนดตำแหน่งสถานีโทรมาตร และการกำหนดค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง รายละเอียดมีดังนี้

1) การกำหนดพื้นที่รับน้ำ (Catchment area)

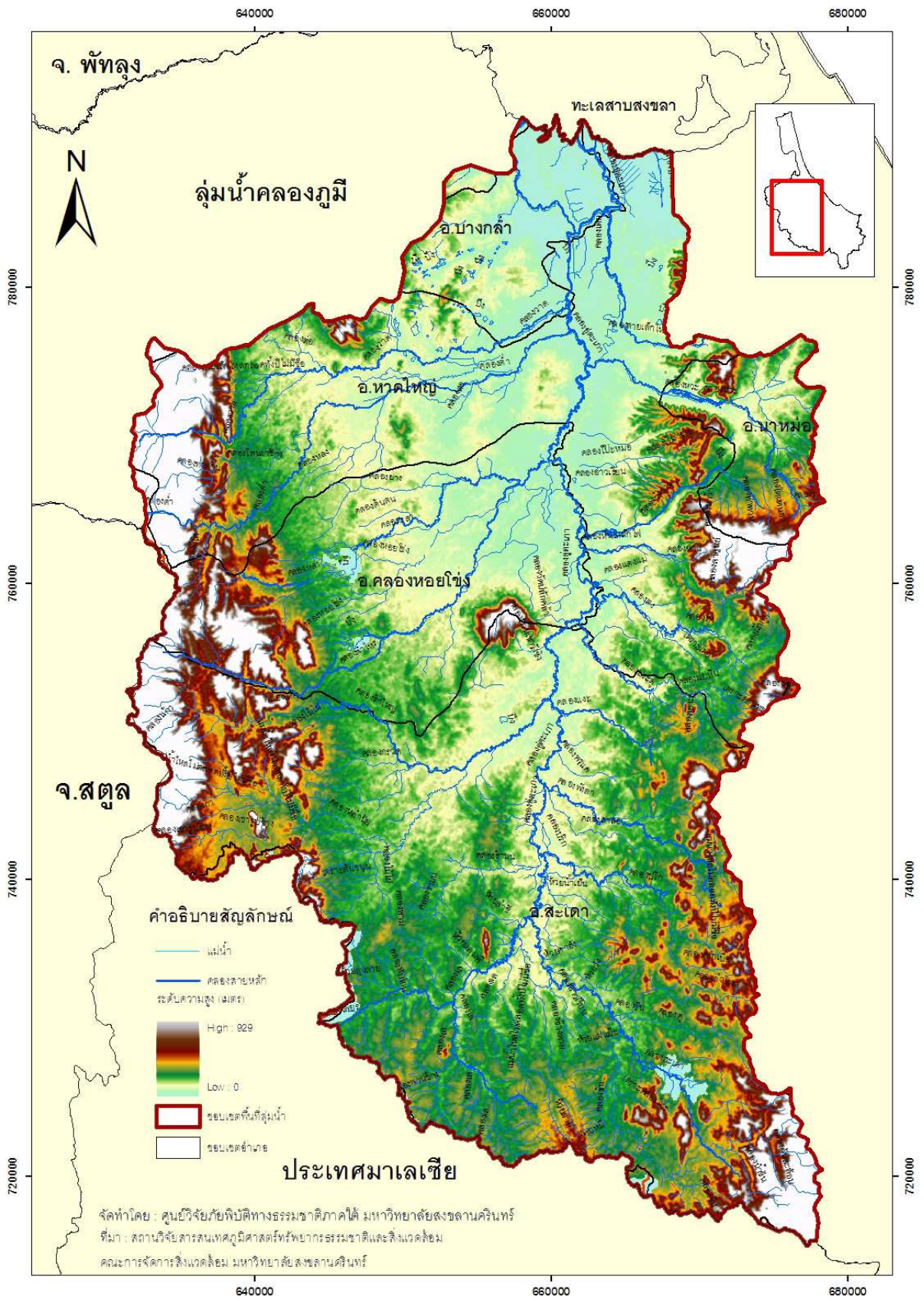
ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาบริเวณก่อนถึงสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) เป็นพื้นที่รับน้ำสำหรับการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะได้ค่าประมาณปริมาณน้ำท่าที่สัมพันธ์กับเวลา ณ สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) โดยพื้นที่รับน้ำที่ได้มีขนาด 1487.4 ตารางกิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14

2) ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน

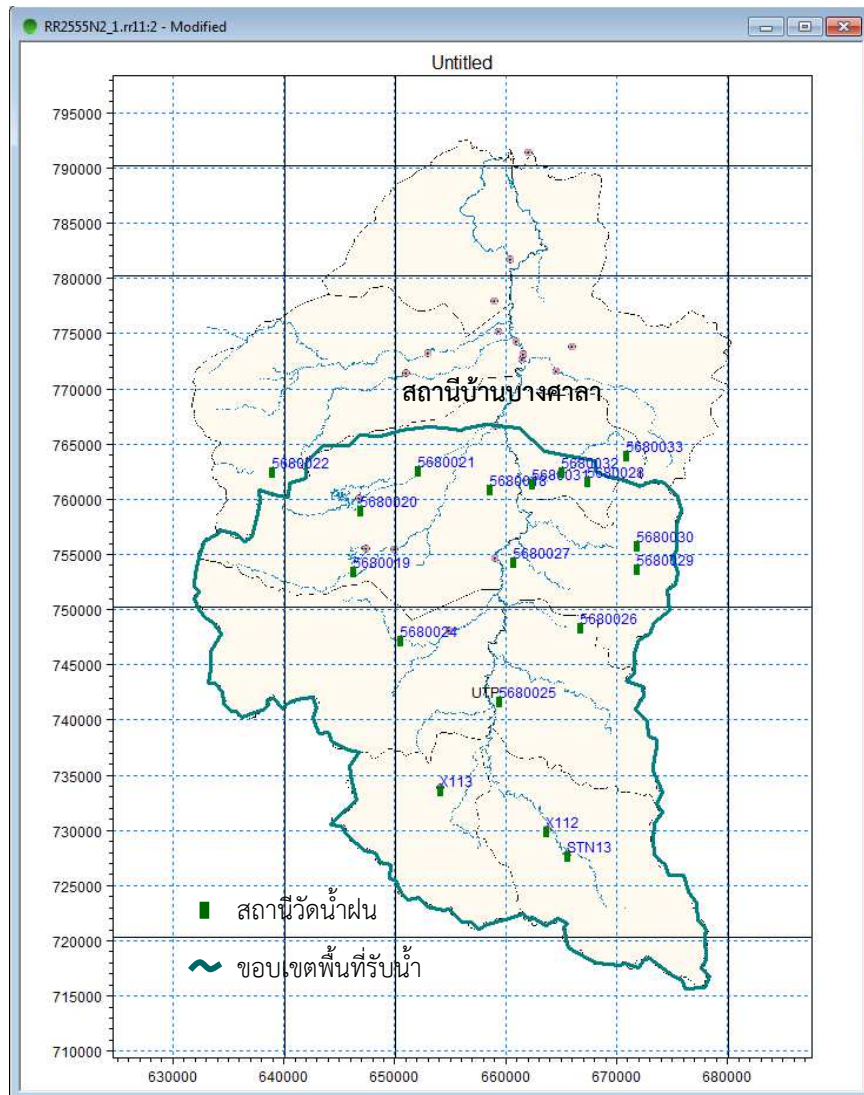
การกำหนดตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่รับน้ำ เป็นการกำหนดจุดตัวแทนข้อมูลน้ำฝนจากการตรวจวัดจริง เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณฝนเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาโดยใช้พื้นที่ไทเสน (Thiessen's polygons) ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุฯ 15 สถานี และกรมชลประทานอีก 3 สถานี รวมทั้งหมด 18 สถานี

3) การกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับ NAM model

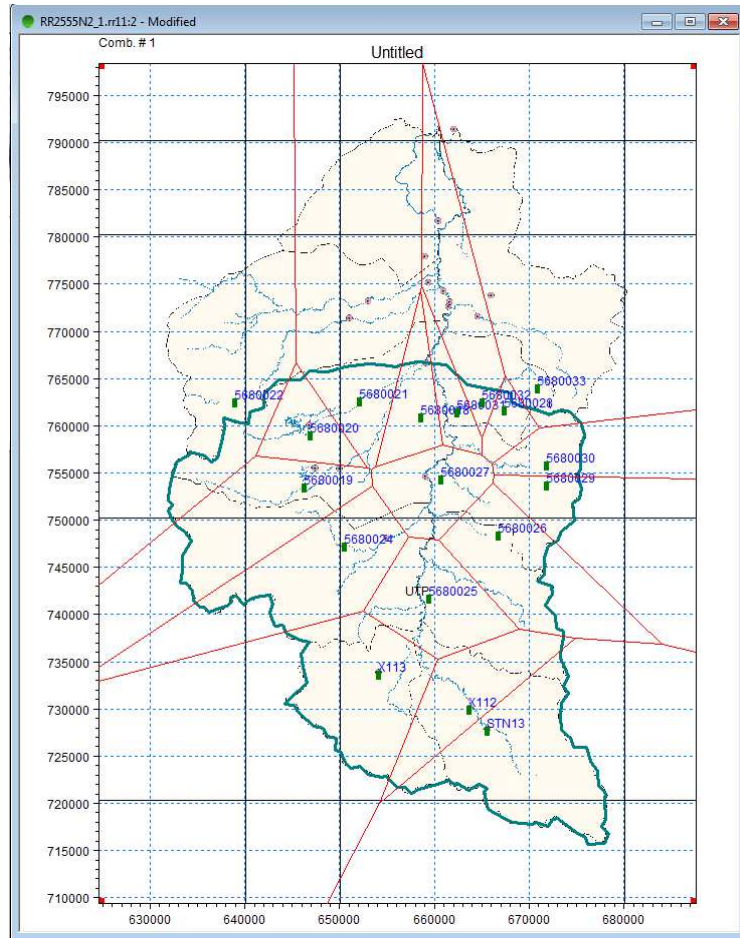
การสร้างไฟล์พารามิเตอร์สำหรับ NAM model สำหรับพื้นที่ศึกษา หรือค่า RR parameter ซึ่งเป็นค่าที่จะต้องทำการปรับแก้สำหรับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า โดยในไฟล์ RR parameter นี้จะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการปรับเทียบหาชุดของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.16



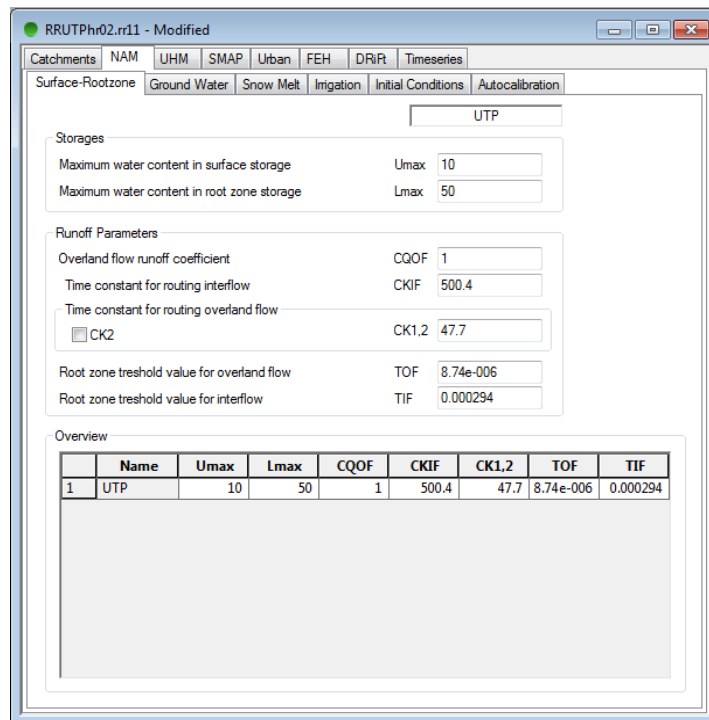
รูปที่ 4.13 ข้อมูลระดับเชิงตัวเลข (DEM) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา



รูปที่ 4.14 การกำหนดพื้นที่รับน้ำในการจำลองการเกิดน้ำท่า



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนและพื้นที่ไทเซนเพื่อคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย



รูปที่ 4.16 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของ NAM model

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

ผลการเปรียบเทียบ (Calibration) ค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model สำหรับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา โดยการนำค่าปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริงเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่คำนวณจากแบบจำลองเพื่อหาชุดพารามิเตอร์ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือ (R^2) ที่ดีที่สุด ผลการเปรียบเทียบพบว่า พารามิเตอร์ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดีที่สุดแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองเท่ากับ 0.919 กราฟผลการเปรียบเทียบ แสดงในรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง

Umax	Lmax	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF	TG	CKBF
10	50	0.88	500	48	0.01	0.6	0.6	1500

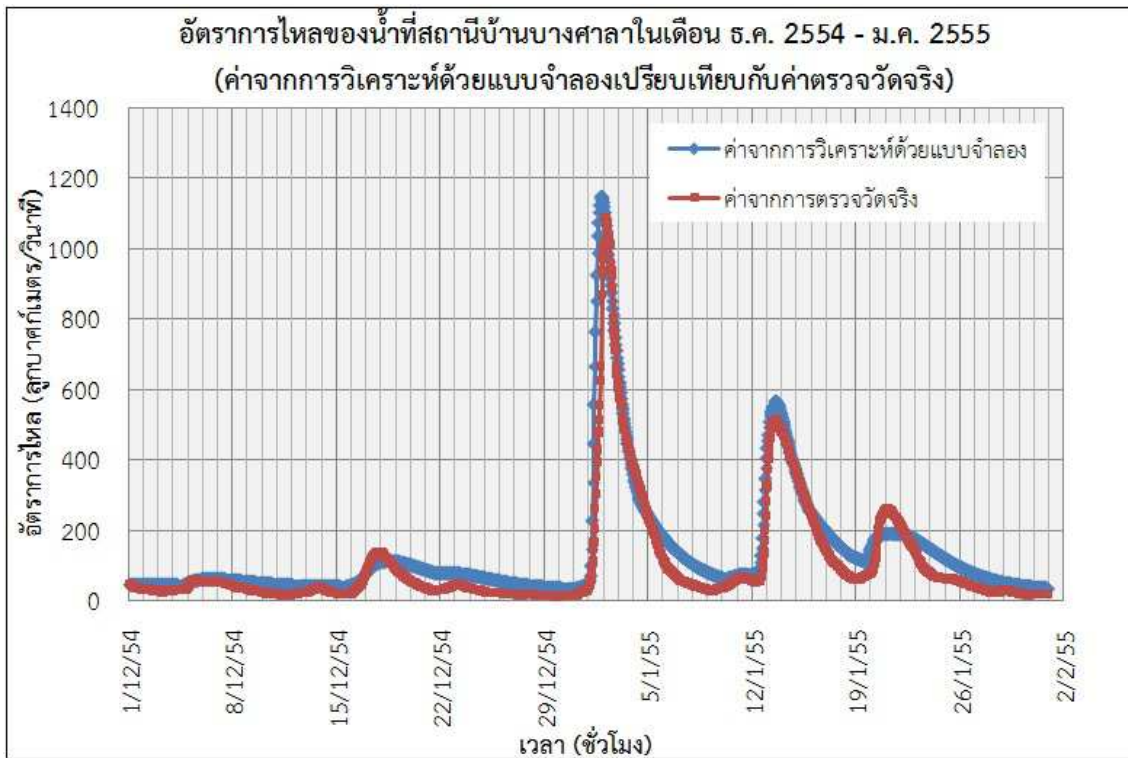
หมายเหตุ: ค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Umax คือ ปริมาณน้ำที่ตกค้างอยู่ตามผิวดิน (มิลลิเมตร)
- Lmax คือ ความสามารถในการเก็บกักน้ำในแหล่งน้ำชั้นล่าง (มิลลิเมตร)
- CQOF คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่า
- CKIF คือ กำหนดเวลาในการเกิดน้ำซึมผิวดิน (interflow) (ชั่วโมง)
- CK1,2 คือ การเคลื่อนตัวของน้ำผิวดินและน้ำซึมผิวดินตามความลาดชันของกลุ่มน้ำมายังท้ายน้ำ (ชั่วโมง)
- TOF คือ ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของการไหลผิวดิน
- TIF คือ ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของการไหลซึมผิวดิน
- TG คือ ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของการไหลซึมลงดิน
- CKBF คือ ความยาวนานในการเกิดการไหลของน้ำใต้ผิวดิน (ชั่วโมง)

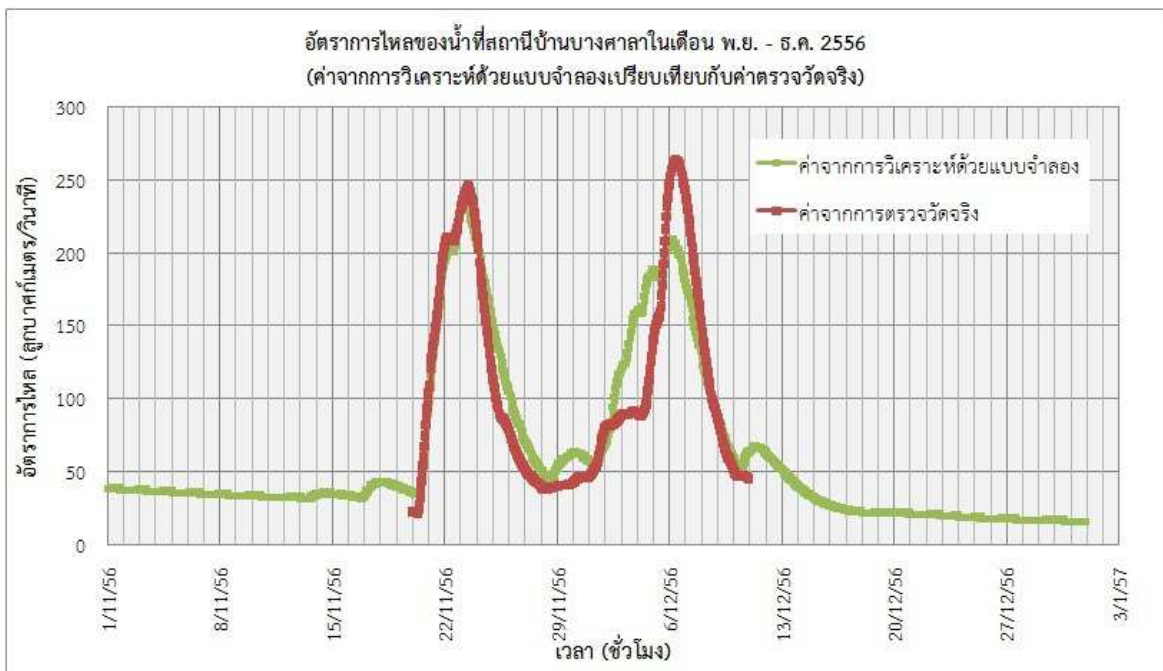
4.2.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

จากการทำการปรับเทียบแบบจำลองและได้ค่าพารามิเตอร์สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาแล้ว จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลฝนอีกชุดเพื่อคำนวณการเกิดน้ำท่าและเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงอีกครั้ง โดยได้เลือกชุดข้อมูลในเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งมีคาบการเกิดซ้ำ 3 ปี ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการนำค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมาเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงดังแสดงในรูปที่ 4.18 พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือ (R^2) เท่ากับ 0.854 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 4.17 อัตราการไหลรายชั่วโมงในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ที่สถานีบ้านบางศาลา เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง



รูปที่ 4.18 อัตราการไหลรายชั่วโมงในเดือนพฤศจิกายน ถึงธันวาคม พ.ศ. 2556 ที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง

4.3 ผลการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล

ผลการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic model) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การนำเข้าข้อมูลสำหรับแบบจำลองสภาพการไหล การเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการไหล และการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง รายละเอียดมีดังนี้

4.3.1 การนำเข้าข้อมูลสำหรับแบบจำลองสภาพการไหล

สำหรับขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลสำหรับแบบจำลองสภาพการไหลประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาที่จำเป็นในการจำลองสภาพการไหลของลำน้ำ รวมถึงการกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของการจำลอง ผลการดำเนินงานมีดังนี้

1) การนำเข้าข้อมูลลักษณะหน้าตัดลำน้ำ

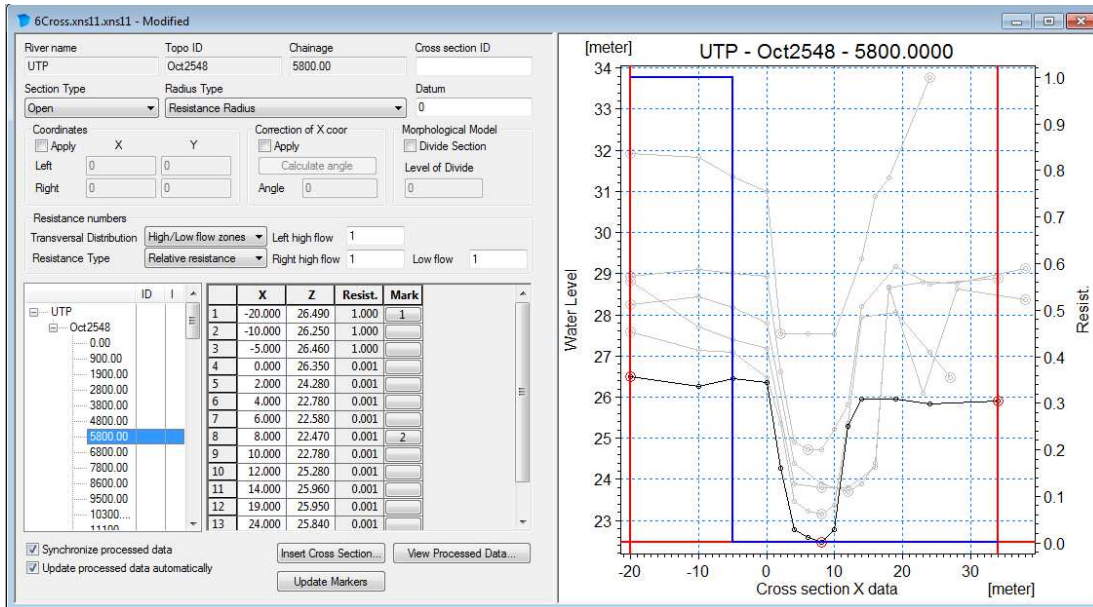
ข้อมูลลักษณะหน้าตัดลำน้ำหรือ Cross-section เป็นตัวบอกระดับความลึกของท้องคลอง ความสูงของตลิ่งซ้าย-ขวา รวมถึงความกว้างของคลอง ในการศึกษานี้ได้ทำการจำลองสภาพการไหลในคลองอุต๊ะเกา และคลองระบายน้ำสายที่ 1 (ร.1) ซึ่งเป็นคลองสายสำคัญที่ช่วยในการระบายน้ำอ้อมเมืองหาดใหญ่ โดยระยะห่างของชุดข้อมูลหน้าตัดที่นำเข้าแบบจำลองมีค่าประมาณ 1000 เมตร หรือทุกๆ 1 กิโลเมตร ลักษณะการนำเข้าข้อมูลลักษณะหน้าตัดลำน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 4.19 a) และ b)

2) โครงข่ายลำน้ำ (River network)

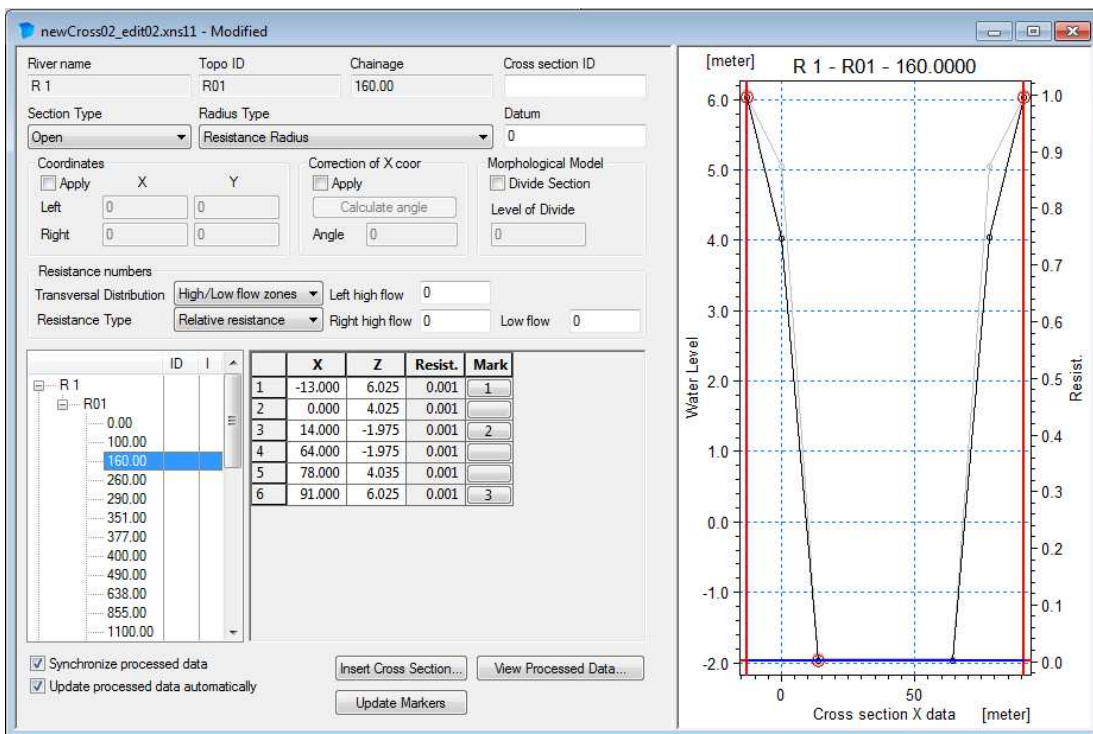
สำหรับโครงข่ายของลำน้ำในการศึกษานี้ ได้กำหนดให้คลองอุต๊ะเกาเป็นโครงข่ายลำน้ำสายหลักโดยมีจุดเริ่มต้นที่พื้นที่ต้นบริเวณอำเภอสะเดา กำหนดค่าให้เป็น Chainage เท่ากับ 0 และมีจุดสิ้นสุดบริเวณพื้นที่ปลายน้ำที่ทะเลสาบสงขลา มีค่า Chainage เท่ากับ 102620 คิดเป็นระยะทาง 102.62 กิโลเมตร และมีคลองระบายน้ำสายที่ 1 ซึ่งมีจุดเริ่มต้นที่ประตูระบายน้ำท่าเคียน สิ้นสุดที่ทะเลสาบสงขลา การสร้างโครงข่ายลำน้ำในแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.20

3) เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ของแบบจำลอง

เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองสภาพการไหลสำหรับคลองอุต๊ะเกากำหนดให้ที่จุดเริ่มต้นของลำน้ำที่ Chainage ที่ 0 เป็นขอบเขตบน (Upstream boundary) มีลักษณะเป็นลำน้ำแบบเปิด (Open boundary) โดยใช้ค่าอัตราการไหลเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขขอบเขต และกำหนดให้ที่จุดปลายที่ Chainage ที่ 102620 เป็นขอบเขตล่าง (Downstream boundary) มีลักษณะเป็นลำน้ำแบบเปิด มีค่าระดับน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นตัวควบคุม ส่วนคลองระบายน้ำสายที่ 1 กำหนดให้จุดเริ่มต้นมีการไหลผ่านของน้ำโดยอิสระ (ประตูน้ำท่าเคียนถูกยกलयเหนือน้ำ) ส่วนปลายเป็นมีลักษณะเป็นลำน้ำแบบเปิดมีค่าระดับน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นตัวควบคุมเช่นเดียวกับคลองอุต๊ะเกา

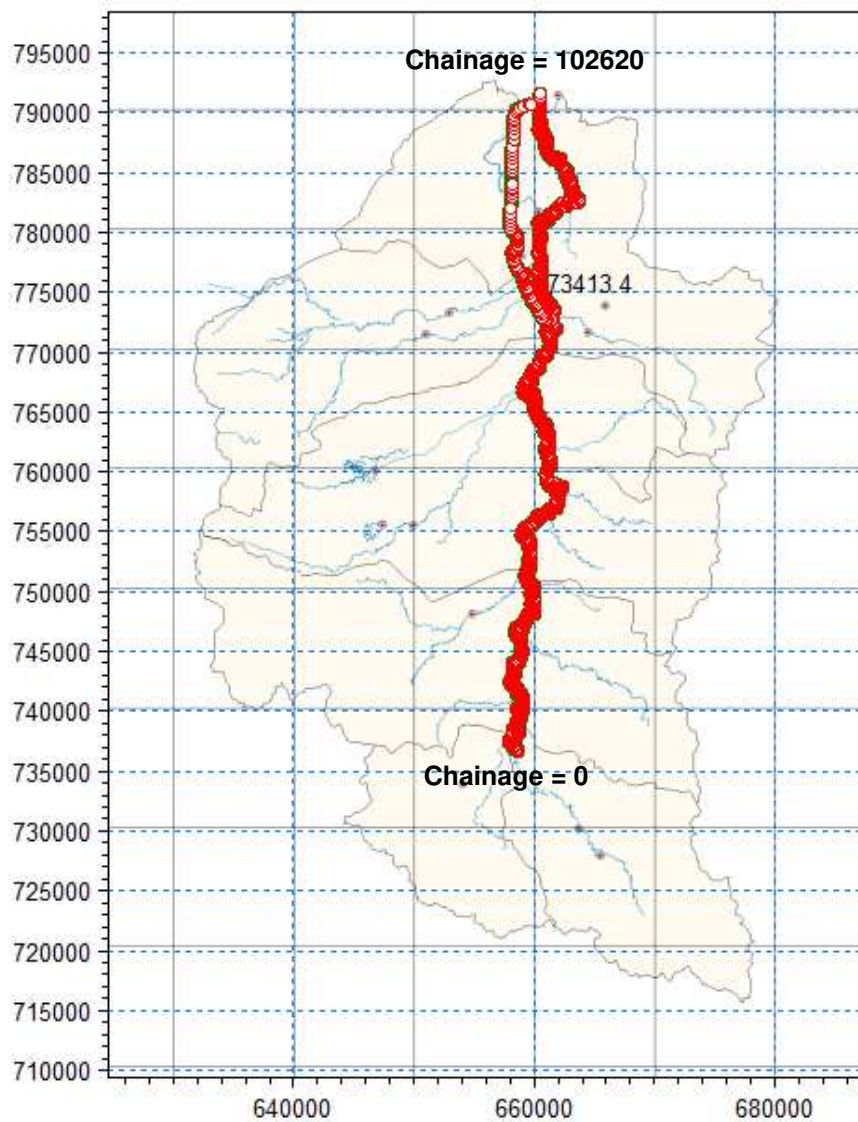


a)



b)

รูปที่ 4.19 การนำเข้าข้อมูลลักษณะหน้าตัดลำน้ำ a) คลองอุ้มเตา b) คลองระบายน้ำสายที่ 1



รูปที่ 4.20 โครงข่ายลำน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำ

4) ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องน้ำ (Resistance coefficient) เป็นพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยหลักในการจำลองสภาพการไหลในลำน้ำแบบเปิด โดยในการศึกษานี้ได้ทำการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องน้ำของคลองอุตะเกา และคลอง ร.1 ทำการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning (n) เริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.01-0.05

4.3.2 ผลการปรับเทียบแบบจำลองสภาพการไหล

การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) เป็นขั้นตอนในการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงที่วัดได้ โดยในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหลจะทำการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องคลอง (Resistance coefficient) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้

ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning (n) และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อถือได้ของแบบจำลองหรือค่า R^2 เป็นตัวชี้วัดโดยให้เกณฑ์ค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลองไม่น้อยกว่า 0.90 รายละเอียดผลการเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการไหลมีดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสภาพการไหล

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการไหลในคลองอุต๊ะเกาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือที่ดีที่สุดจากการเปรียบเทียบแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.959 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการไหล (Hydrodynamics model) โดยการนำค่าระดับน้ำที่วัดได้จริงจากสถานีตรวจวัดกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่สถานีบ้านบางศาลา (X.90) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับเวลาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดได้จริง

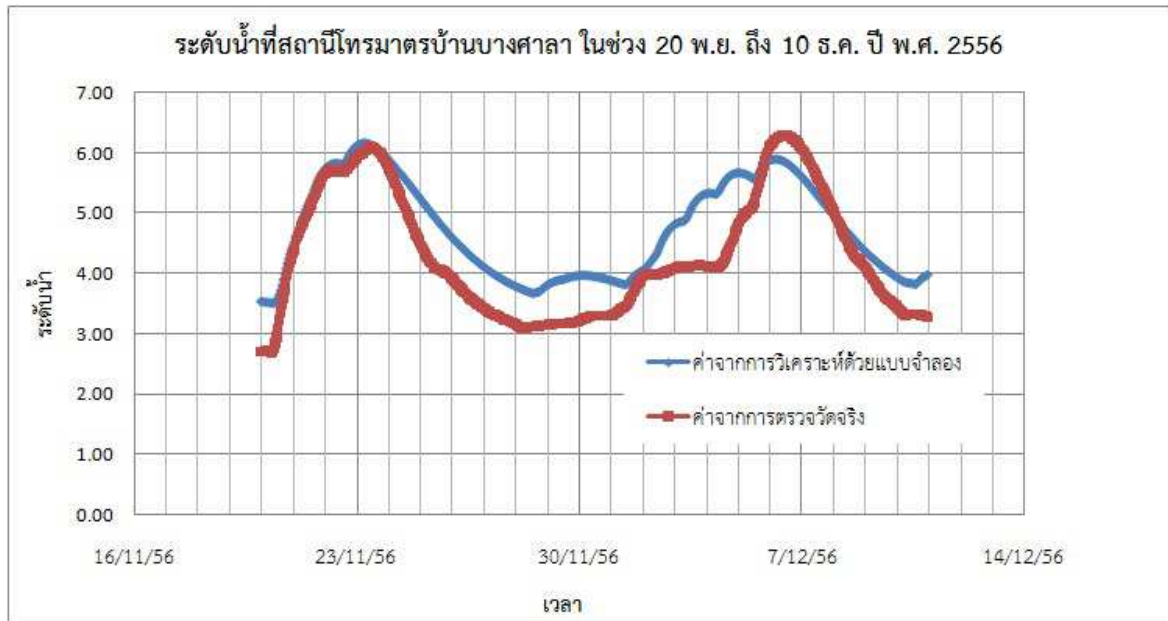
2) ค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning จากการเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการไหล

ค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning ของคลองอุต๊ะเกา และคลอง ร. 1 จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการไหล พบว่า คลองอุต๊ะเกามีค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning เท่ากับ 0.035 ส่วนคลอง ร. 1 มีค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning เท่ากับ 0.020

4.3.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองสภาพการไหล ทำได้โดยการนำข้อมูลฝนอีกชุดมาคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่เปรียบเทียบแล้ว และตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองอีกครั้งว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในคลองอุ

ตะเภาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือได้ค่าเท่ากับ 0.87 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะค่าระดับน้ำสูงสุดในช่วงวันที่ 23 พฤศจิกายน และ 6 ธันวาคม ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัดจริง ผลการตรวจสอบความถูกต้องแสดงได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับเวลาที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา ช่วงวันที่ 20 พ.ย. ถึง 10 ธ.ค. ปี พ.ศ. 2556 เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดได้จริง

4.4 ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม

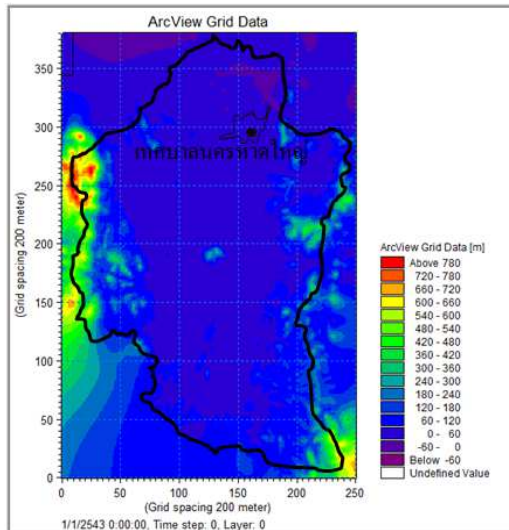
ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม ประกอบด้วย การเตรียมแบบจำลอง MIKE 21HD ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม และการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง รายละเอียดมีดังนี้

4.4.1 การเตรียมแบบจำลอง MIKE 21HD

การเตรียมแบบจำลอง MIKE21HD เพื่อเชื่อมต่อกับแบบจำลองสภาพการไหลในลำน้ำนั้น ข้อมูลสำคัญที่ต้องนำเข้าแบบจำลองคือข้อมูลค่าระดับเชิงตัวเลขหรือ Digital Elevation Model (DEM) ซึ่งบอกถึงลักษณะภูมิประเทศ ความสูงต่ำของระดับผิวดิน (มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับทะเลปานกลาง) ของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลมูลค่าระดับเชิงตัวเลขหรือ DEM ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และการกำหนดค่าของแบบจำลอง MIKE21HD แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การกำหนดค่าในแบบจำลอง MIKE21HD

รายการกำหนด	ค่ากำหนดในแบบจำลอง
1. Basic Parameters 1.1 Module Selection 1.2 Bathymetry 1.3 Simulation Period 1.3.1 Time step range 1.3.2 Time step interval 1.3.3 Simulation start date 1.3.4 Simulation end date 1.4 Boundary	Hydrodynamic Only WGS_1984_UTM_Zone_47N (DEM file) 0 - 3600 5 second 1/1/2012 10:00 AM 1/3/2012 12:00 PM User specified
2. Hydrodynamic Parameters 2.1 Initial Surface Elevation 2.2 Resistance (Manning number) 2.3 Wind Conditions	0.1 $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ No wind



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
380	5.139763	4.174878	3.213469	2.25822	1.303811	0.3569323	-0.5837945	-1.517333	-2.443128	-3.3801
379	5.724341	4.771524	3.821742	2.875664	1.933962	0.9973254	0.0664774	-0.877902	-1.774642	-2.68318
378	6.304904	5.364857	4.427363	3.49308	2.562675	1.636834	0.7162971	-0.1901303	-1.105555	-2.005
377	6.882205	5.955665	5.031154	4.109323	3.190628	2.276368	1.366693	0.4626371	-0.4348778	-1.3246
376	7.457186	6.544903	5.634103	4.725408	3.819471	2.917	2.018764	1.125627	0.2385405	-0.64145
375	8.030872	7.133689	6.237362	5.342515	4.449814	3.559968	2.673776	1.792123	0.9160029	0.046473
374	8.604578	7.723315	6.842249	5.962001	5.083233	4.206675	3.333146	2.463527	1.598962	0.74641
373	9.179707	8.315235	7.450251	6.585374	5.721267	4.856881	3.990458	3.141559	2.29923	1.441
372	9.757848	8.911056	8.063021	7.214309	6.365616	5.5177	4.671445	3.827828	2.987932	2.155
371	10.34076	9.512803	8.682362	7.850639	7.018126	6.1886	5.353974	4.524258	3.697558	2.875
370	10.93034	10.12177	9.310231	8.496344	7.680785	6.864383	6.048048	5.232849	4.419888	3.610
369	11.52688	10.74066	9.948748	9.153526	8.35573	7.561156	6.755797	5.955697	5.147029	4.3605
368	12.13796	11.3715	10.60012	9.824449	9.045172	8.263176	7.479416	6.695027	5.911131	5.1288
367	12.76054	12.01863	11.26673	10.51143	9.751482	8.987739	8.221241	7.453004	6.684472	5.9165
366	13.39886	12.6785	11.95096	11.21692	10.47705	9.732267	8.963805	8.232233	7.479315	6.7265
365	14.05447	13.35965	12.65544	11.94343	11.22437	10.49119	9.768949	9.03462	8.29012	7.5596
364	14.733	14.0627	13.38296	12.69348	11.99595	11.25099	10.57968	9.66325	9.142885	8.4191
363	15.43415	14.79029	14.13527	13.48969	12.79433	12.11014	11.41826	10.71989	10.01628	9.3085
362	16.1611	15.54508	14.91588	14.27459	13.62201	12.95912	12.28707	11.60712	10.92049	10.222
361	16.91811	16.32974	15.72708	15.11072	14.48147	13.84033	13.1885	12.52723	11.85778	11.181
360	17.70631	17.14887	16.57142	15.96057	15.37514	14.75816	14.12484	13.48248	12.83036	12.185
359	18.52885	17.99901	17.45137	16.88653	16.30534	15.70885	15.09631	14.47504	13.84032	13.195
358	19.38824	18.8886	18.36926	17.83089	17.2743	16.70259	16.1103	15.50696	14.89869	14.265
357	20.28889	19.81795	19.32738	18.8158	18.2841	17.73339	17.16496	16.56018	15.90234	15.366
356	21.22701	20.78919	20.32772	19.84325	19.33667	18.80914	18.26195	17.69648	17.11401	16.51
355	22.21085	21.80426	21.37217	20.91504	20.43377	19.92953	19.40365	18.85747	18.29227	17.705
354	23.2396	22.86488	22.46238	22.03275	21.57893	21.09609	20.59153	20.06457	19.51647	18.948
353	24.31539	23.9725	23.59973	23.19773	22.76746	22.31066	21.82681	21.31897	20.78774	20.234
352	25.43925	25.12826	24.78533	24.41107	24.00641	23.57246	23.11045	22.62157	22.10695	21.561
351	26.61209	26.33308	26.02001	25.67353	25.29452	24.88401	24.44315	23.97301	23.4746	22.948
350	27.83442	27.58736	27.30421	26.98556	26.63221	26.24509	25.82522	25.37353	24.89069	24.376
349	29.10635	28.89124	28.63602	28.34722	28.01952	27.65571	27.25661	26.823	26.35557	25.855
348	30.42757	30.24437	30.0211	29.75817	29.45605	29.11544	28.73696	28.32007	27.86799	27.33
347	31.79726	31.64596	31.45267	31.21761	30.94108	30.62343	30.265	29.86609	29.42698	28.948
346	33.21413	33.09473	32.93144	32.72425	32.47319	32.17829	31.83961	31.45712	31.0309	30.561

รูปที่ 4.23 ข้อมูล Digital Elevation Model (DEM) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

4.4.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมและการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

1) การพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม

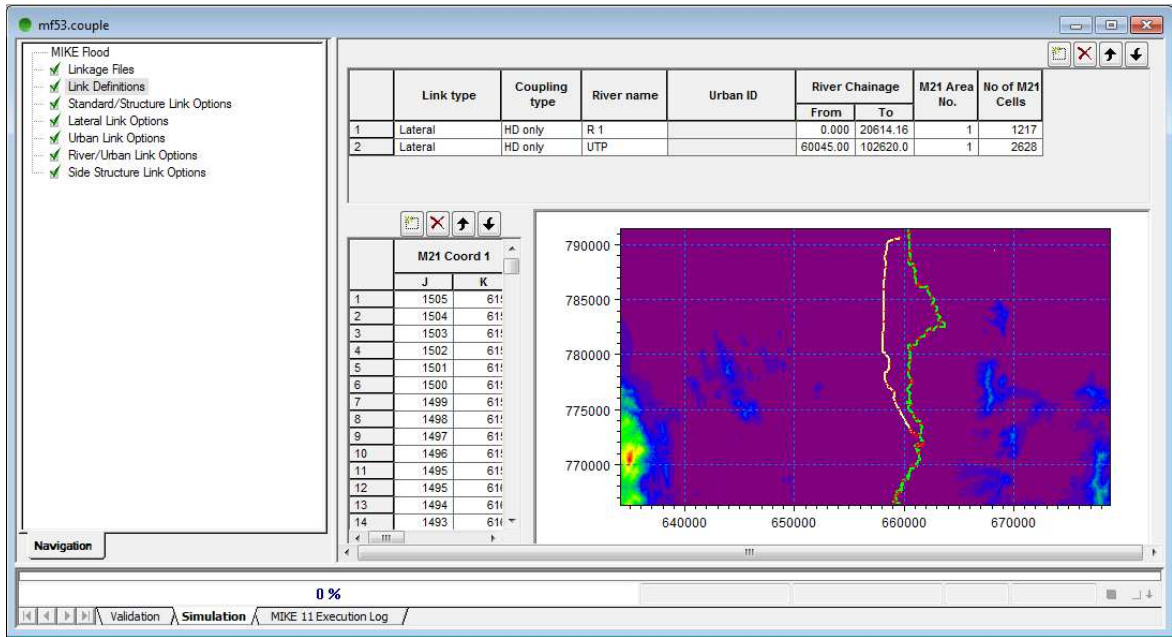
การพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมโดยใช้โปรแกรม MIKE Flood นั้นประกอบด้วย การเชื่อมต่อกันของแบบจำลอง 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลองสภาพการไหลในลำน้ำ (MIKE11 HD) และแบบจำลอง MIKE21HD ดังกล่าวข้างต้น หลังจากทำการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล MIKE11 HD และแบบจำลอง MIKE21HD แล้ว จากนั้นทำการเตรียมแบบจำลองน้ำท่วม MIKE Flood โดยเรียกไฟล์แบบจำลองทั้งสองมาไว้ในแบบจำลองน้ำท่วมและกำหนดค่าในแบบจำลองดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การกำหนดค่าในแบบจำลองน้ำท่วม

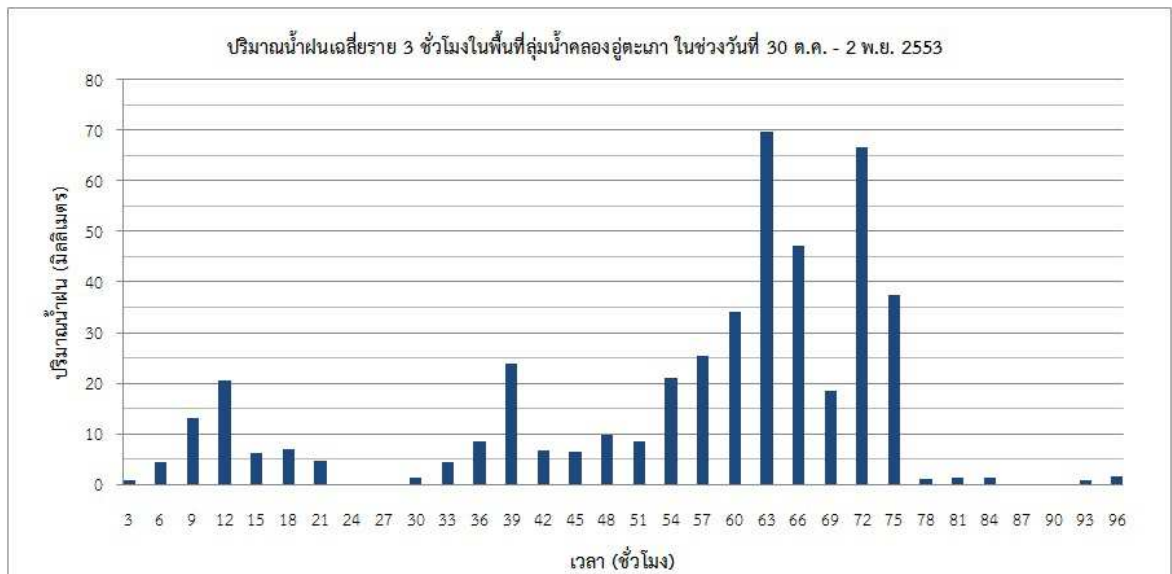
รายการกำหนด	ค่ากำหนดในแบบจำลอง
1. Link Definitions	
1.1 Link type	Lateral link
1.2 River name	UTP, R1
1.3 River Chainage	UTP 45 – UTP 2620 R1 0 – R1 614
2. Lateral Link Options	
2.1 M11HD side	Left
2.2 Method	Cell to cell

เมื่อทำการกำหนดค่าและเชื่อมต่อแบบจำลองสภาพการไหลของคลองอุต๊ะเกาะและคลอง ร.1 เข้ากับแบบจำลองน้ำหลาก (MIKE21HD) ดังแสดงในรูปที่ 4.24 แล้ว จากนั้นจึงทำการประมวลผลแบบจำลองน้ำท่วมโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 (ดังแสดงในรูปที่ 4.25) ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาะมีคาบการเกิดซ้ำ 30 ปี และเป็นช่วงที่มีข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองน้ำท่วม ผลการจำลองการเกิดน้ำท่วมแสดงได้ดังรูปที่ 4.26

ผลการจำลองการเกิดน้ำท่วมในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 พบว่า ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาะมีการเกิดน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่ราบลุ่มริมคลองอุต๊ะเกาะซึ่งไหลในแนวกึ่งกลางของลุ่มน้ำ พื้นที่ริมคลองสายย่อยซึ่งเป็นจุดที่บรรจบกับคลองอุต๊ะเกาะ รวมถึงพื้นที่ราบลุ่มบริเวณทิศเหนือของลุ่มน้ำซึ่งมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง



รูปที่ 4.24 การเชื่อมต่อข้อมูลคลองอุตะเถาและคลอง ร.1 (MIKE 11HD) เข้ากับไฟล์ข้อมูลค่าระดับเชิงตัวเลข (MIKE 21HD) ในแบบจำลองน้ำท่วม MIKE Flood



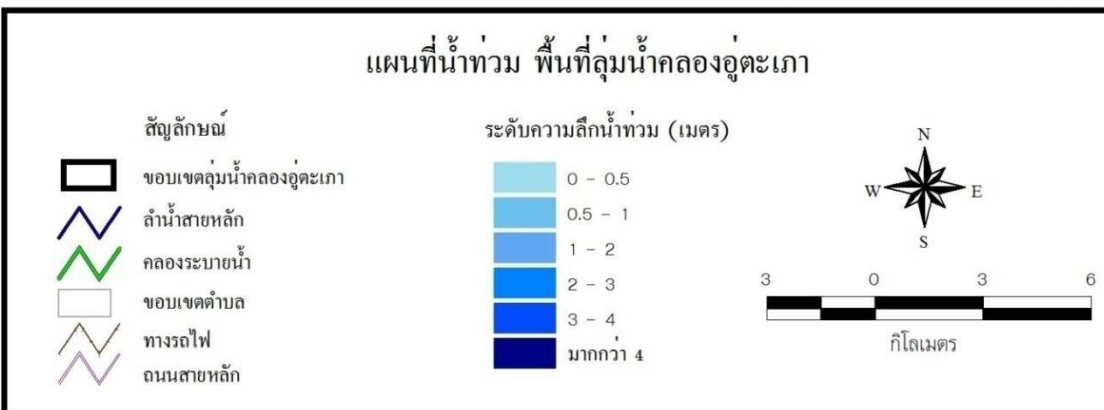
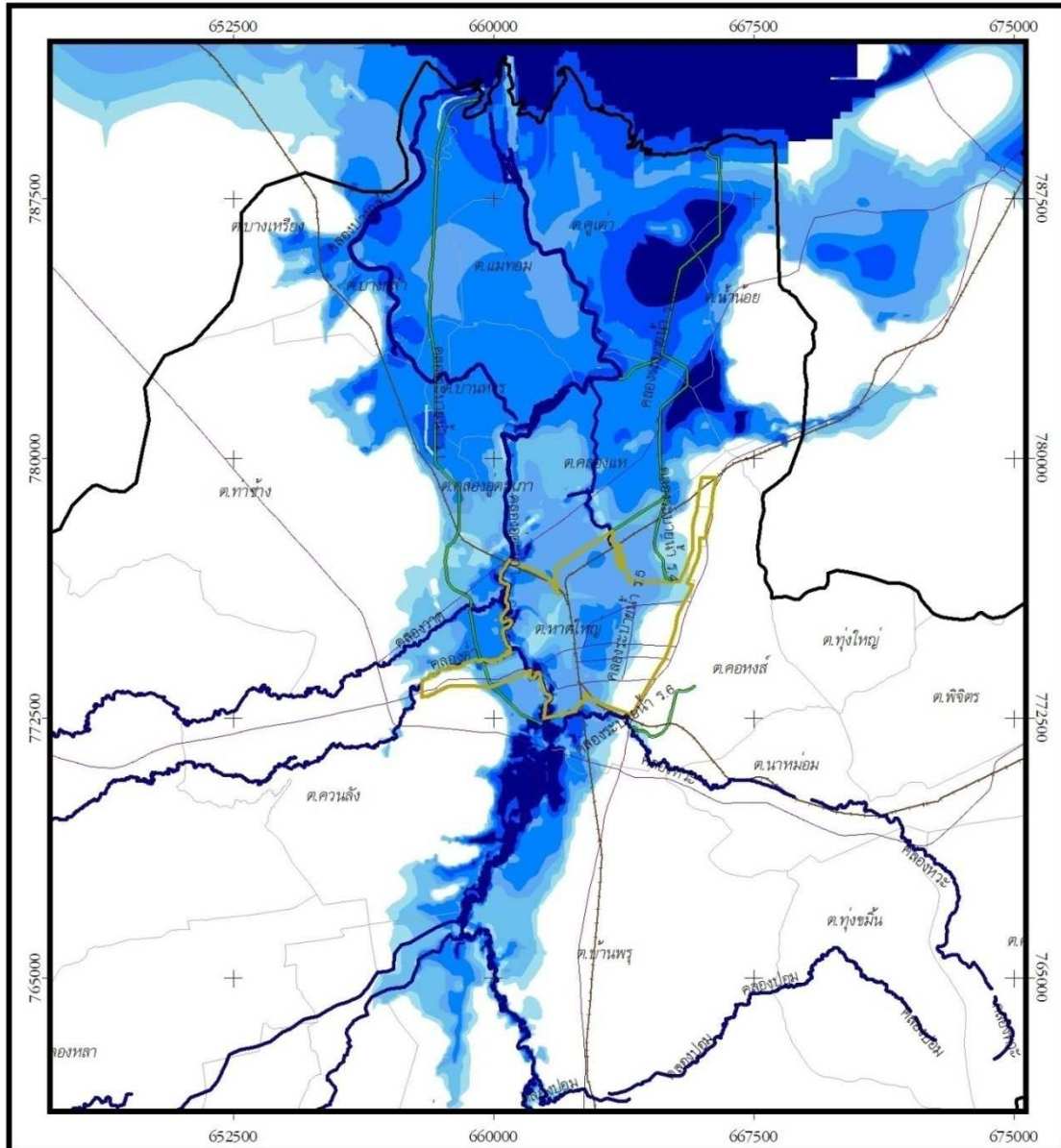
รูปที่ 4.25 ปริมาณน้ำฝนในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2553

2) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

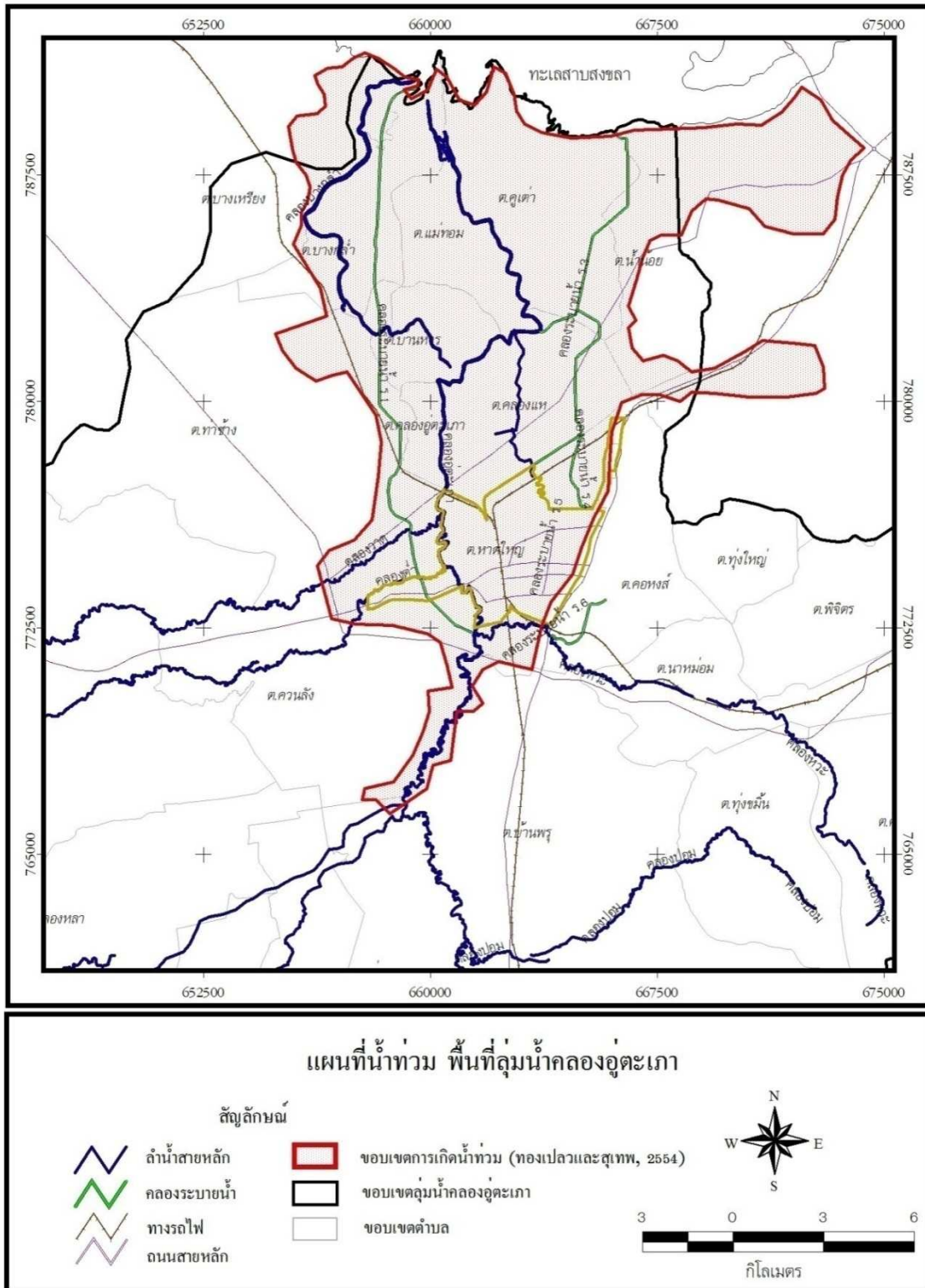
หลังจากทำการจำลองสภาพการเกิดน้ำท่วมและได้ผลการจำลองในรูปแบบของแผนที่แสดงขอบเขตการเกิดน้ำท่วมและความลึกของน้ำท่วมแล้ว จากนั้นตรวจสอบผลการจำลองโดยการนำข้อมูลที่มีการบันทึกไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ โดยในการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นที่การเกิดอุทกภัยของ ดร.ทองเปลว กองจันทร์ และ สุเทพ น้อยไพโรจน์ (2554) ที่ได้ทำการศึกษา อุทกภัยในอำเภอ

หาดใหญ่ ในปี 2553 โดยขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมจากการศึกษาดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 4.27 จากนั้นนำขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมจากข้อมูลการเกิดน้ำท่วมจริงและผลการจำลองมาซ้อนทับกันดังแสดงในรูปที่ 4.28

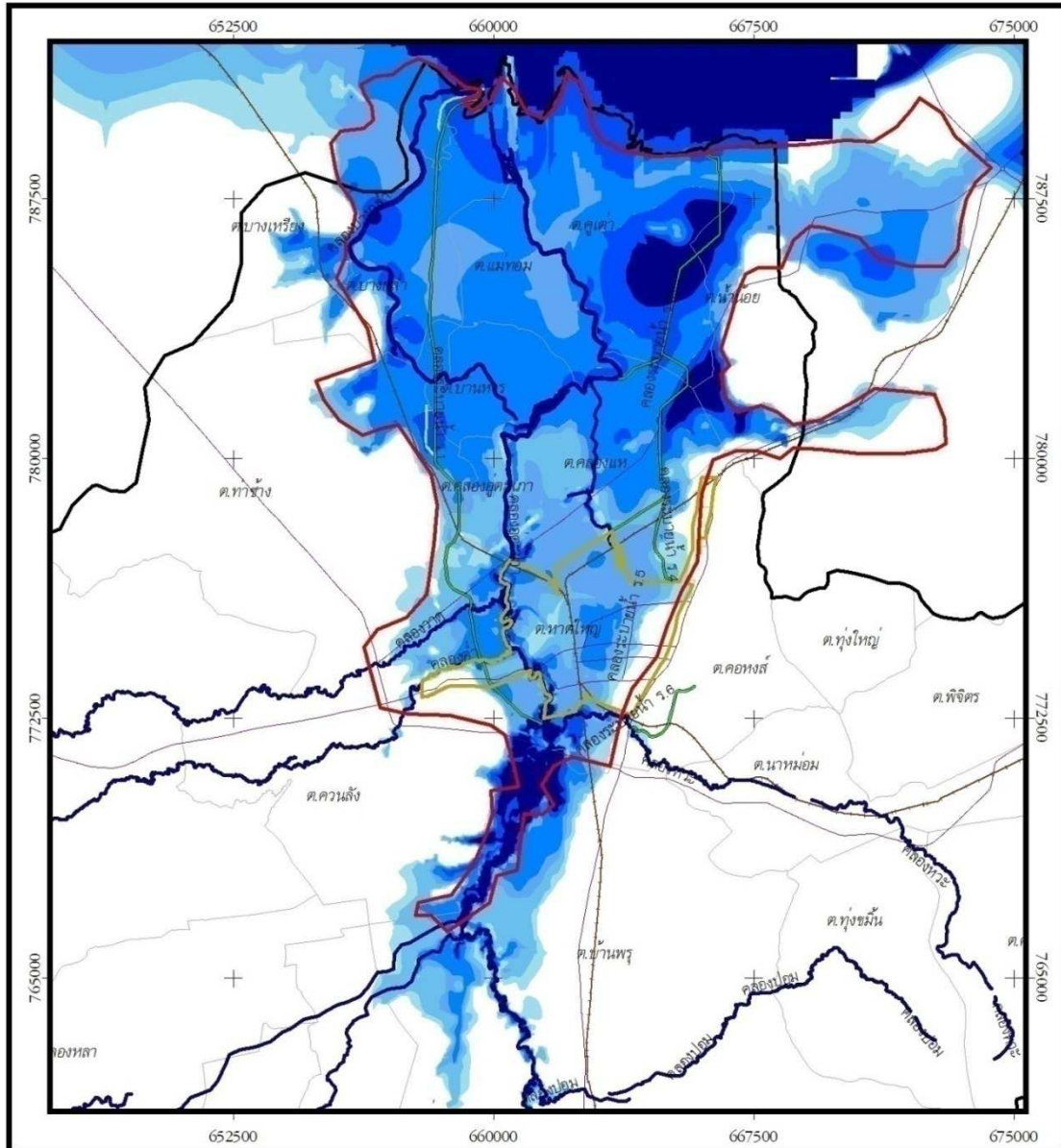
จากรูปที่ 4.28 พบว่า พื้นที่การเกิดน้ำท่วมที่ได้จากข้อมูลการเกิดน้ำท่วมจริงและผลการจำลองโดยแบบจำลองน้ำท่วมใกล้เคียงกัน เมื่อนำพื้นที่มาวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับกัน (Overlay) พบว่าพื้นที่น้ำท่วมที่ได้จากข้อมูลการเกิดน้ำท่วมจริงกับพื้นที่น้ำท่วมจากการจำลองโดยแบบจำลองน้ำท่วมมีส่วนที่ตรงกัน คิดเป็นร้อยละ 91.08 โดยมีส่วนที่แตกต่างกันเล็กน้อยในพื้นที่ขอบเขตการเกิดน้ำท่วมทางด้านทิศตะวันออก และด้านทิศใต้ สำหรับในส่วนของพื้นที่เมืองหาดใหญ่และชุมชนรอบนอกมีความสอดคล้องกัน



รูปที่ 4.26 ผลการจำลองการเกิดน้ำท่วมในในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม ถึง 2 พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2553



รูปที่ 4.27 พื้นที่น้ำท่วมใน ปี พ.ศ. 2553 (ทองเปลว และสุเทพ, 2554)



แผนที่น้ำท่วม พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา



รูปที่ 4.28 พื้นที่น้ำท่วมใน ปี พ.ศ. 2553 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงของทองเปลาวและสุเทพ (2554) และผลการจำลองด้วยแบบจำลองน้ำท่วมในการศึกษานี้

4.5 ผลการจัดทำแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

สำหรับการพัฒนาแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในโครงการนี้ ได้ใช้แนวทางที่ปรับปรุงจาก German Working Group of the Federal States on Water Issues, LAWA (2006) ซึ่งกล่าวว่าระดับความเสี่ยงภัยน้ำท่วมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสองประการ คือ ความรุนแรงของน้ำท่วม และความน่าจะเป็นของการเกิดน้ำท่วมจากสถิติ โดยการกำหนดระดับความรุนแรงจากค่าระดับน้ำท่วมที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่ และการพิจารณาโอกาสที่จะเกิดน้ำท่วมของคาบการเกิดซ้ำที่เป็นไปได้ ซึ่งการประเมินระดับน้ำท่วมและพื้นที่น้ำท่วมของแต่ละคาบการเกิดซ้ำทำได้โดยการประเมินจากแบบจำลองน้ำท่วมที่ได้ทำการพัฒนาไว้แล้วในการศึกษานี้ (หัวข้อ 4.4)

การพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาโดยการพิจารณาปัจจัยสำคัญสองส่วนคือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำท่วมโดยใช้คาบการเกิดซ้ำของการเกิดน้ำท่วม (Return Period) และระดับความรุนแรงของน้ำท่วมซึ่งพิจารณาจากระดับความลึกของน้ำท่วม (Inundation Depth) ซึ่งเมื่อพิจารณาประวัติการเกิดน้ำท่วม ร่วมกับสถิติการเกิดน้ำท่วมในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา สามารถจำแนกความน่าจะเป็นในการเกิดซ้ำออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

- ความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำท่วมสูง คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี
- ความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำท่วมปานกลาง คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี
- ความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำท่วมต่ำ คาบการเกิดซ้ำ 100 ปี

และแบ่งระดับความรุนแรงในการเกิดน้ำท่วมออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

- ระดับความรุนแรงในการเกิดน้ำท่วมสูง ระดับน้ำลึกกว่า 2 เมตร
- ระดับความรุนแรงในการเกิดน้ำท่วมปานกลาง ระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.5-2 เมตร
- ระดับความรุนแรงในการเกิดน้ำท่วมต่ำ ระดับน้ำอยู่ในช่วง 0-0.5 เมตร

การจำแนกระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วม (Flood risk) ทำได้โดยเกณฑ์ของความลึกของน้ำท่วมและความน่าจะเป็นของการเกิดน้ำท่วม โดยสามารถจำแนกออกเป็นระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วมได้ 3 ระดับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.29) ได้แก่ ระดับความเสี่ยงภัยน้ำท่วมต่ำ (Low risk, L) ระดับความเสี่ยงภัยน้ำท่วมปานกลาง (Medium risk, M) ระดับความเสี่ยงภัยน้ำท่วมสูง (High risk, H)

เมื่อทำการกำหนดการจำแนกระดับความเสี่ยงแล้ว จากนั้นทำการจำลองการเกิดน้ำท่วมที่คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี 50 ปี และ 100 ปี ซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธีของ Gumbel ในการคำนวณคาบการเกิดซ้ำของอัตราการไหลสูงสุดที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา โดยค่าอัตราการไหลสูงสุดของแต่ละคาบการเกิดซ้ำแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 และผลการจำลองการเกิดน้ำท่วมมีดังนี้

ตารางที่ 4.10 คาบการเกิดซ้ำอัตราการไหลสูงสุดที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา

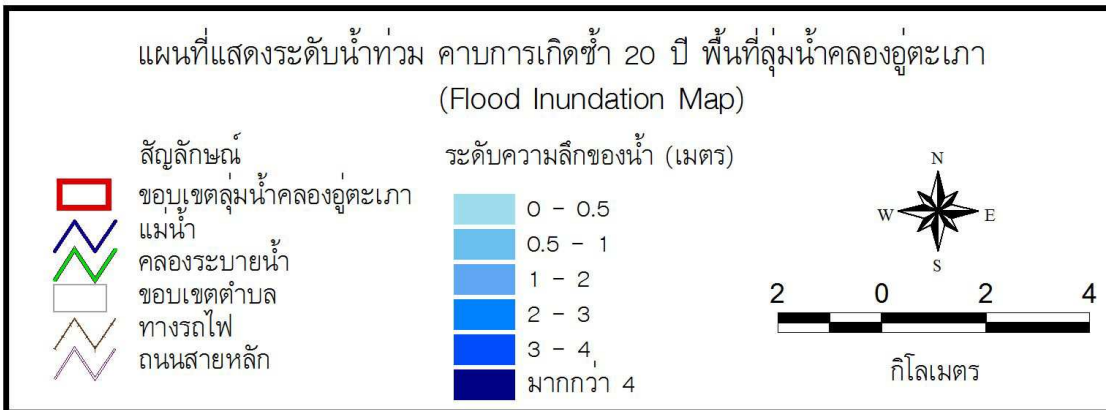
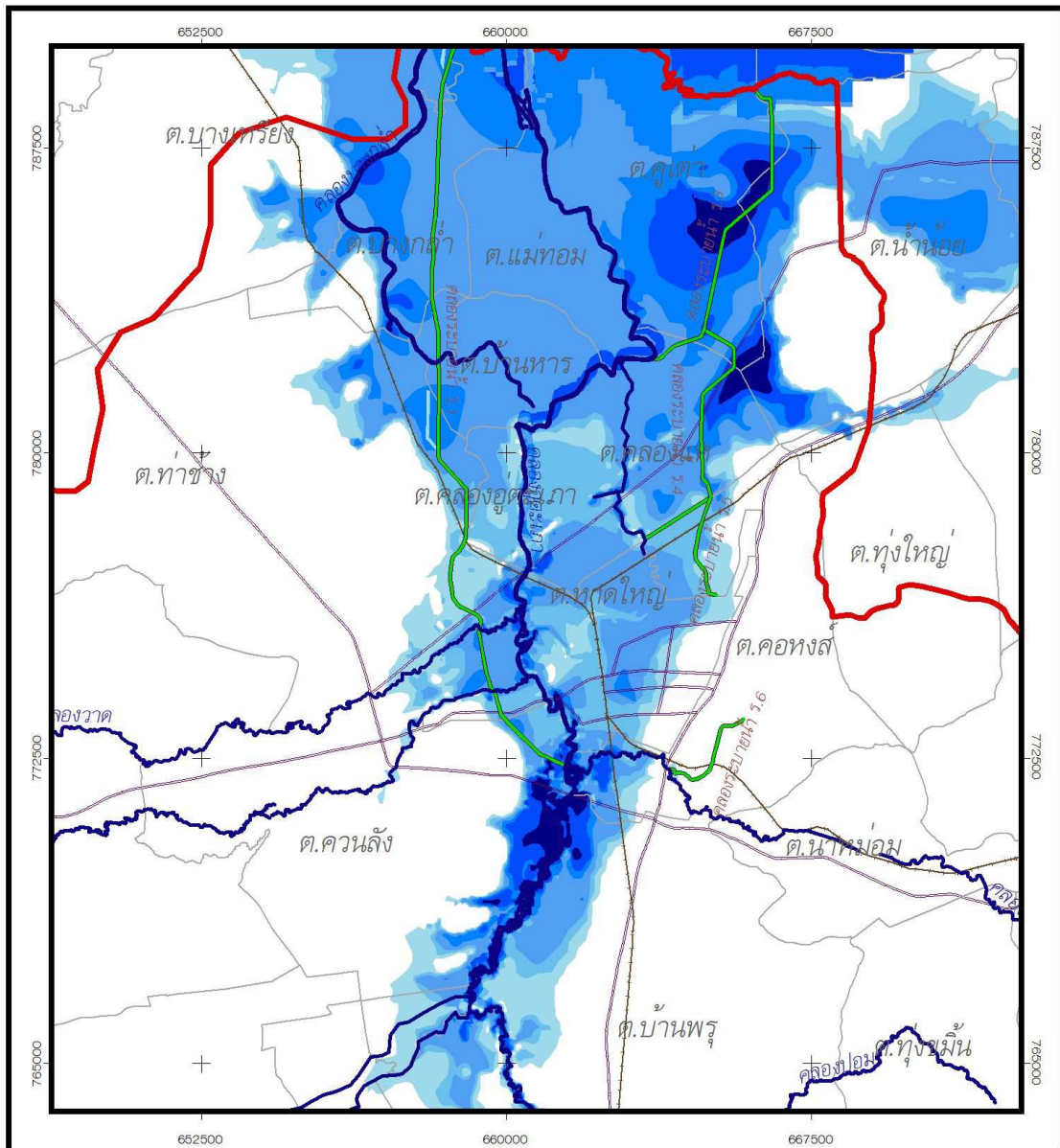
คาบการเกิดซ้ำ	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
20	1,570.41
50	2,007.95
100	2,335.84

Return Period, year	20	M	H	H
	50	L	M	H
	100	L	L	M
		0 - 0.5	0.5 - 2.0	> 2.0
		Inundation Depth, meter		

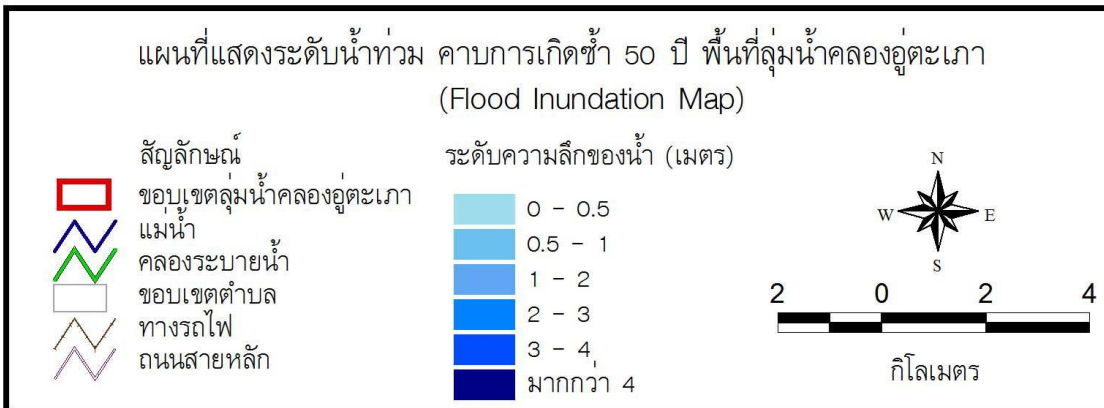
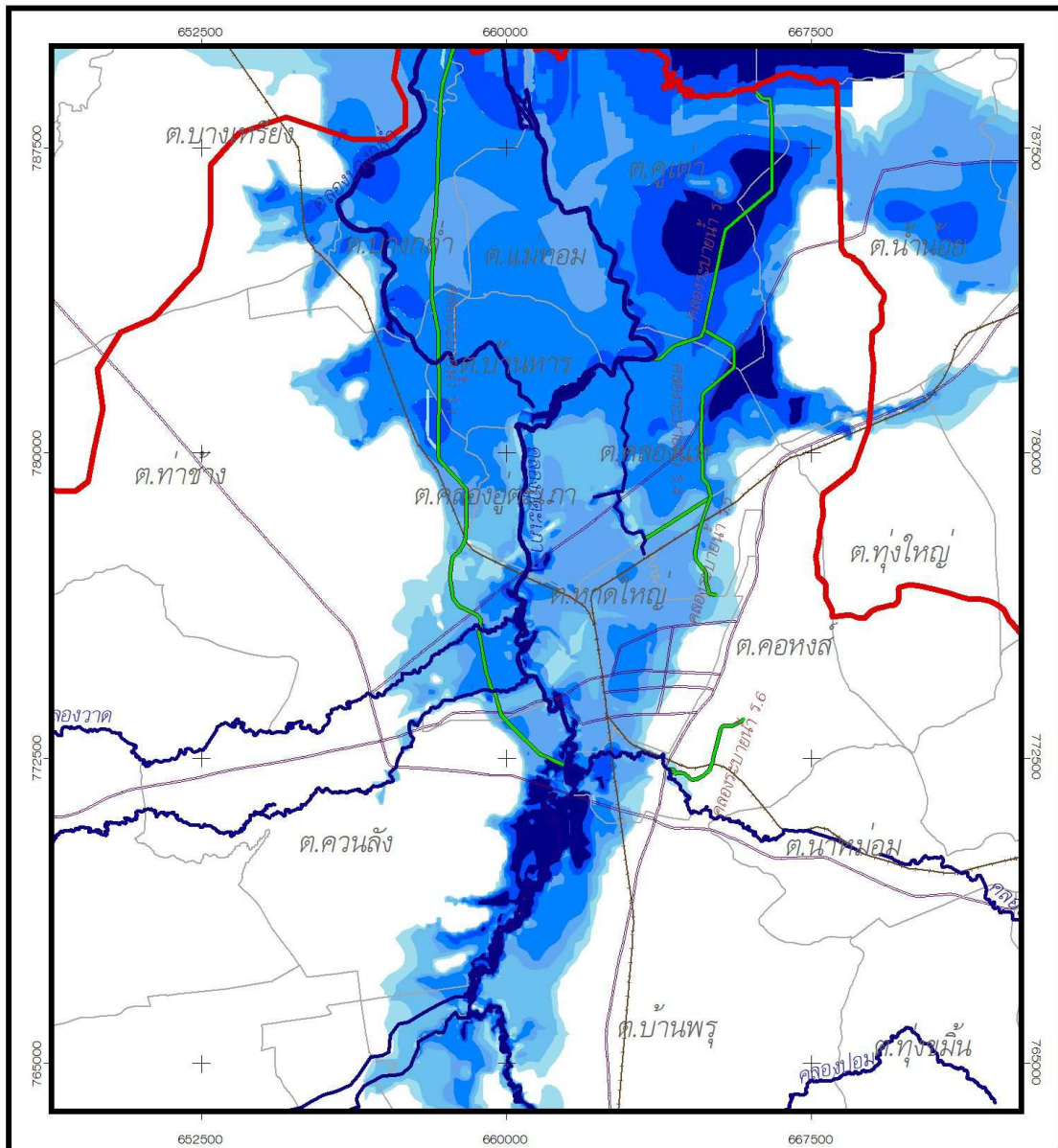
รูปที่ 4.29 การจำแนกระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วมพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

แผนที่แสดงระดับน้ำท่วมและพื้นที่น้ำท่วมลุ่มน้ำคลองอุตะเถาที่คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี 50 ปี และ 100 ปี แสดงได้ดังรูปที่ 4.30-รูปที่ 4.32 โดยพบว่า พื้นที่น้ำท่วมส่วนใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาเกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มต่ำบริเวณพื้นที่ริมคลองอุตะเถาและคลองระบายน้ำสายที่ 1 (ร.1) และพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (Flood plain) บริเวณตำบลคูเต่า และตำบลแม่ทอม เป็นต้น เมื่อพิจารณาผลในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ พบว่า พื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน้อยอย่างไรก็ตามระดับน้ำท่วมจะสูงขึ้นเมื่อคาบการเกิดซ้ำนานขึ้น

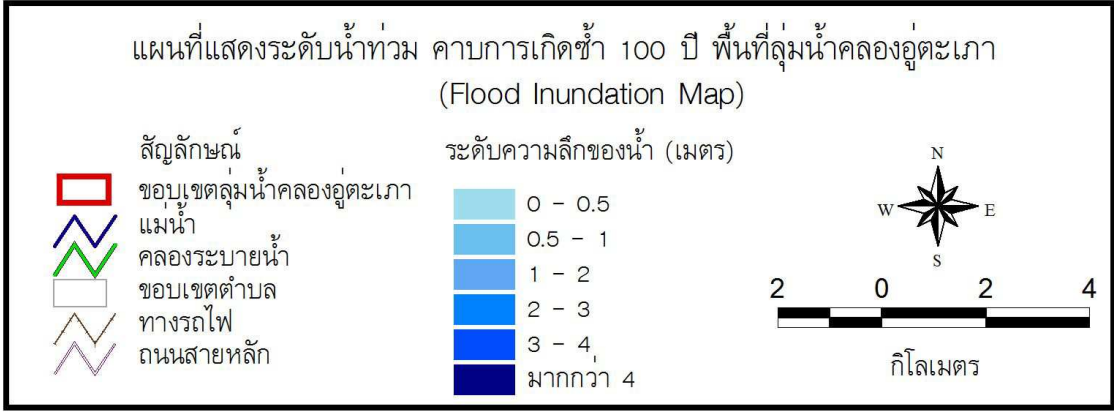
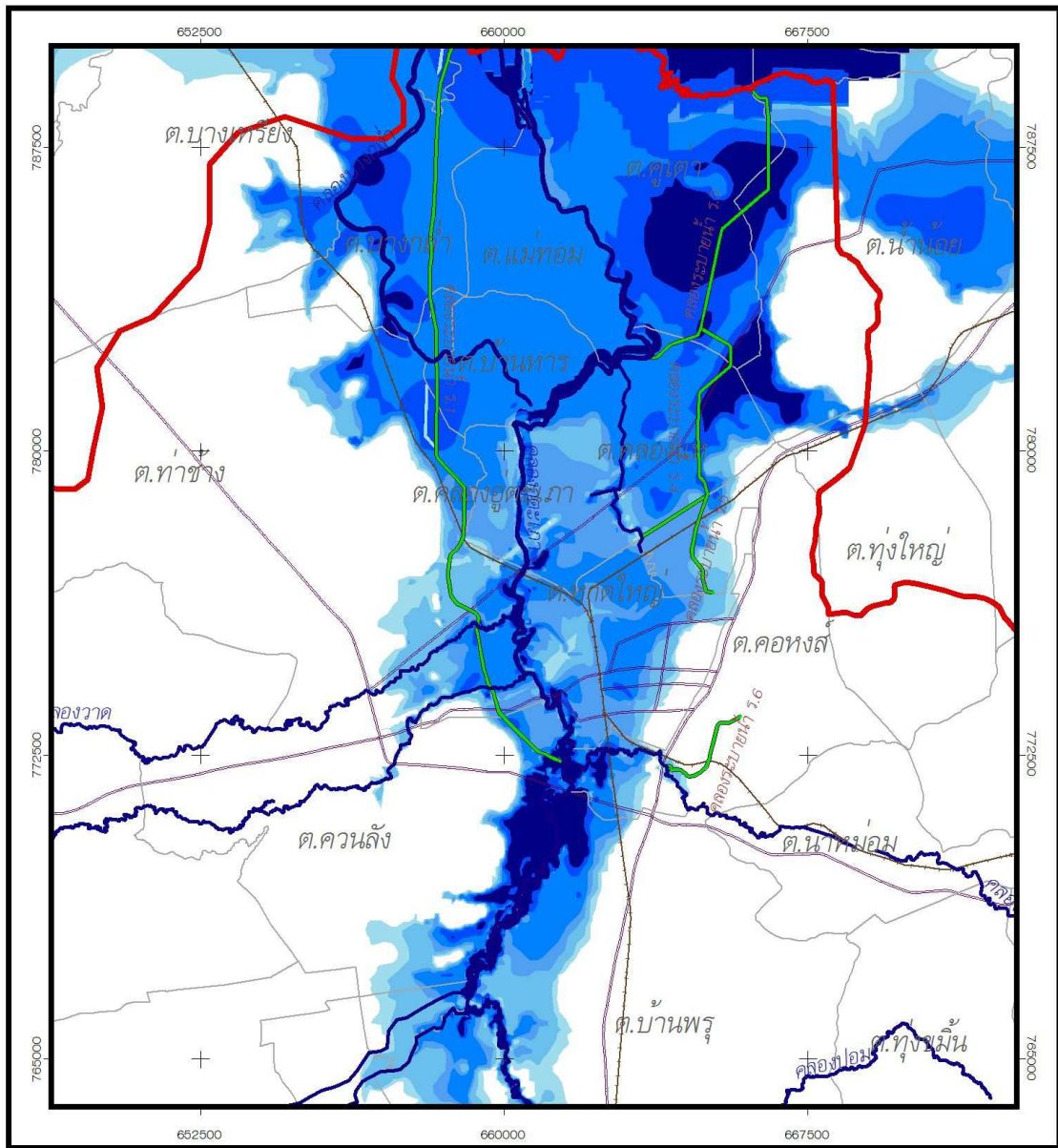
สำหรับแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียงที่คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี 50 ปี และ 100 ปี แสดงได้ดังรูปที่ 4.33-รูปที่ 4.35 โดยจากรูปพบว่า พื้นที่ประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่เป็นพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วม และบริเวณที่เกิดน้ำท่วมเป็นพื้นที่ใจกลางของเขตเทศบาลนคร และมีระดับน้ำท่วมสูงในพื้นที่ศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของเมืองหาดใหญ่ เช่น ถนนนิพัทธ์อุทิศ 1, 2, และ 3 ถนนเพชรเกษม ถนนศรีภูนาถ ถนนธรรมานุญูวิธิ ถนนศุภสารรังสรรค์ และ ถนนราษฎร์ยินดี เป็นต้น ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดน้ำท่วมเป็นพื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกบริเวณ ถนนกาญจนวณิช เช่น พื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ค่ายเสนาณรงค์ เป็นต้น ซึ่งพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นที่เนินเนื่องจากอยู่บริเวณเชิงเขาคอหงส์



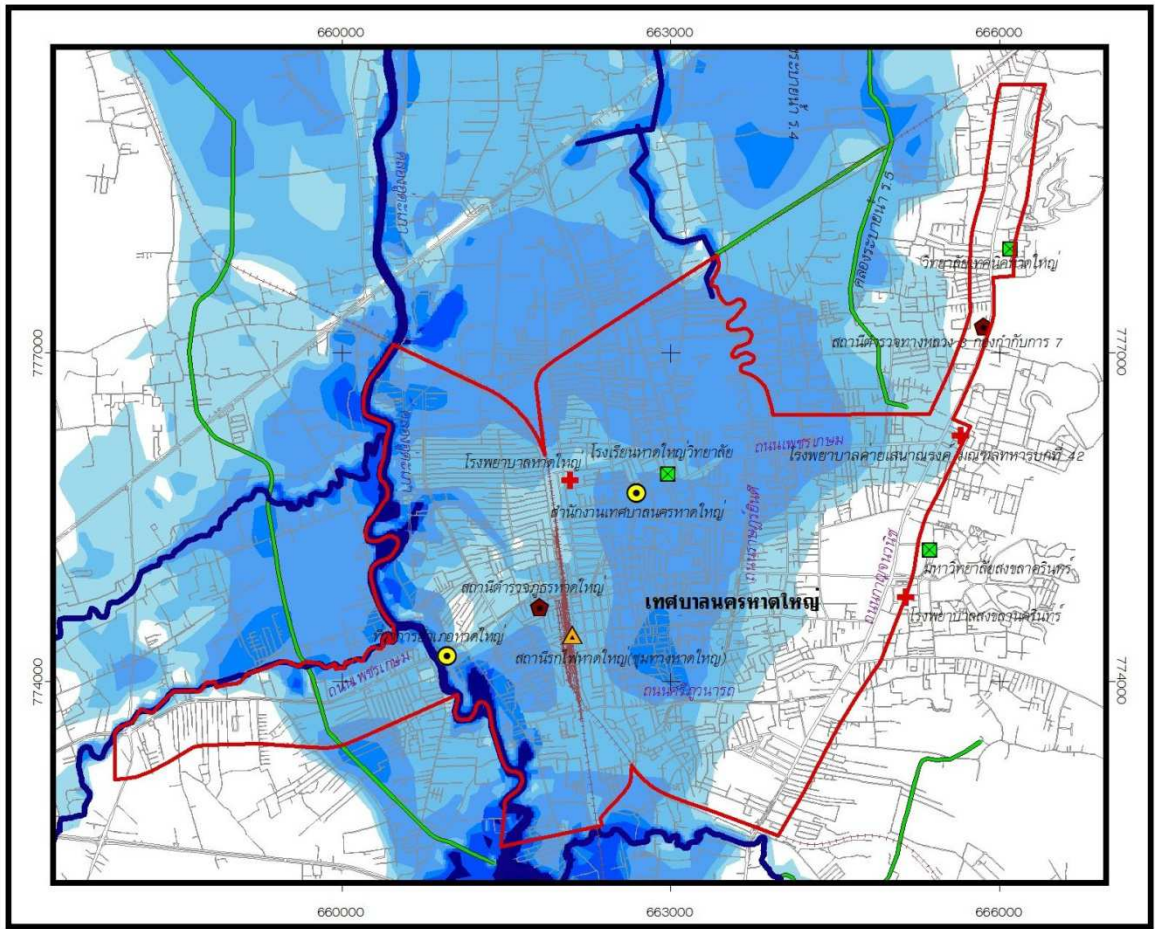
รูปที่ 4.30 ระดับน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ที่คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี



รูปที่ 4.31 ระดับน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี



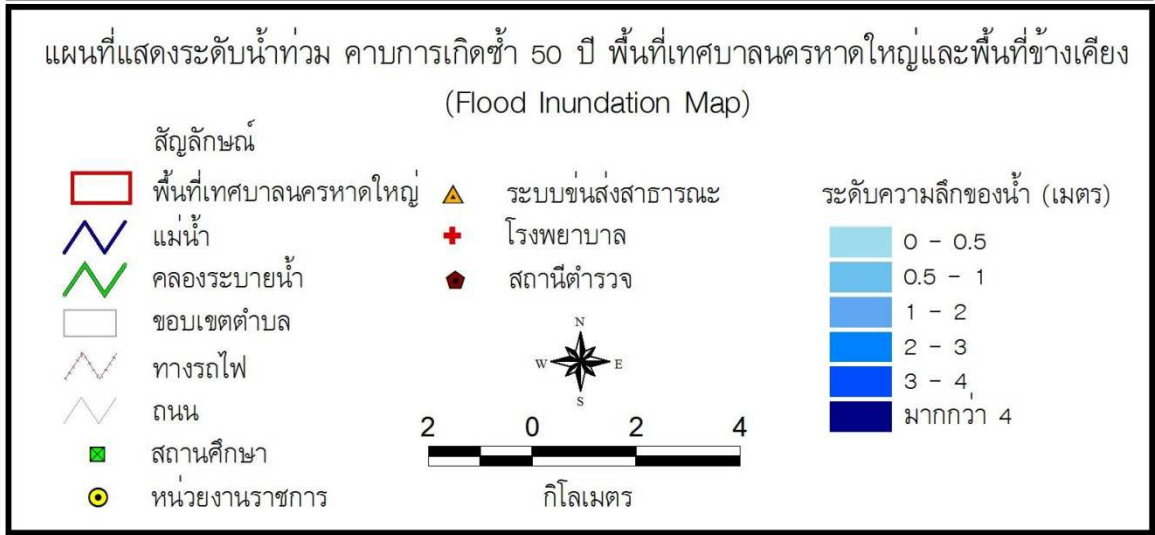
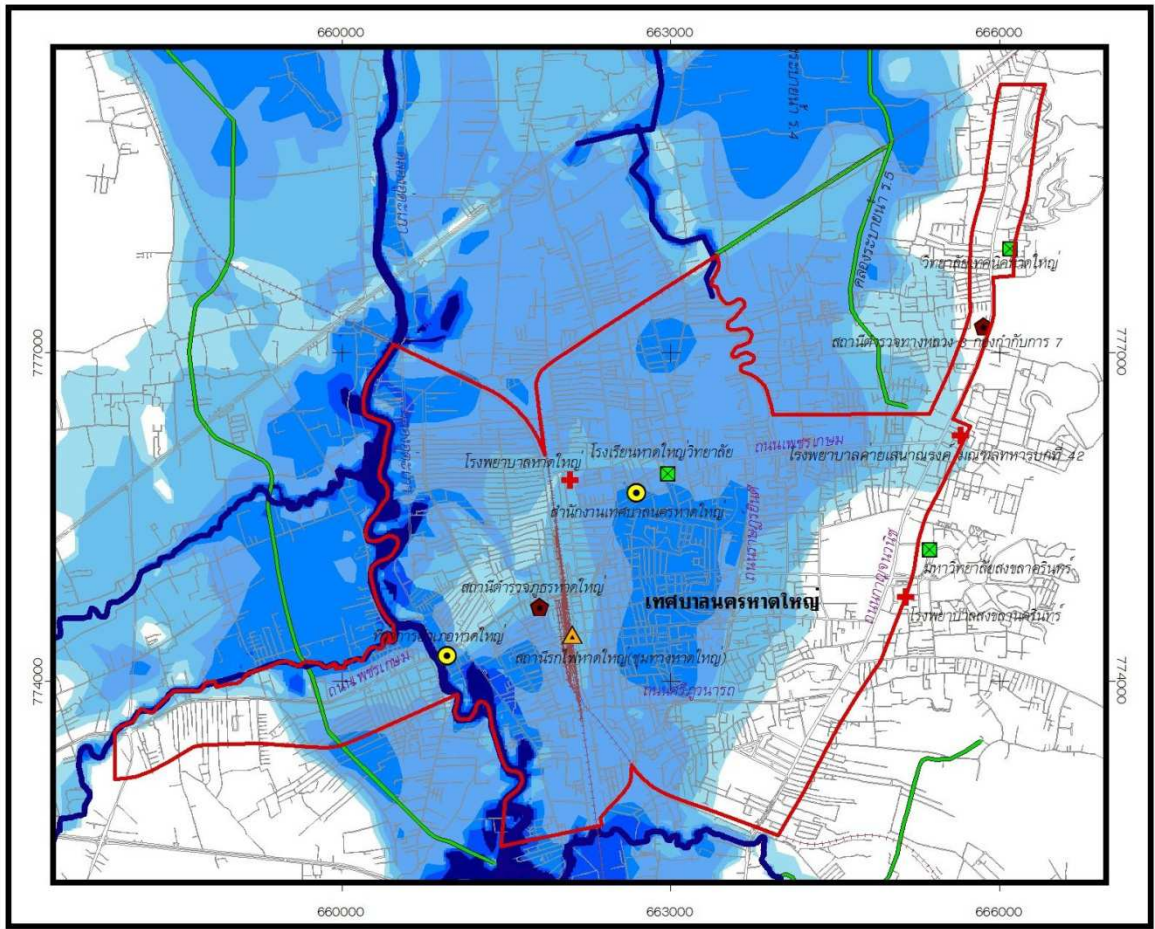
รูปที่ 4.32 ระดับน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ที่คาบการเกิดซ้ำ 100 ปี



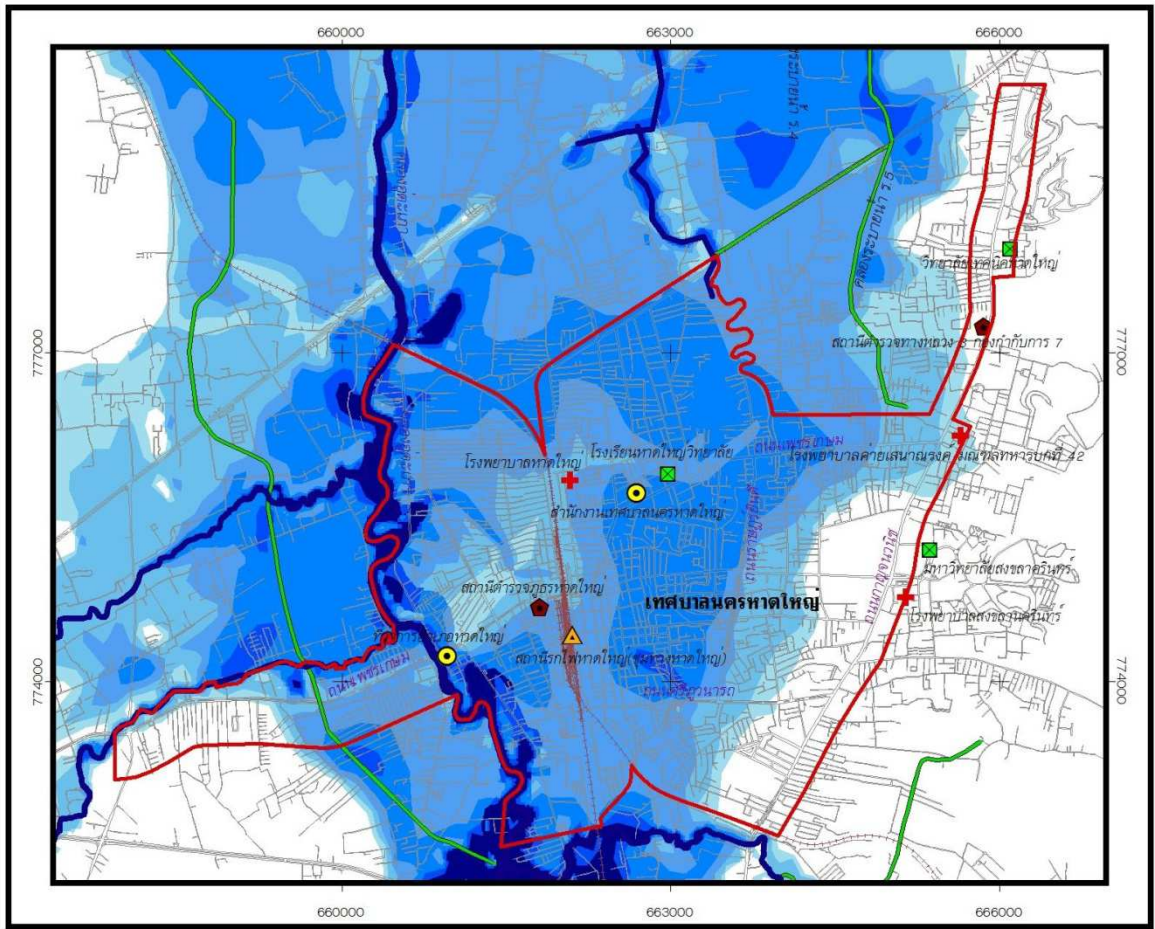
แผนที่แสดงระดับน้ำท่วม คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี พื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง (Flood Inundation Map)



รูปที่ 4.33 ระดับน้ำท่วมในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง ที่คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี



รูปที่ 4.34 ระดับน้ำท่วมในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง ที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี



แผนที่แสดงระดับน้ำท่วม คาบการเกิดซ้ำ 100 ปี พื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง (Flood Inundation Map)



รูปที่ 4.35 ระดับน้ำท่วมในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง ที่คาบการเกิดซ้ำ 100 ปี

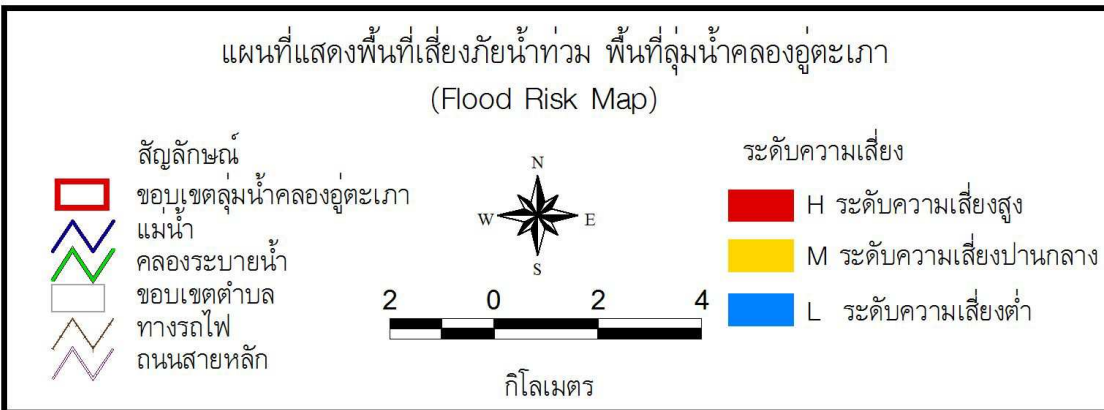
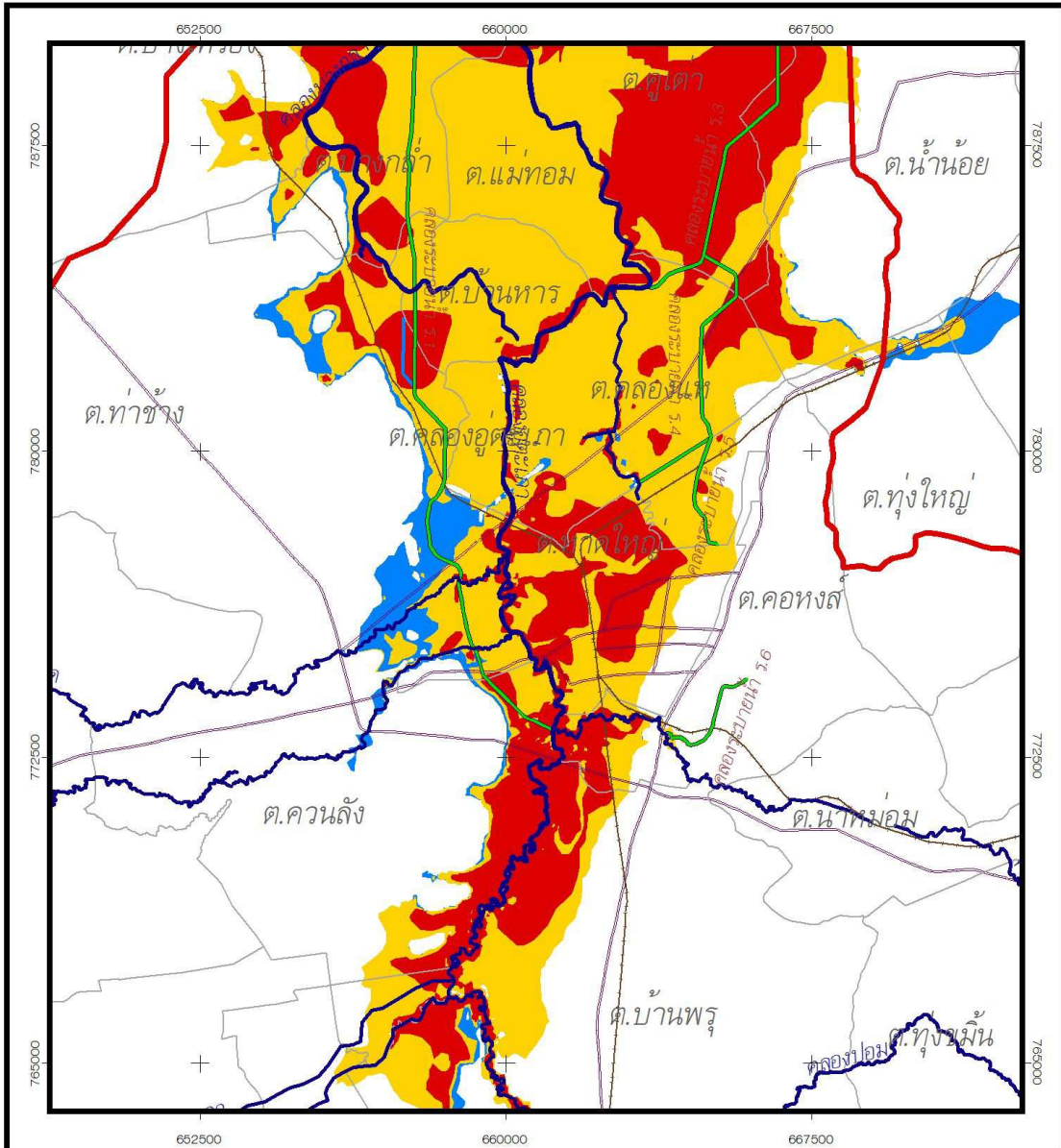
จากผลการจำลองการเกิดน้ำท่วมที่คาบการเกิดซ้ำ 20 ปี 50 ปี และ 100 ปี แล้ว จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ และจำแนกระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วมตามรูปที่ 4.29 เพื่อพัฒนาเป็นแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม โดยผลการดำเนินพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมมี ดังนี้

1) แผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

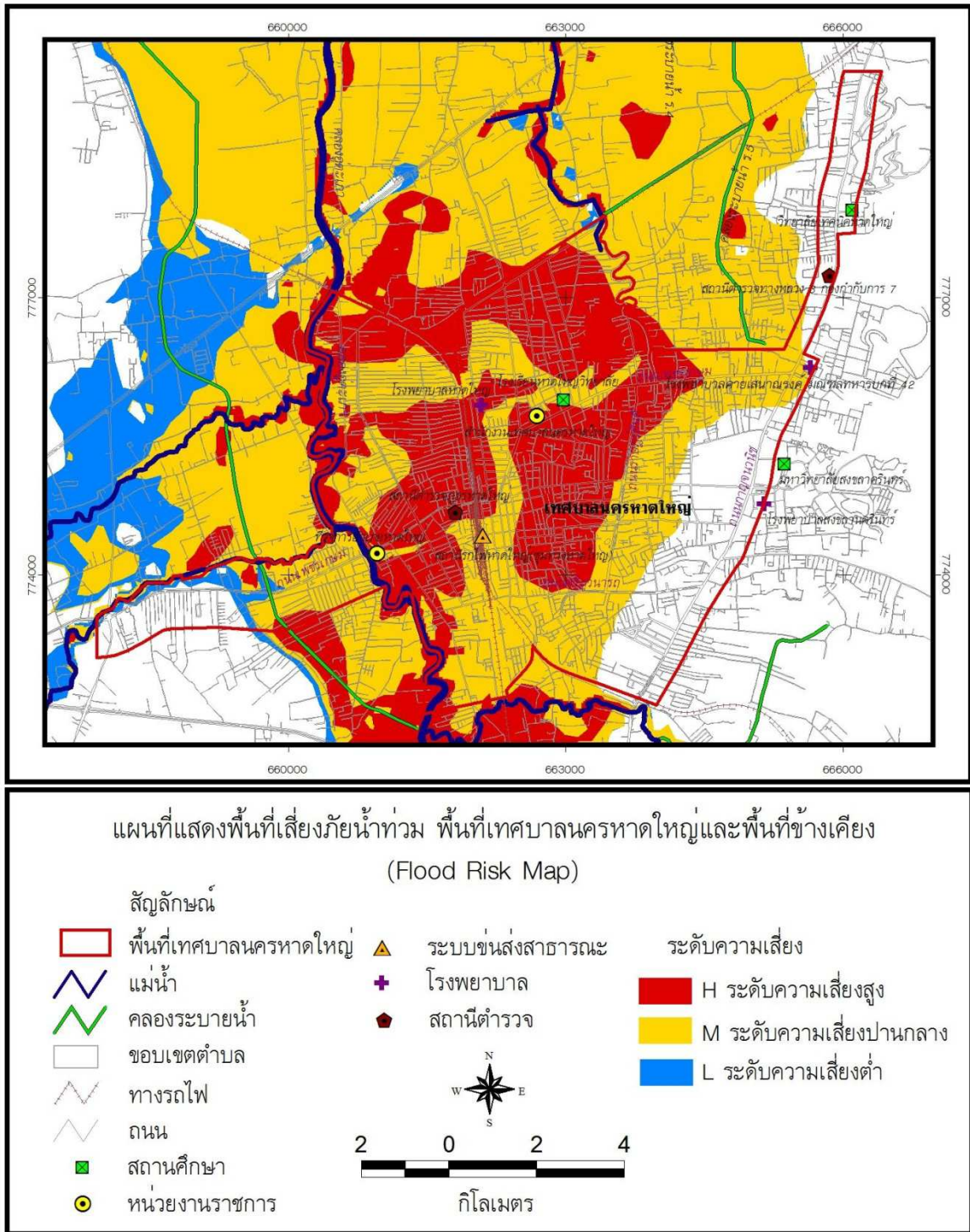
จากแผนที่ระดับความลึกน้ำท่วมของกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา (รูปที่ 4.30-รูปที่ 4.32) นำชั้นข้อมูลความระดับความลึกและพื้นที่น้ำท่วมของคาบการเกิดซ้ำ 20 ปี 50 ปี และ 100 ปี มาซ้อนทับกัน (Overlay) จากนั้นจำแนกระดับความเสี่ยงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จากผลการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลสามารถสร้างเป็นแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ดังแสดงในรูปที่ 4.36 พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมระดับปานกลาง โดยพื้นที่ที่มีระดับเสี่ยงภัยสูงนั้นเป็นพื้นที่บริเวณที่ใกล้กับคลองอุตะเถาและคลองระบายน้ำสายที่ 1 รวมถึงพื้นที่ราบลุ่มทางด้านทิศเหนือของกลุ่มน้ำ

2) แผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม พื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง

ผลการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลสามารถสร้างเป็นแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.37 พบว่า โดยภาพรวมของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในระดับปานกลางถึงมีความเสี่ยงสูง โดยร้อยละ 60 ของพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่มีระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วมสูงซึ่งได้แก่บริเวณพื้นที่ริมคลองอุตะเถาและชุมชนใกล้เคียง พื้นที่ในสวนใจกลางเมืองรวมถึงพื้นที่เศรษฐกิจ



รูปที่ 4.36 แผนที่เสี่ยงน้ำท่วมสำหรับ พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา



รูปที่ 4.37 แผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับ พื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง

4.6 ผลการพัฒนากระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ

การพัฒนากระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ เป็นการพัฒนาระบบการเตือนภัยน้ำท่วมแบบตัดสินใจอัตโนมัติโดยใช้การประเมินสถานการณ์ปริมาณน้ำฝน ระดับน้ำ อัตราการไหล และการเกิดน้ำท่วมจากแบบจำลองที่ได้ทำการพัฒนาไว้แล้ว มาใช้งานร่วมกับเงื่อนไขในการตัดสินใจเตือนภัยที่ได้ทำการพิจารณาร่วมกับคณะกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำ จังหวัดสงขลา โดยมีการตรวจวัดและติดตามสถานการณ์น้ำฝนและระดับน้ำ และส่งข้อมูลจากสถานีวัดแบบ Real Time รวมถึงการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า เพื่อเพิ่มเวลาในการเตือนภัยล่วงหน้า โดยอ้างอิงแนวทางของ “ระบบการเตือนภัยน้ำท่วมของออสเตรเลีย”(Total Flood Warning System, Australian Government 2009) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายองค์ประกอบรวมที่จะต้องพัฒนาเพื่อการเตือนภัยน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพ โดยระบบการเตือนภัยน้ำท่วมนั้นมีการทำงานจากหลายหน่วยงานร่วมกัน จึงต้องมีความร่วมมือกันของทุกภาคส่วน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องร่วมกันพัฒนาและทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดในทุกขั้นตอนของการพัฒนาแนวทางปฏิบัติการ (Protocol) นอกจากนี้สิ่งสำคัญคือการออกแบบและการวางแผนขอแนวทางปฏิบัติการ การตรวจสอบศักยภาพในการทำงานของแนวทางปฏิบัติการจากชุมชน จากหลักการและแนวคิดดังกล่าวสามารถนำมาศึกษาเพื่อวิเคราะห์และวางระบบการเตือนภัยน้ำท่วมแบบตัดสินใจอัตโนมัติได้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

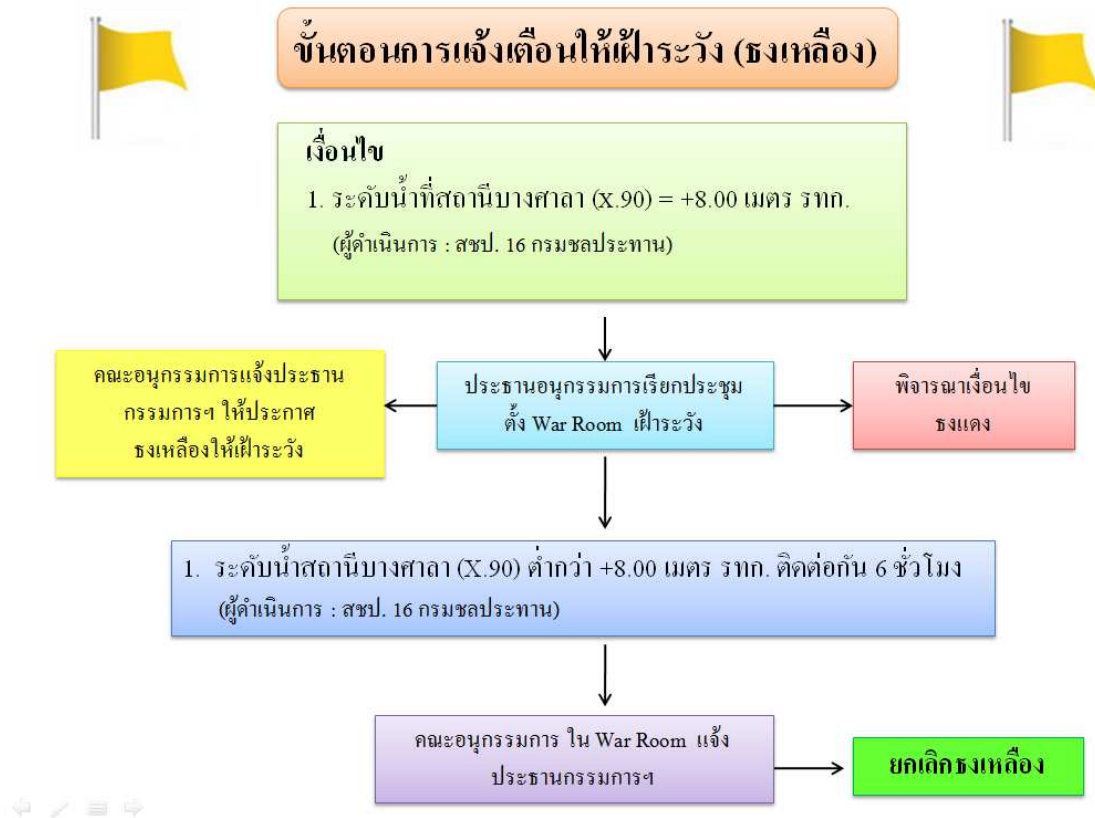
4.6.1 เงื่อนไขการเตือนภัยน้ำท่วมของคณะกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำ จังหวัดสงขลา

ขั้นตอนการเตือนภัยน้ำท่วมของคณะกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำ จังหวัดสงขลา ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การแจ้งเตือนให้เฝ้าระวัง (ธงเหลือง) การเตือนภัยน้ำท่วม (ธงแดง) การยกเลิกเตือนภัยน้ำท่วม (ลดธงแดง) โดยในแต่ละขั้นตอนมีเงื่อนไข ดังนี้

1) ขั้นตอนการแจ้งเตือนให้เฝ้าระวัง (ธงเหลือง)

ขั้นตอนการแจ้งเตือนให้เฝ้าระวัง (ธงเหลือง) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาดังแสดงในรูปที่ 4.38 ซึ่งแสดงเงื่อนไขและขั้นตอนในการปฏิบัติงานเมื่อระดับน้ำถึงเกณฑ์การเตือนภัยซึ่งในขั้นตอนการแจ้งเตือนให้เฝ้าระวังนี้จะพิจารณาระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) เป็นหลัก โดยมีเงื่อนไขคือ

- เมื่อระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาเท่ากับ/สูงกว่า +8.00 เมตร รทก. ประธานอนุกรรมการเรียกประชุมตั้ง War room เพื่อเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิด รวมถึงการพิจารณาเงื่อนไขการประกาศธงแดงและ
- คณะอนุกรรมการแจ้งประธานกรรมการฯ (ผู้ว่าราชการจังหวัดสงขลา) ให้ประกาศธงเหลือง
- เมื่อระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาต่ำกว่า +8.00 เมตร รทก. ติดต่อกันนาน 6 ชั่วโมง ให้ลดธงเหลืองเป็นธงเขียว

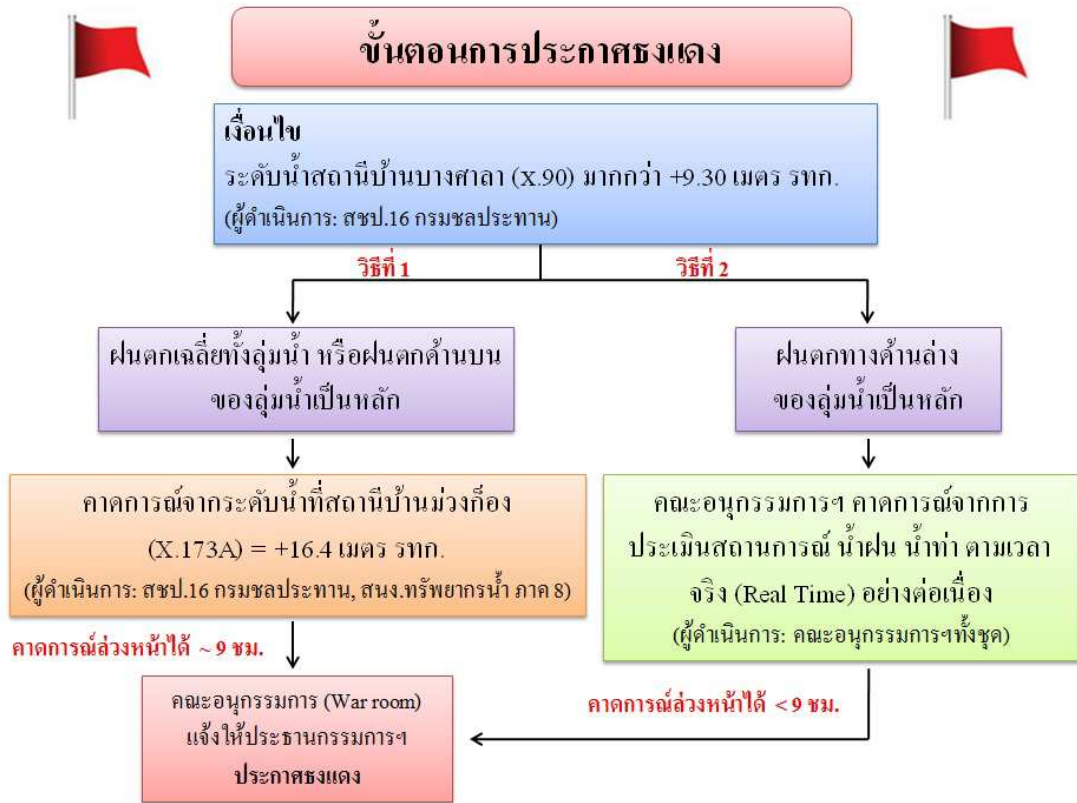


รูปที่ 4.38 ขั้นตอนการแจ้งเตือนให้เฝ้าระวัง (ธงเหลือง) ของลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

2) ขั้นตอนการเตือนภัยน้ำท่วม (ธงแดง) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ขั้นตอนการเตือนภัยน้ำท่วม (ธงแดง) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ดังแสดงในรูปที่ 4.39 โดยมีพื้นที่เป้าหมายคือพื้นที่เมืองหาดใหญ่ โดยจะทำการพิจารณาระดับน้ำที่จุดเฝ้าระวังทั้งสองจุดคือ สถานีโทรมาตรวัดม่วงก้อง (X.173A) และสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) เงื่อนไขและขั้นตอนการประกาศธงแดงของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถามีดังนี้

- เงื่อนไขที่จะทำให้เกิดน้ำไหลเข้าท่วมในพื้นที่ลุ่มต่ำในบริเวณพื้นที่เป้าหมายคือ ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาเท่ากับ/สูงกว่า +9.30 เมตร รทก.
- ให้เฝ้าระวังระดับที่วัดม่วงก้อง ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้ว่าเมื่อระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรวัดม่วงก้องมีค่าเท่ากับ +16.40 เมตร รทก. ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาจะสูงกว่า +9.30 เมตร รทก. ในอีก 9-11 ชั่วโมง และ
- คณะอนุกรรมการฯ คาดการณ์จากการประเมินสถานการณ์ น้ำฝน น้ำท่า ตามเวลาจริง (Real Time) อย่างต่อเนื่อง
- เมื่อระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรวัดม่วงก้องมีค่าเท่ากับ +16.40 เมตร รทก. หรือ คณะอนุกรรมการฯ ประเมินสถานการณ์ น้ำฝน น้ำท่า ตามเวลาจริง (Real Time) แล้วประเมินสถานการณ์ว่ามีโอกาสเกิดน้ำท่วมสูง คณะอนุกรรมการแจ้งประธานกรรมการฯ ให้ประกาศธงแดง



รูปที่ 4.39 ขั้นตอนการเตือนภัยน้ำท่วม (ขังแดง)ของลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

3) ขั้นตอนการยกเลิกเตือนภัยน้ำท่วม (ลดขังแดง) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ขั้นตอนการยกเลิกเตือนภัยน้ำท่วม (ลดขังแดง) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาดังแสดงในรูปที่ 4.40 โดยพิจารณากระดับน้ำที่จุดฝักระวังสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาและพื้นที่เป้าหมายสถานีโทรมาตรบ้านหาดใหญ่ใน ร่วมกับสถานการณ์การคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน เงื่อนไขและขั้นตอนการยกเลิกเตือนภัยน้ำท่วม (ลดขังแดง) ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา มีดังนี้

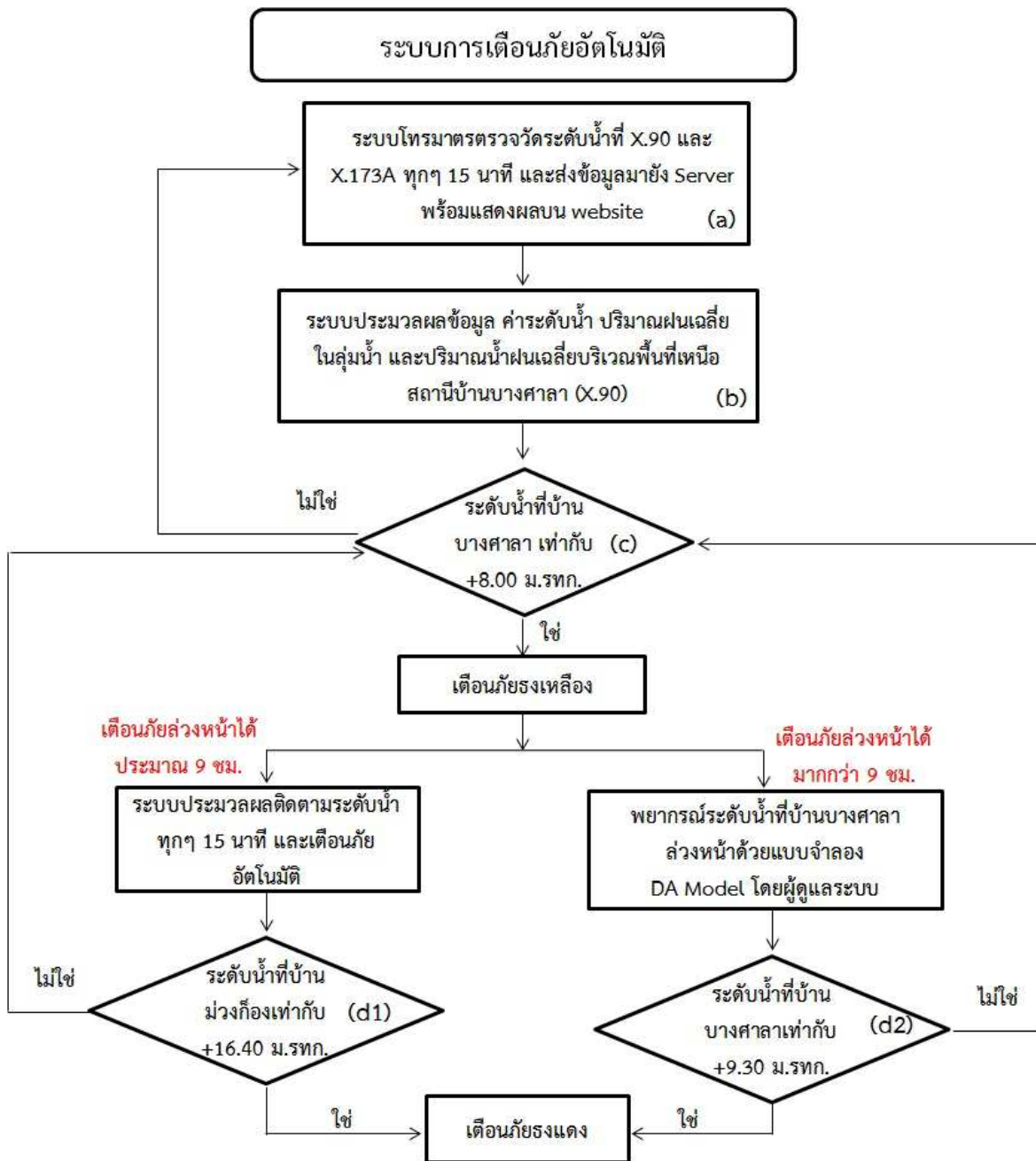
- เมื่อระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาต่ำกว่า +9.30 เมตร รทก. และลดระดับลงอย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมง และ
- สถานการณ์ฝนจากการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอีก 2 วันข้างหน้าจะลดลงอย่างต่อเนื่อง และ
- ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านหาดใหญ่ในซึ่งเป็นพื้นที่เป้าหมายในการเตือนภัยมีระดับต่ำกว่า +7.40 เมตร รทก.
- คณะอนุกรรมการแจ้งประธานกรรมการฯ ให้ประกาศยกเลิกขังแดง



รูปที่ 4.40 ขั้นตอนการยกเลิกการเตือนภัยน้ำท่วม (ลดแรงดัน) ของกลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

4.6.2 การพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติเมืองหาดใหญ่

สำหรับระบบการเตือนภัยน้ำท่วมในโครงการนี้ได้ปรับปรุงขั้นตอนในการเตือนภัยของคณะอนุกรรมการฯ ในส่วนของการคาดการณ์ล่วงหน้าและการแสดงผลการเตือนภัยโดยการตัดสินใจอัตโนมัติโดยแสดงผลบน Internet ผ่านเว็บไซต์ของศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ (www.nadrec.psu.ac.th) โดยใช้เงื่อนไขการเตือนภัยของคณะอนุกรรมการฯ โดยผลการวิเคราะห์ ศึกษา และพัฒนาระบบการเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ แสดงในรูปแบบของแผนผังขั้นตอนการเตือนภัยได้ดังรูปที่ 4.41 และมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.41 แผนผังขั้นตอนการเตือนภัยแบบอัตโนมัติ เมืองหาดใหญ่

- (a) ระบบโทรมาตรตรวจวัดข้อมูลทุกๆ 15 นาที และส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้มายังระบบแม่ข่าย (Server) จากนั้นแสดงผลบน website ดังแสดงในรูปที่ 4.42
- (b) ระบบประมวลผลข้อมูลจากข้อมูลตรวจวัดและสรุปเป็นค่าระดับน้ำ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยบริเวณพื้นที่เหนือน้ำ (ดึงข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา มาใช้ร่วมกับข้อมูลโทรมาตรของศูนย์วิจัยฯ) ดังแสดงในรูปที่ 4.43
- (c) ระบบตรวจกรองข้อมูลถ้าพบว่าระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลามีค่าเท่ากับ +8.00 เมตร รทก. ระบบจะทำการเปลี่ยนสัญลักษณ์ธงบน website จากธงเขียว

เป็นธงเหลือง และเมื่อระบบเปลี่ยนสัญลักษณ์ธงเป็นธงเหลือง การเฝ้าติดตามและประเมินสถานการณ์ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- (d1) ส่วนแรก ระบบจะทำการตรวจสอบข้อมูลโดยเฝ้าระวังระดับน้ำที่บ้านม่วงก้อง เมื่อระดับน้ำที่บ้านม่วงก้องมีค่าเท่ากับ 16.40 เมตร รทก. ระบบจะทำการเปลี่ยนสัญลักษณ์ธงจากธงเหลืองเป็นธงแดง ซึ่งจะเตือนภัยน้ำท่วมล่วงหน้าได้ประมาณ 9 ชั่วโมง โดยกระบวนการทั้งหมดจะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติและแสดงผลบน website
- (d2) ส่วนที่สอง ผู้ดูแลระบบ (Admin) ติดตามสถานการณ์น้ำฝนเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่เหนือน้ำของสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา และทำการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าด้วย แบบจำลอง DA Model (รายละเอียดในหัวข้อ 4.6.3) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม MIKE11 เมื่อผลการพยากรณ์พบว่าระดับน้ำสูงสุด (Peak) ที่บ้านบางศาลามากกว่าหรือเท่ากับ +9.30 เมตร รทก. ผู้ดูแลระบบสามารถเปลี่ยนสัญลักษณ์ธงเป็นธงแดงได้โดยไม่ต้องรอการเตือนภัยอัตโนมัติ ซึ่งการเตือนภัยในส่วนนี้สามารถเตือนภัยล่วงหน้าได้มากกว่า 9 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม การยกธงแดงเตือนภัยแบบ d2 นี้ เป็นทางเลือกในการเตือนภัย ซึ่งสามารถเตือนภัยได้นานกว่าแบบ d1 ยังไม่ได้รับการรับรองให้ใช้งานจริงจากคณะกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำท่วมเมืองหาดใหญ่



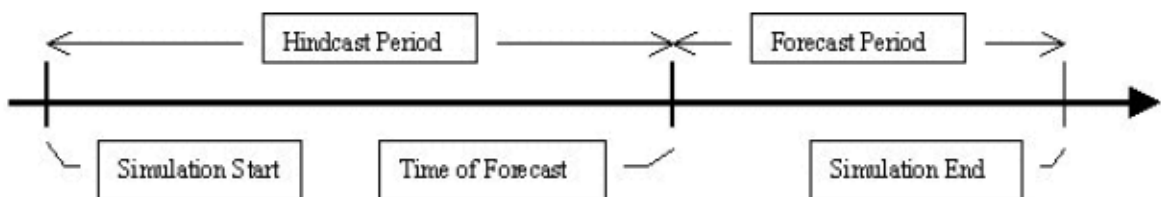
รูปที่ 4.42 ข้อมูลตรวจวัดที่ส่งยังระบบแม่ข่าย (Sever) จากนั้นแสดงผลบน website ทุกๆ 15 นาที

กลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา		
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำเหนือสถานีสะพานวัดม่วงก้อง		
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1 ชั่วโมง	0.00	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 3 ชั่วโมง	0.00	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย วันนี้	0.00	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย เมื่อวานนี้	0.00	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำเหนือสถานีสะพานบ้านบางศาลา		
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1 ชั่วโมง	0.00	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 3 ชั่วโมง	0.07	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย วันนี้	0.07	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย เมื่อวานนี้	0.07	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำเหนือสถานีบ้านหาดใหญ่ใน		
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1 ชั่วโมง	0.00	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 3 ชั่วโมง	0.10	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย วันนี้	0.10	ม.ม.
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย เมื่อวานนี้	0.48	ม.ม.

รูปที่ 4.43 ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยบริเวณพื้นที่เหนือน้ำ

4.6.3 แบบจำลองการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า

แบบจำลองการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับคำนวณระดับน้ำหรืออัตราการไหลของน้ำ ณ จุดใดๆ ในลำน้ำล่องหน้าตามปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ โดยในโครงการนี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง MIKE11 DA (MIKE11 Data Assimilation) ซึ่งเป็นแบบจำลองในตระกูล MIKE เช่นเดียวกับที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (RR Model) แบบจำลองสภาพการไหล (HD Model) และแบบจำลองน้ำท่วม (Flood Model) ที่ได้ทำการพัฒนาไว้แล้ว โดยแบบจำลอง MIKE11 DA สามารถนำไปใช้งานร่วมกับแบบจำลองสภาพการไหล หรือ HD model ที่ทำการปรับแก้ไว้แล้วได้ โดยในการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11 DA แบบจำลองจะสามารถทำการปรับค่าให้ทันสมัยด้วยข้อมูลตรวจวัดปัจจุบัน (Update Process) ซึ่งผลที่ได้จะมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น การทำงานของแบบจำลองการพยากรณ์ระดับน้ำจะแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วง คือ Hindcast Period หรือช่วงเวลาก่อนการพยากรณ์ เป็นช่วงเวลาที่มิข้อมูลน้ำฝน ระดับน้ำ จากการตรวจวัด (Measurement Data) และ Forecast Period หรือช่วงเวลาการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้าโดยทั้งสองช่วงถูกแบ่งโดยเวลาในการพยากรณ์ หรือ Time of Forecast (TOF) แสดงได้ดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 เวลาในการพยากรณ์ (Time of Forecast, TOF) ช่วงเวลาก่อนการพยากรณ์ (Hindcast Period) และ ช่วงเวลาการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า (Forecast Period)

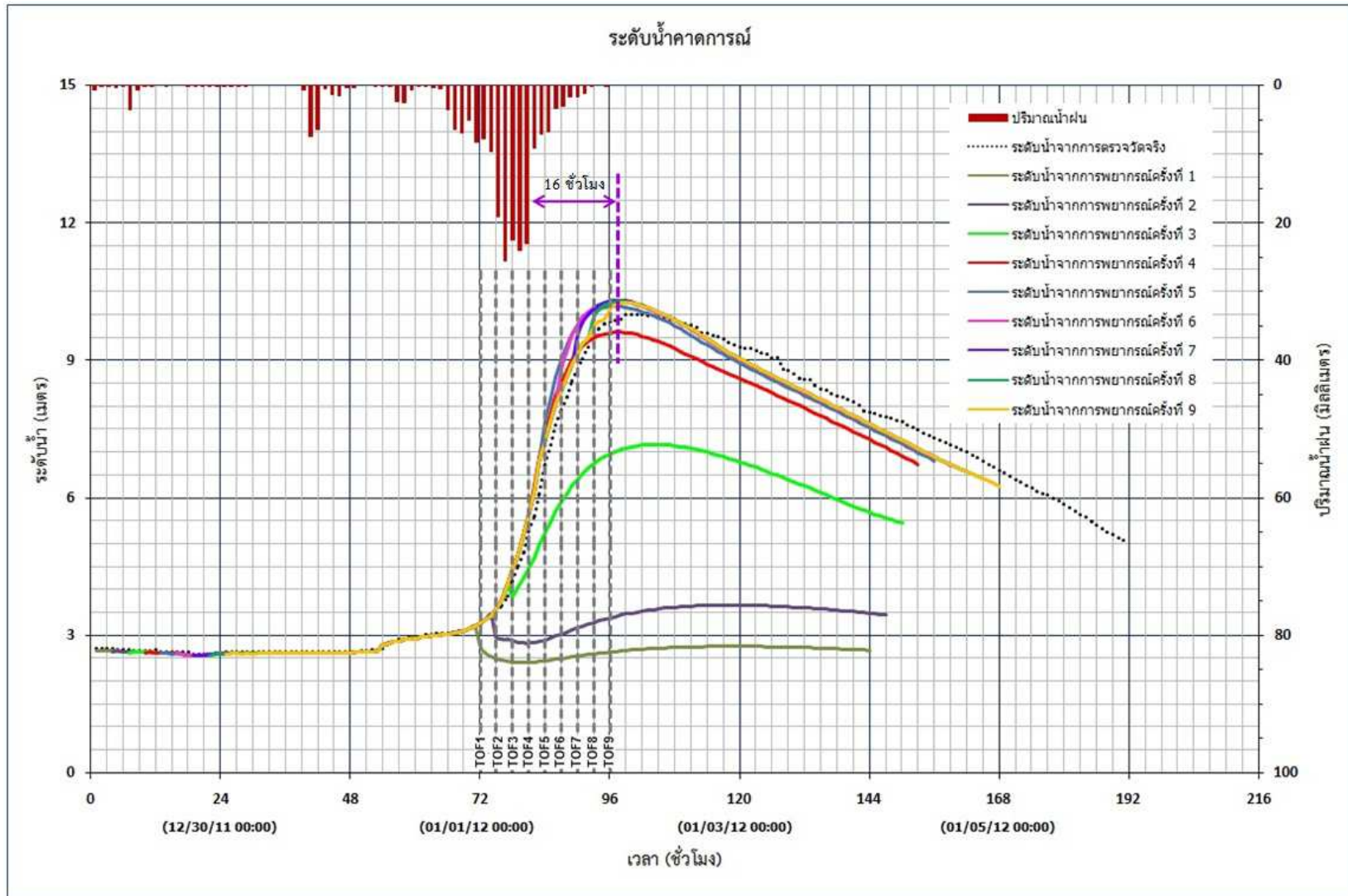
สำหรับการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ในการศึกษานี้ได้เลือกทำการพยากรณ์ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาซึ่งเป็นจุดเฝ้าสังเกตการณ์ระดับน้ำเพื่อเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ (สำหรับเงื่อนไข d2 ในการยกธงแดงเตือนภัยดังรูปที่ 4.41) และเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมในช่วง 1-2 มกราคม ปี พ.ศ.2555 เพื่อจำลองการพยากรณ์น้ำท่วม โดยกำหนดให้มีช่วงเวลาก่อนการพยากรณ์ (Hindcast Period) 3 วัน และช่วงเวลาการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า (Forecast Period) 3 วัน เริ่มทำการพยากรณ์ (เวลาในการพยากรณ์, TOF) ในวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 เวลา 00.00 น. และทำการพยากรณ์ทุกๆ 3 ชั่วโมง ไปจนถึงวันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2555 เวลา 00.00 น. รวมทำการพยากรณ์ทั้งหมด 9 ครั้ง รายละเอียดการกำหนดเวลาในการพยากรณ์ (Time of Forecast, TOF) เวลาเริ่มคำนวณ (Start simulation) และเวลาสิ้นสุดการคำนวณ (End of simulation) แสดงดังตารางที่ 4.11

หลังจากกำหนดเงื่อนไขเวลาในการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าแล้ว จากนั้นทำการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า โดยผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าทั้ง 9 ครั้งแสดงได้ดังรูปที่ 4.45 และค่าระดับน้ำสูงสุดจากการพยากรณ์แสดงในตารางที่ 4.11 จากผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า พบว่า การพยากรณ์ในครั้งที่ 1 -3 ค่าระดับน้ำที่ได้จากการพยากรณ์กับค่าระดับน้ำจากการตรวจวัดจริงมีค่าแตกต่างกันมาก ส่วนในการพยากรณ์ในครั้งที่ 4-9 ค่าที่ได้จากการพยากรณ์และค่าตรวจวัดจริงมีความใกล้เคียงกัน ทั้งค่าระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นและเวลาที่เกิดระดับน้ำสูงสุด โดยค่าระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงมีค่าเท่ากับ 10.00 เมตร รทก. และเกิดขึ้นในช่วงเวลา 02.00 น.-05.00 น. วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2555 การพยากรณ์ในครั้งที่ 4 ดำเนินการหลังจากฝนตกหนัก (ดูรูปที่ 4.45) พบว่า แบบจำลองพยากรณ์ว่าจะเกิดระดับน้ำท่วมสูงสุด 9.62 เมตร รทก. (ซึ่งสูงกว่าระดับเตือนภัยน้ำท่วม +9.30 เมตร รทก.) ในเวลา 02.00 น. ของวันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2555 พบว่า ค่าระดับน้ำสูงสุดที่ได้แตกต่างจากค่าตรวจวัดจริง 38 เซนติเมตร และสามารถพยากรณ์ระดับน้ำได้ล่วงหน้า 16 ชั่วโมง การพยากรณ์ครั้งที่ 4 นี้แสดงให้เห็นว่า การพยากรณ์ระดับน้ำสูงสุด (ระดับน้ำท่วม) สามารถทำได้ทันทีหลังจากฝนตกหนัก (Strom event) หยุดลง

จากผลการพยากรณ์ดังกล่าวข้างต้น พบว่า เมื่อมีการปรับปรุง (Update) ข้อมูลตรวจวัดค่าระดับน้ำจากการพยากรณ์จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และแบบจำลองการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า MIKE11 DA (MIKE11 Data Assimilation) มีประสิทธิภาพในการใช้งานควบคู่กับระบบโทรมาตรที่ตรวจวัดข้อมูลแบบ real time เพื่อเตือนภัยน้ำท่วมล่วงหน้า

ตารางที่ 4.11 การกำหนดเวลาในการพยากรณ์ (Time of Forecast, TOF) เวลาเริ่มคำนวณ (Start simulation) และเวลาสิ้นสุดการคำนวณ (End of simulation)

ครั้งที่	เวลาเริ่มคำนวณ (Start simulation)	เวลาการพยากรณ์ (Time of forecast)	เวลาสิ้นสุดการคำนวณ (End of simulation)	ระดับน้ำ สูงสุด	เวลาที่เกิดระดับน้ำ สูงสุด
1	12/29/2011 0:00	1/1/2012 0:00	1/4/2012 0:00	3.20	12/31/11 23:00
2	12/29/2011 3:00	1/1/2012 3:00	1/4/2012 3:00	3.66	1/2/12 22:00
3	12/29/2011 6:00	1/1/2012 6:00	1/4/2012 6:00	7.16	1/2/12 8:00
4	12/29/2011 9:00	1/1/2012 9:00	1/4/2012 9:00	9.62	1/2/12 2:00
5	12/29/2011 12:00	1/1/2012 12:00	1/4/2012 12:00	10.18	1/2/12 1:00
6	12/29/2011 15:00	1/1/2012 15:00	1/4/2012 15:00	10.29	1/2/12 1:00
7	12/29/2011 18:00	1/1/2012 18:00	1/4/2012 18:00	10.31	1/2/12 1:00
8	12/29/2011 21:00	1/1/2012 21:00	1/4/2012 21:00	10.30	1/2/12 2:00
9	12/30/2011 0:00	1/2/2012 0:00	1/5/2012 0:00	10.26	1/2/12 3:00



รูปที่ 4.45 ผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าด้วยแบบจำลองทั้ง 9 ครั้ง เทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริง

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 ผลการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานวิจัยทั้งการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า แบบจำลองสภาพการไหล และแบบจำลองน้ำท่วม รวมทั้งข้อมูลสำหรับพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมแบบ ตัดสินใจอัตโนมัติ โดยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลปริมาณ การคายระเหย ข้อมูลอัตราการไหล ข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลลักษณะหน้าตัดลำน้ำ ข้อมูลขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตลำน้ำและที่ตั้งของสถานีโทรมาตร และข้อมูลภูมิประเทศเชิงตัวเลข (DEM) ซึ่งข้อมูลดังกล่าว สามารถทำการรวบรวมข้อมูลได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา สถาน วิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ฯ และเทศบาลนครหาดใหญ่ รวมถึงการออกสนามเพื่อสำรวจข้อมูล

5.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ได้ทำการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model จากนั้นนำแบบจำลองที่ทำการปรับเทียบแล้วมาตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลฝนอีกชุด โดยกำหนดให้พื้นที่ต้นน้ำเหนือสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) เป็นพื้นที่รับน้ำ และใช้ข้อมูลอัตราการ ไหลของน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาในการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ผล การพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา สรุปได้ ดังนี้

- 1) ผลการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model โดยใช้ข้อมูลฝนในช่วง เดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2554 ถึงเดือนมกราคม ปี พ.ศ.2555 คาบการเกิดซ้ำ 8 ปี พบว่า แบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองเท่ากับ 0.919 อยู่ในเกณฑ์ที่ ยอมรับได้ นำ ค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model ไปทำการจำลองการเกิดน้ำท่าด้วยข้อมูลฝน อีกชุดเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
- 2) เมื่อนำแบบจำลองที่ทำการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model แล้วมาทำการ ตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลฝนในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ปี พ.ศ.2556 คาบ การเกิดซ้ำ 3 ปี พบว่า แบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือ (R^2) เท่ากับ 0.854 ซึ่งอยู่ ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นั่นคือ สามารถนำแบบจำลองไปใช้ในการจำลองการเกิดน้ำท่าเมื่อมีฝน ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำได้

5.3 ผลการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล

การพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหล ได้ทำการจำลองสภาพการไหลในคลองอู่ตะเภาและคลอง ร. 1 โดยทำการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning (n) และตรวจสอบความถูกต้อง

ของแบบจำลอง และได้เลือกสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาในการปรับเทียบค่าจากแบบจำลองกับค่าตรวจวัดจริง ผลการดำเนินงานสรุปได้ ดังนี้

- 1) ผลการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning (n) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือได้ที่ดีที่สุดจากการปรับเทียบแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.959 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของ Manning (n) ของคลองอุตะเภาและคลอง ร. 1 เท่ากับ 0.035 และ 0.020 ตามลำดับ
- 2) ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
การตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองสภาพการไหล ทำได้โดยการนำข้อมูลฝนอีกชุด ผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในคลองอุตะเภาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือได้ค่าเท่ากับ 0.87 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.4 ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วม

การพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมในการศึกษานี้ได้ทำการจำลองการเกิดน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ในปี พ.ศ.2553 ซึ่งเป็นปีที่เกิดน้ำท่วมครั้งใหญ่มีคาบการซ้ำเท่ากับ 30 ปี โดยใช้ข้อมูลฝนในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2553 ในการนำเข้าแบบจำลอง และทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลแผนที่แสดงพื้นที่อุทกภัยในปี พ.ศ. 2553 (ทองเปลว, 2554) ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมสรุปได้ ดังนี้

- 1) ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมได้ใช้โปรแกรม MIKE Flood ซึ่งทำการคำนวณเชื่อมต่อกับแบบจำลอง 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลองสภาพการไหลในลำน้ำ (MIKE11 HD) และแบบจำลอง MIKE21HD จำลองการเกิดน้ำท่วมโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ผลการจำลองการเกิดน้ำท่วม พบว่า ลุ่มน้ำคลองอุตะเภาเกิดการเกิดน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่ราบลุ่มริมคลองอุตะเภาซึ่งไหลในแนวกึ่งกลางของลุ่มน้ำ พื้นที่ริมคลองสายย่อยซึ่งเป็นจุดที่บรรจบกับคลองอุตะเภา รวมถึงพื้นที่ราบลุ่มบริเวณทิศเหนือของลุ่มน้ำซึ่งมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง
- 2) ผลตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง หลังจากทำการจำลองสภาพการเกิดน้ำท่วมและได้ผลการจำลองในรูปแบบของแผนที่แสดงขอบเขตการเกิดน้ำท่วมและความลึกของน้ำท่วมแล้ว จากนั้นตรวจสอบผลการจำลองโดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นที่การเกิดอุทกภัยของ ดร.ทองเปลว กองจันทร์ และ สุเทพ น้อยไพโรจน์ (2554) เมื่อนำพื้นที่มาวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับกัน (Overlay) พบว่า พื้นที่น้ำท่วมที่ได้จากข้อมูลการเกิดน้ำท่วมจริงกับพื้นที่น้ำท่วมจากการจำลองโดยแบบจำลองน้ำท่วมมีส่วนที่ตรงกัน (Intersect) คิดเป็นร้อยละ 91.08 โดยมีส่วนที่แตกต่างกันเล็กน้อยในพื้นที่ขอบเขตการเกิดน้ำท่วมทางด้านทิศตะวันออก และด้านทิศใต้ แต่ในส่วนของพื้นที่เมืองหาดใหญ่และชุมชนรอบนอกมีความสอดคล้องกัน

5.5 ผลการจัดทำแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

การพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาโดยการพิจารณาปัจจัยสำคัญสองส่วน คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำท่วมโดยใช้คาบการเกิดซ้ำของการเกิดน้ำท่วม (Return Period) และระดับความรุนแรงของน้ำท่วมซึ่งพิจารณาจากระดับความลึกของน้ำท่วม (Inundation Depth) โดยจำแนกระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วม (Flood risk) ออกเป็นระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วมได้ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับความเสี่ยงภัยน้ำท่วมต่ำ (Low risk, L) ระดับความเสี่ยงภัยน้ำท่วมปานกลาง (Medium risk, M) ระดับความเสี่ยงภัยน้ำท่วมสูง (High risk, H) ผลการดำเนินพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม สรุปได้ ดังนี้

1) พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ผลการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลและการจำแนกระดับความเสี่ยง สร้างเป็นแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ในลุ่มน้ำคลองอุตะเถาเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมระดับปานกลาง โดยพื้นที่ที่มีระดับเสี่ยงภัยสูงนั้นเป็นพื้นที่บริเวณที่ใกล้กับคลองอุตะเถาและคลองระบายน้ำสายที่ 1 รวมถึงพื้นที่ราบลุ่มทางด้านทิศเหนือของลุ่มน้ำ

2) พื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ข้างเคียง

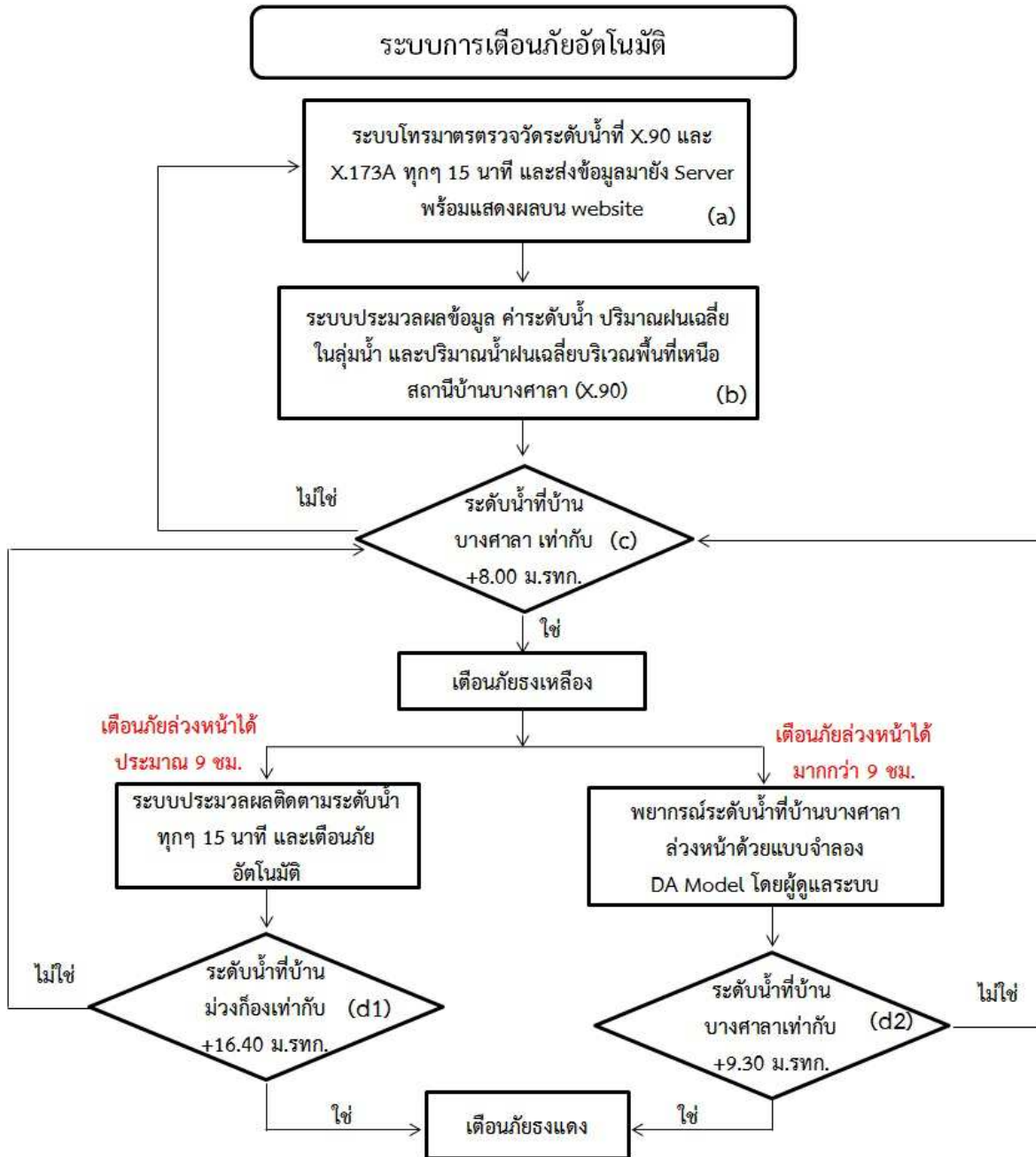
จากแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสำหรับพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่ พบว่า โดยภาพรวมของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในระดับปานกลางถึงมีความเสี่ยงสูง โดยร้อยละ 60 ของพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่มีระดับเสี่ยงภัยน้ำท่วมสูงซึ่งได้แก่บริเวณพื้นที่ริมคลองอุตะเถาและชุมชนใกล้เคียง พื้นที่ในสวนใจกลางเมืองรวมถึงพื้นที่เศรษฐกิจ

5.6 ผลการพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ

การพัฒนาระบบการเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ได้ปรับปรุงขั้นตอนในการเตือนภัยของคณะอนุกรรมการฯ ในส่วนของการคาดการณ์ล่วงหน้าและการแสดงผลการเตือนภัยโดยการตัดสินใจอัตโนมัติโดยแสดงผลบน Internet ผ่านเว็บไซต์ของศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ (www.nadrec.psu.ac.th) โดยใช้เงื่อนไขการเตือนภัยของคณะอนุกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำจังหวัดสงขลา โดยผลการวิเคราะห์ ศึกษา และพัฒนาระบบการเตือนภัยน้ำท่วมอัตโนมัติ แสดงในรูปของแผนผังขั้นตอนการเตือนภัยได้ดังรูปที่ 5.1

การพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าที่ใช้ในการเตือนภัยได้เลือกใช้แบบจำลอง MIKE11 DA (MIKE11 Data Assimilation) ซึ่งสามารถทำการปรับค่าให้ทันสมัยด้วยข้อมูลตรวจวัดปัจจุบัน (Update Process) โดยในการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ในการศึกษานี้ได้เลือกทำการพยากรณ์ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาซึ่งเป็นจุดเฝ้าสังเกตการณ์ระดับน้ำเพื่อเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ และเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมในช่วง 1-2 มกราคม ปี พ.ศ.2555 เพื่อจำลองการพยากรณ์น้ำท่วม ผลจากการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า พบว่า การพยากรณ์เริ่มมีความแม่นยำในการพยากรณ์ครั้งที่ 4 โดยค่าระดับน้ำสูงสุดที่ได้ในการพยากรณ์ครั้งที่ 4 มีค่าต่างจากค่าตรวจวัดจริง 38 เซนติเมตร สามารถพยากรณ์ระดับน้ำได้ล่วงหน้า 16 ชั่วโมง จากผลการพยากรณ์ยังพบว่า เมื่อมีการปรับปรุง (Update) ข้อมูลตรวจวัดค่าระดับน้ำจากการ

พยากรณ์จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และแบบจำลองการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า MIKE11 DA (MIKE11 Data Assimilation) มีประสิทธิภาพในการใช้งานควบคู่กับระบบโทรมาตรที่ตรวจวัดข้อมูลแบบ real time เพื่อเตือนภัยน้ำท่วมล่องหน้า



รูปที่ 5.1 แผนผังขั้นตอนการเตือนภัยแบบอัตโนมัติ เมืองหาดใหญ่

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน 2553. *โครงการระบบโทรมาตรเตือนภัยน้ำท่วมชุมชนเมืองนครศรีธรรมราช*. กรมชลประทาน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย 2553. คู่มือฝึกอบรมการปลูกจิตสำนึกเพื่อเตรียมพร้อมรับภัยน้ำท่วม.
- กรมทรัพยากรธรณี 2544. *ลักษณะธรณีวิทยาบริเวณลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา*
- กานดา คงธรรม. 2545. *การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำน่าน*.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทรงเกียรติ ขำทอง 2550. *ศักยภาพปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำน่านและการรองรับปริมาณน้ำผันจากลุ่มน้ำยม*. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทองเปลว กองจันทร์ 2554. *อุทกภัยในอำเภอหาดใหญ่*. สำนักอุทกวิทยาแลบริหารน้ำ. กรมชลประทาน.
- นาคยา จึงเจริญธรรม 2546. *ระบบการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินตามศักยภาพทรัพยากรน้ำ ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา*. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ 2545. *การจำลองสภาวะน้ำท่วม*. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มูลนิธิอาสาเพื่อนพึ่ง (ภาฯ) ยามยาก และศูนย์อุตุนิยมหาวิทยาลัย 2551. *โครงการระบบสนับสนุนการตัดสินใจเตือนภัยน้ำท่วม*. สภาอากาศไทยและกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- สุพจน์และคณะ 2550. *โครงการสำรวจติดตั้งระบบตรวจวัด และจัดตั้งศูนย์ข้อมูลภูมิภาค ในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบน และลุ่มน้ำมูลตอนบน*. ศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ. กรมทรัพยากรน้ำ. กรุงเทพมหานคร.
- สุจี แก้วสลับนิล (2551). *การศึกษาการเกิดอุทกภัย และแนวทางป้องกันในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11*. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Australian Government 2009. Flood Warning Manual 21. Australian Emergency Manual Series. Attorney-General's Department. Australia.
- Chow, V.T., D.R. Maidment. and L.W.Mays. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Danish Hydraulic Institute 2011. MIKE 11 Reference Manual.
- Danish Hydraulic Institute 2011. MIKE 11 User Manual
- Danish Hydraulic Institute 2011. MIKE 11 A Modeling Systems for Rivers and Channels User Guide.
- Danish Hydraulic Institute 2007. MIKE Flood User Manual.
- Danish Hydraulic Institute 2007. MIKE 21 HD (Hydrodynamics) User Manual.
- Department of Military Affairs and Public Safety. West Verinia. USA. [Online available: <http://www.rainfall.net/index.php>]. [2013 June 4].
- German Working Group of the Federal States on Water Issues (LAWA) 2006. Flood hazard map guidelines of the German Working Group of the Federal States on Water Issues. Germany.

- Harris county Flood warning system. Harris County. Texas. USA. [Online available: <http://www.harriscountyfws.org/>]. [2013 June 4].
- National weather service. Automated Flood Warning System, AFWS. [Online available: <http://water.weather.gov/afws/>]. [2013 June 4].
- I. Poretti and M. De Amicis 2011. An approach for flood hazard modelling and mapping in the medium Valtellina. *Natural Hazard and Earth System Sciences*. Vol 11 2011:p.1141-1151.
- Matthew T. Whitehead and Chad J. Ostheimer 2008. Development of a Flood-Warning System and Flood-Inundation Mapping for the Blanchard River in Findlay, Ohio. Scientific Investigations Report 2008. U.S. Geological Survey. United state of America.
- Supharatid, S. (2006) "The Hat Yai 2000 Flood: the worst flood in Thai history," *Hydrological Processes*, 20, p. 307-318.
- Wright C 2001. Flash Flooding in an Urban Environment: Causes, Effects, Potential Damages and Possible Remedies, with Particular Reference to Keswick Creek in the Inner Suburbs of Adelaide, unpublished Master of Engineering Science thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Adelaide.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานท้องน้ำของ Manning (n)

Manning's n for Channels (Chow, 1959).

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
Natural streams - minor streams (top width at floodstage < 100 ft)			
1. Main Channels			
a. clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. same as "d" with more stones	0.045	0.050	0.060
g. sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150
2. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages			
a. bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070
3. Floodplains			
a. Pasture, no brush			
1. short grass	0.025	0.030	0.035
2. high grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. no crop	0.020	0.030	0.040
2. mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
2. cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
3. same as above, but with heavy growth of sprouts	0.050	0.060	0.080
4. heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.080	0.100	0.120
5. same as 4. with flood stage reaching branches	0.100	0.120	0.160

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
4. Excavated or Dredged Channels			
a. Earth, straight, and uniform			
1. clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. with short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
b. Earth winding and sluggish			
1. no vegetation	0.023	0.025	0.030
2. grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
3. dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. earth bottom and rubble sides	0.028	0.030	0.035
5. stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
6. cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
c. Dragline-excavated or dredged			
1. no vegetation	0.025	0.028	0.033
2. light brush on banks	0.035	0.050	0.060
d. Rock cuts			
1. smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
2. jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
e. Channels not maintained, weeds and brush uncut			
1. dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
2. clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
3. same as above, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
4. dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140
5. Lined or Constructed Channels			
a. Cement			
1. neat surface	0.010	0.011	0.013
2. mortar	0.011	0.013	0.015
b. Wood			
1. planed, untreated	0.010	0.012	0.014
2. planed, creosoted	0.011	0.012	0.015
3. unplaned	0.011	0.013	0.015
4. plank with battens	0.012	0.015	0.018
5. lined with roofing paper	0.010	0.014	0.017
c. Concrete			
1. trowel finish	0.011	0.013	0.015
2. float finish	0.013	0.015	0.016
3. finished, with gravel on bottom	0.015	0.017	0.020
4. unfinished	0.014	0.017	0.020
5. gunite, good section	0.016	0.019	0.023

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
6. gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
7. on good excavated rock	0.017	0.020	
8. on irregular excavated rock	0.022	0.027	
d. Concrete bottom float finish with sides of:			
1. dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
2. random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
3. cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
4. cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
5. dry rubble or riprap	0.020	0.030	0.035
e. Gravel bottom with sides of:			
1. formed concrete	0.017	0.020	0.025
2. random stone mortar	0.020	0.023	0.026
3. dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
f. Brick			
1. glazed	0.011	0.013	0.015
2. in cement mortar	0.012	0.015	0.018
g. Masonry			
1. cemented rubble	0.017	0.025	0.030
2. dry rubble	0.023	0.032	0.035
h. Dressed ashlar/stone paving	0.013	0.015	0.017
i. Asphalt			
1. smooth	0.013	0.013	
2. rough	0.016	0.016	
j. Vegetal lining	0.030		0.500

ภาคผนวก ข.

ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ช่วงเดือนธันวาคม ปีพ.ศ.2554 – มกราคม ปี พ.ศ. 2555

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา เดือนธันวาคม ปีพ.ศ.2554

วันที่	วัด โคกเหรียญ	สำนักสงฆ์ เก่าร้าง	อ่างเก็บน้ำ คลองหลา	วัด โพธิ์	วัด วังพา	สถานีอนามัย คลองรำ	เทศบาล ปริก	ตชด. ค่ายท่านมุก	วัด ม่วงก้อง	บ้าน ทุ่งจ้ง	วัด ทุ่งปรือ	วัด ควนเนียง	วัด บางธน	วัด บ้านไร่	วัด โพธาราม	ค่าเฉลี่ย
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	8.00	6.20	10.60	9.40	49.00	0.00	17.20	6.00	0.20	5.60	4.00	10.60	21.80	21.20	0.00	11.32
4	27.00	28.80	24.60	56.40	39.20	29.00	24.20	30.80	16.40	32.20	29.80	22.00	24.40	41.40	0.00	28.41
5	0.40	0.20	0.60	9.20	0.80	1.20	0.00	0.00	1.00	0.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.00	0.97
6	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.60	0.00	0.20	0.00	0.60	1.20	0.00	0.00	1.20	4.20	0.00	0.60	7.20	1.05
10	4.60	7.40	13.40	14.20	6.80	0.20	0.20	1.40	2.00	11.60	4.60	8.80	6.20	8.40	13.20	6.87
11	24.20	9.60	9.20	24.40	25.80	6.20	0.80	0.20	1.80	4.40	1.60	1.60	22.00	37.00	24.80	12.91
12	7.20	4.00	6.40	11.60	13.00	1.20	2.00	8.60	5.00	20.80	18.60	13.80	11.00	18.20	50.80	12.81
13	5.20	3.80	3.80	6.20	7.00	4.20	6.20	11.40	8.20	19.40	14.60	12.60	9.20	9.80	25.80	9.83
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
15	30.40	22.60	30.40	33.80	26.80	21.00	21.20	41.00	26.40	22.40	25.60	33.00	33.20	29.80	30.40	28.53
16	47.00	31.40	45.60	44.60	55.80	34.20	26.20	51.60	45.00	57.60	41.00	44.00	48.60	59.20	26.00	43.85
17	6.80	2.60	9.60	14.80	15.40	7.80	2.40	8.60	1.20	7.60	16.00	1.00	9.00	9.00	14.40	8.41
18	14.20	7.00	20.80	20.60	21.40	6.00	2.80	7.20	3.60	7.20	8.40	5.80	6.80	10.80	12.60	10.35
19	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.80	0.20	0.20	0.00	1.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.20
20	2.40	1.40	1.60	2.40	1.40	0.20	1.00	0.60	0.40	2.80	4.80	1.00	1.60	1.00	0.40	1.53
21	22.20	16.40	23.20	19.20	26.40	6.60	11.00	17.60	14.60	18.80	20.00	22.80	20.00	28.20	30.00	19.80
22	14.20	6.00	13.20	8.60	10.40	5.40	1.20	6.00	9.40	22.40	14.60	9.00	12.60	17.00	9.20	10.61

วันที่	วัด โคกเหรียญ	สำนักสงฆ์ เก่าร้าง	อ่างเก็บน้ำ คลองหลา	วัด โพธิ์	วัด วังพา	สถานีอนามัย คลองรำ	เทศบาล ปริก	ตชด. ค่ายท่านมุก	วัด ม่วงก้อง	บ้าน ทุ่งจั่ง	วัด ทุ่งปรือ	วัด ควนเนียง	วัด บางธน	วัด บ้านไร่	วัด โพธาราม	ค่าเฉลี่ย
23	2.60	2.20	5.60	6.20	4.00	0.40	0.00	1.20	1.40	5.60	4.40	2.00	2.00	3.20	6.60	3.16
24	2.00	5.80	0.80	3.20	1.40	0.20	0.80	0.20	0.20	0.80	0.00	0.60	3.20	2.00	3.20	1.63
25	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.08
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.01
28	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
29	4.60	2.20	5.40	5.60	10.00	1.20	0.60	2.60	4.60	3.20	3.40	1.80	5.00	7.80	11.20	4.61
30	0.40	2.40	1.00	0.40	3.20	0.60	0.60	5.80	0.40	11.60	11.00	10.80	0.20	0.20	0.40	3.27
31	62.40	49.80	42.80	50.80	63.20	40.40	39.60	52.40	77.60	83.40	83.20	77.80	90.00	100.80	90.20	66.96

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา เดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2555

วันที่	วัด โคกเหรียญ	สำนักสงฆ์ เก่าร้าง	อ่างเก็บน้ำ คลองหลา	วัด โพธิ์	วัด วังพา	สถานีอนามัย คลองรำ	เทศบาล ปริก	ตชด. ค่ายท่านมุก	วัด ม่วงก้อง	บ้าน ทุ่งจั่ง	วัด ทุ่งปรือ	วัด ควนเนียง	วัด บางธน	วัด บ้านไร่	วัด โพธาราม	ค่าเฉลี่ย
1	128.20	146.00	125.20	108.40	131.60	159.80	249.40	283.60	235.20	228.00	280.80	182.40	147.20	138.40	183.60	181.85
2	0.00	0.20	0.00	2.80	88.20	0.00	1.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	6.24
3	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	7.20	7.00	13.00	15.80	11.00	2.00	1.20	4.60	3.80	2.40	4.80	1.60	10.60	10.20	4.60	6.65
9	28.60	18.00	21.60	35.20	39.60	11.80	7.80	13.80	16.20	22.80	27.40	18.20	17.40	17.20	24.60	21.35

วันที่	วัด โคกเทรียง	สำนักสงฆ์ เก่าร้าง	อ่างเก็บน้ำ คลองหลา	วัด โพธิ์	วัด วังพา	สถานีอนามัย คลองรำ	เทศบาล ปริก	ตชด. ค่ายท่านมุก	วัด ม่วงกิ่ง	บ้าน ทุ่งจ้ง	วัด ทุ่งปรือ	วัด ควนเนียง	วัด บางธน	วัด บ้านไร่	วัด โพธาราม	ค่าเฉลี่ย
10	21.60	18.00	25.60	26.00	39.20	8.80	12.40	14.80	24.80	19.60	19.00	18.40	16.60	18.80	27.40	20.73
11	11.60	1.80	4.20	3.80	7.40	8.60	0.80	4.40	4.00	3.20	1.60	3.40	13.80	13.20	9.40	6.08
12	172.80	173.40	161.60	162.60	174.00	104.00	82.40	138.80	180.60	222.60	246.20	223.80	150.00	152.60	92.40	162.52
13	4.80	8.20	14.40	19.40	26.80	14.00	11.60	20.60	11.20	35.60	16.60	18.00	11.20	16.20	29.20	17.19
14	1.20	10.40	14.40	2.80	10.20	18.60	8.20	0.00	1.60	0.40	0.60	0.00	0.40	1.40	7.80	5.20
15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.40	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.15
16	2.20	4.20	4.20	2.80	0.20	0.40	0.00	4.60	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	1.64
17	4.60	3.80	0.40	0.00	5.20	2.20	16.80	7.40	5.00	3.00	0.40	2.80	4.20	10.40	1.60	4.52
18	1.60	32.60	19.00	8.60	15.00	14.80	4.00	57.40	8.20	6.60	13.80	12.40	15.40	17.60	6.40	15.56
19	52.00	83.60	94.80	40.80	113.40	56.60	47.60	77.80	46.80	37.60	65.40	66.20	15.20	9.80	25.00	55.51
20	10.00	0.20	0.20	7.40	15.20	0.20	0.20	0.40	0.40	1.60	1.40	0.80	11.40	9.20	9.40	4.53
21	1.80	1.60	7.20	1.40	3.00	0.40	15.40	70.20	5.40	0.00	0.20	17.20	35.60	17.60	7.40	12.29
22	0.20	0.20	0.40	0.20	0.20	0.20	0.40	0.20	0.40	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.40	0.00	2.40	3.80	0.00	0.80	2.00	0.60	0.40	1.20	2.60	1.20	1.00	0.60	1.60	1.24
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.40	0.20	0.11
31	1.40	1.40	1.40	2.80	14.60	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20	0.20	1.80	3.40	5.20	2.25

ภาคผนวก ค.

อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันของน้ำในคลองอุต๊ะเกา ที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลาในช่วง เดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2554 – เดือนมกราคม ปี พ.ศ.2555

อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันของน้ำในคลองอุตตะเกา ที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา ในช่วงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2554 - เดือนมกราคม ปี พ.ศ.2555

วันที่	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)	วันที่	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
1 ธ.ค. 54	37.27	1 ม.ค. 55	388.48
2 ธ.ค. 54	30.07	2 ม.ค. 55	901.93
3 ธ.ค. 54	26.98	3 ม.ค. 55	478.98
4 ธ.ค. 54	30.38	4 ม.ค. 55	312.59
5 ธ.ค. 54	52.73	5 ม.ค. 55	177.14
6 ธ.ค. 54	50.84	6 ม.ค. 55	87.56
7 ธ.ค. 54	47.47	7 ม.ค. 55	52.15
8 ธ.ค. 54	35.58	8 ม.ค. 55	36.42
9 ธ.ค. 54	26.77	9 ม.ค. 55	30.57
10 ธ.ค. 54	20.32	10 ม.ค. 55	46.09
11 ธ.ค. 54	15.11	11 ม.ค. 55	62.10
12 ธ.ค. 54	19.69	12 ม.ค. 55	91.21
13 ธ.ค. 54	31.10	13 ม.ค. 55	477.41
14 ธ.ค. 54	25.68	14 ม.ค. 55	425.24
15 ธ.ค. 54	17.74	15 ม.ค. 55	301.69
16 ธ.ค. 54	42.21	16 ม.ค. 55	189.96
17 ธ.ค. 54	119.34	17 ม.ค. 55	112.51
18 ธ.ค. 54	113.41	18 ม.ค. 55	70.70
19 ธ.ค. 54	70.38	19 ม.ค. 55	66.07
20 ธ.ค. 54	43.80	20 ม.ค. 55	170.96
21 ธ.ค. 54	29.73	21 ม.ค. 55	244.08
22 ธ.ค. 54	35.39	22 ม.ค. 55	177.40
23 ธ.ค. 54	40.44	23 ม.ค. 55	102.19
24 ธ.ค. 54	29.43	24 ม.ค. 55	66.79
25 ธ.ค. 54	21.32	25 ม.ค. 55	59.07
26 ธ.ค. 54	18.58	26 ม.ค. 55	45.55
27 ธ.ค. 54	15.88	27 ม.ค. 55	31.47
28 ธ.ค. 54	15.02	28 ม.ค. 55	23.83
29 ธ.ค. 54	12.38	29 ม.ค. 55	24.15
30 ธ.ค. 54	12.09	30 ม.ค. 55	16.84
31 ธ.ค. 54	21.81	31 ม.ค. 55	17.66