การพัฒนาแบบจำลองการเกิดน้ำท่วมในชุมชนเมืองหาดใหญ่ โดยใช้ HEC-RAS 2D

The Development of A Flood Model for Hatyai Municipality Using HEC-RAS 2D

ศักดิ์ชัย ปรีชาวีรกุล และ ธิรดา ยงสถิตศักดิ์

Sakchai Prechaverakul and Thirada Yongsatitsak

ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศภาคใต้

คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

โทรศัพท์ 074 286874 / โทรสาร 074 429955

e-mail : sakchai.p@psu.ac.th, thirada.y@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองการเกิดน้ำท่วม ในพื้นที่ชุมชนทั้งหมด 102 ชุมชนของเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งมีคลองหลัก 2 คลองคือ คลองอู่ตะเภาและคลองระบายน้ำ ร.1 ทำหน้าที่ระบายน้ำที่ผ่านตัวเมืองลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่แหลมโพธิ์ ด้วยความสามารถของ HEC-RAS 2D ที่สามารถทำการจำลองการไหลแบบหนึ่งมิติร่วมกับสองมิติได้ จึงได้จำลองให้การไหลในคลองทั้งสองเป็นแบบหนึ่งมิติ และส่วนที่ล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ชุมชนเป็นการไหลแบบสองมิติ การปรับเทียบแบบจำลองการไหลหนึ่งมิติในคลองอู่ตะเภาได้ใช้วิธีการแปรค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n Value) ของทางน้ำ โดยจำลองการไหลของน้ำเป็นแบบไม่คงที่ จากสถานีวัดระดับน้ำ X.44 บ้านหาดใหญ่ใน จนถึงสถานีวัดระดับน้ำ X.181 บ้านหาร ผลการปรับเทียบพบว่า เมื่อปริมาณน้ำมากกว่า 200 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่า n ที่ 0.020 จะทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและระดับน้ำที่สอดคล้องกับ Rating Curve ของสถานีวัดระดับน้ำ X.181

เมื่อปริมาณน้ำมากจนทำให้น้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ชุมชน ได้ทำการจำลองการไหลเป็นแบบสองมิติ ในการศึกษานี้ ได้ทำการจำลองการเกิดน้ำท่วมใหญ่ ในช่วงวันที่ 1-3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 โดยใช้ปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดระดับน้ำ X.44 ผลจากการจำลองพบว่าเกิดน้ำท่วมในพื้นที่จำนวน 88 ชุมชนจากทั้งหมด 102 ชุมชน และได้ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง กับแผนที่ระดับน้ำท่วมสูงสุดที่ได้ทำการสำรวจก่อนหน้านี้ พบว่าค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างความลึกสูงสุดในแต่ละชุมชนจากแบบจำลองและแผนที่ มีค่าเท่ากับ 61 เซนติเมตร

คำสำคัญ : ชุมชนเมืองหาดใหญ่ คลองอู่ตะเภา คลองระบายน้ำ ร.1 แบบจำลองการเกิดน้ำท่วม HEC-RAS 2D

ABSTRACT

This study aims to develop a flood model for 102 communities in Hatyai Municipality where two main canals: U-Tapao and R-1 have been used as water convenance to drain water into Songkhla Lake at Laem Pho. Since HEC-RAS 2D enables users to perform combined 1D and 2D unsteady-flow routing, a 1D flow has been used for both canals while overbank flow into flood plain has been

modeled as a 2D flow area. The calibration of 1D flow in U-Tapao canal was conducted by varying Manning's n value for an unsteady flow from gauging station X.44 Ban Hatyai Nai to gauging station X.181 Ban Han. The result indicates that when the flow rate is greater than 200 cubic meters per second, an n value of 0.020 will provide the compatible flow and stage with the rating curve of gauging station X.181.

Once the water level exceeds the overbanks and overflows into the floodplain, a 2D flow model has been used by defining the floodplain as a 2D flow area. The big flood during 1st - 3rd November, 2010 has been simulated using flow hydrograph of gauging station X.44. The result predicts that out of 88 from 102 communities will be inundated. The flood peaks of simulated flood and a surveyed flood map have been compared using Root Mean Square Error which in this case is 61 centimeters.

KEY WORDS : Hatyai flood, U-Tapao, R-1, Flood Model, HEC-RAS 2D

1. บทนำ

ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในปัจจุบัน จึงเป็นไปได้ที่จะสร้างแบบจำลองการเกิดน้ำท่วม โดยการใช้แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model/DEM) ร่วมกับโปรแกรม HEC-RAS ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้จำลองสถานการณ์น้ำท่วม ที่พัฒนาโดย Hydrologic Engineering Center ซึ่งเป็นหน่วยงานในสังกัด US Army Corps of Engineers เพื่อจำลองสถานการณ์การเกิดน้ำท่วม จากข้อมูลน้ำท่วมในอดีต และแสดงพื้นที่ที่คาดว่าจะเกิดน้ำท่วมจากน้ำหลากเกินกว่าที่คลองหรือแม่น้ำจะรับได้ ในระยะที่ผ่านมา ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคใต้ ได้ดำเนินการปรับปรุงแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ของเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยใช้วิธีคำนวณจากระดับน้ำท่วมสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อปี 2553 และได้ใช้ DEM ดังกล่าว จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยการเกิดน้ำท่วมด้วยวิธีนำไปซ้อนทับ (Intersection) ระดับน้ำที่ความสูงต่างๆ รวมทั้งได้ทดลองสร้างแบบจำลองการเกิดน้ำท่วม (Flood Inundation Modeling) ด้วยโปรแกรม HEC-RAS ซึ่งเป็นการจำลองการไหลของน้ำแบบหนึ่งมิติ โดยจำลองการไหลของน้ำเฉพาะที่ไหลในคลองอู่ตะเภาคลองเดียว ต่อมาในระยะที่สองได้ทำการเป็นการปรับให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับพื้นที่จริงมากขึ้น โดยการเพิ่มคลองระบายน้ำ ร.1 เข้ามาในแบบจำลอง และทดสอบการระบายน้ำคลองระบายน้ำ ร.1 คลองเดียว และการระบายน้ำแบบสองคลอง คือการระบายน้ำของคลองอู่ตะเภา และคลองระบายน้ำ ร. 1 พร้อมกันที่อัตราการระบายน้ำต่างๆกัน โดยใช้ข้อมูลการเกิดน้ำท่วมในอดีต ผลจากการศึกษาพบว่าในการระบายน้ำคลองอู่ตะเภาคลองเดียว มีความสามารถสูงสุดในการระบายน้ำ 600 ลบ.ม. ต่อวินาที และคลองระบายน้ำ ร.1 มีความสามารถในการระบายน้ำสูงสุด 465 ลบ.ม. ต่อวินาที สอดคล้องกับข้อมูลการระบายน้ำของกรมชลประทาน สำหรับการระบายน้ำสองคลองที่ปริมาณน้ำ 1,600 ลบ.ม. ต่อวินาที พบว่าพื้นที่ที่น้ำท่วมไม่ได้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์การเกิดน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2553 ที่เกิดน้ำท่วมทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา ซึ่งไม่สอดคล้องกัน สาเหตุที่เป็นไปได้ประการหนึ่ง อาจเกิดจากการที่แบบจำลอง HEC-RAS จำลองการไหลเป็นแบบ 1 มิติ คือพื้นที่ที่อยู่ต่ำกว่าระดับความสูงของน้ำในแนวเส้นทางการไหลของน้ำจะถูกกำหนดเป็นพื้นที่ที่น้ำท่วม ซึ่งในความเป็นจริงเมื่อน้ำล้นตลิ่ง การไหลของน้ำสามารถจำลองให้เป็นการไหลแบบ 2 มิติได้

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จึงทำการจำลองการไหลทั้ง 1 มิติ (ไหลในลำน้ำ) และ 2 มิติ (เมื่อน้ำล้นตลิ่ง) โดยใช้ HEC-RAS 2D ซึ่งจะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์

พัฒนาแบบจำลองการเกิดน้ำท่วมโดยใช้แบบจำลองการไหลหนึ่งและสองมิติร่วมกัน

3. วิธีการวิจัย

3.1 สร้างแบบจำลองการเกิดน้ำท่วมของชุมชนเมืองหาดใหญ่ ด้วยการใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขของพื้นที่ชุมชนเมืองหาดใหญ่ในรูปแบบ TIN Model ข้อมูลหน้าตัดลำน้ำคลองอู่ตะเภา และคลองระบายน้ำ ร. 1 จัดทำเป็นฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยเส้นทางการไหลของน้ำ (Stream Centerline) ตลิ่งลำน้ำ (Stream Banks) เส้นทางการไหลบ่าเมื่อน้ำล้นตลิ่ง (Flow Paths) หน้าตัดลำน้ำ (Cross Sections) ของคลองอู่ตะเภา และคลองระบายน้ำ ร.1 รวมทั้งสภาพการใช้ที่ดินในเขตชุนเมืองหาดใหญ่ (Land Use) เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำเข้าสู่โปรแกรม HEC-RAS 2D เพื่อสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำ 1 มิติ และ 2 มิติ

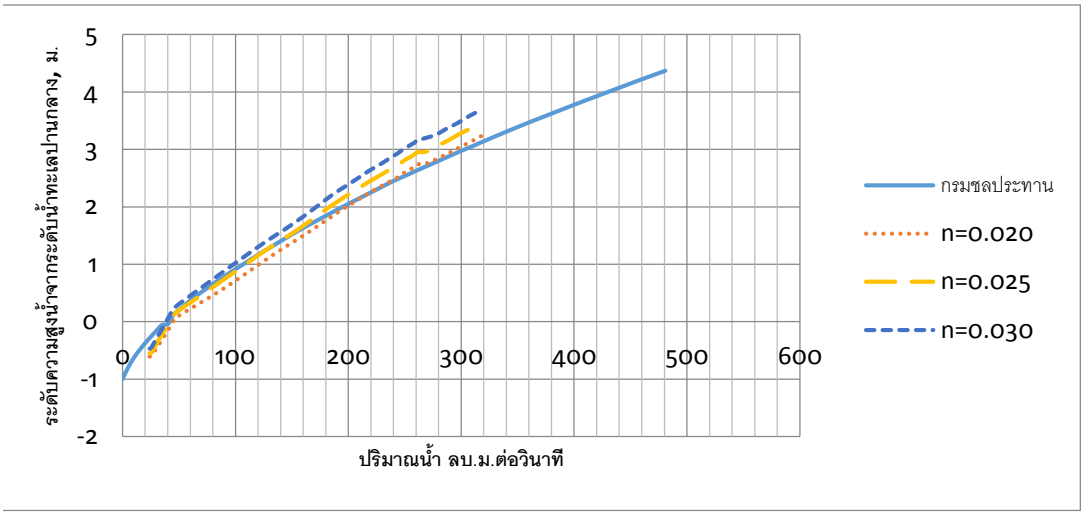
3.2 สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำ 1 มิติและ 2 มิติร่วมกัน โดยใช้ HEC-RAS 2D โดยจำลองให้การไหลของน้ำในคลองเป็นการไหล 1 มิติ และน้ำที่ล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ชุมชนเป็นการไหลแบบ 2 มิติ ด้วยการกำหนด 2D Flow Area ในรูปกริดเซลขนาด 5x5 เมตร จาก TIN Model และได้ทำการจำลองการไหลของน้ำเป็นแบบไม่คงที่ โดยใช้ข้อมูล Flow Hydrograph ในช่วงวันที่ 17 – 24 ธันวาคม พ.ศ. 2557 จำลองการไหลของน้ำในคลองอู่ตะเภา และคลองระบายน้ำ ร. 1 แบบ 1 มิติ เพื่อทำการปรับเทียบแบบจำลอง โดยวิธีการแปรค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง (Manning's Coefficient) ในคลองอู่ตะเภา เมื่อได้สัมประสิทธิ์แมนนิ่งที่เหมาะสมแล้ว จึงได้ทำการจำลองการเกิดน้ำท่วมใหญ่เมื่อปี พ.ศ. 2553 โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงของวันที่ 1-3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองได้ทำการเปรียบเทียบกับแผนที่ระดับน้ำท่วมสูงสุดที่ได้ทำการสำรวจไว้ (ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคใต้ , 2556)

4. ผลการวิจัย

4.1 การปรับเทียบแบบจำลองด้วยการแปรค่า Manning's n Value ของคลองอู่ตะเภา

ในการศึกษานี้ ได้ทำการปรับเทียบแบบจำลอง โดยการแปรค่า Manning's n Value ของคลองอู่ตะเภา และทำการจำลองการไหลหนึ่งมิติแบบไม่คงที่ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมง ของสถานี X.44 บ้านหาดใหญ่ที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 17 – 24 ธันวาคม พ.ศ. 2557 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดฝนตกหนักในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และระดับน้ำได้ขึ้นสูงสุด อยู่ที่ระดับ 5.42 เมตร (ร.ท.ก.) ในช่วงเวลา 15.00-17.00 น. ของวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2557 (กรมชลประทาน, 2557) ซึ่งมีปริมาณน้ำค่อนข้างมากแต่ยังเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับตลิ่งประมาณ 2 เมตร ปริมาณน้ำดังกล่าว ได้ใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ที่ต้นน้ำ เพื่อจำลองการไหลของน้ำแบบหนึ่งมิติในคลองอู่ตะเภา จากสถานี X.44 บ้านหาดใหญ่ใน จนลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่แหลมโพธิ์ ซึ่งได้กำหนดให้เงื่อนไขขอบเขตที่ท้ายน้ำ เป็นความลึกปกติ (Normal Depth) แบบจำลองที่สร้างขึ้น ทำการปรับเทียบกับ Rating Curve ปี พ.ศ. 2553 ของสถานี X.181 บ้านหาร (กรมชลประทาน, 2553) โดยการแปรค่า Manning's n Value ของคลองอู่ตะเภา เท่ากับ 0.020, 0.025 และ 0.030 ตามลำดับ ผลจากแบบจำลองพบว่า เมื่อปริมาณน้ำน้อยกว่า 200 ลบ.ม.ต่อวินาที และ ค่า n = 0.025 ระดับความสูงของน้ำจะสอดคล้องกับค่าของกรมชลประทาน และเมื่อปริมาณน้ำมากกว่า 200 ลบ.ม.ต่อ

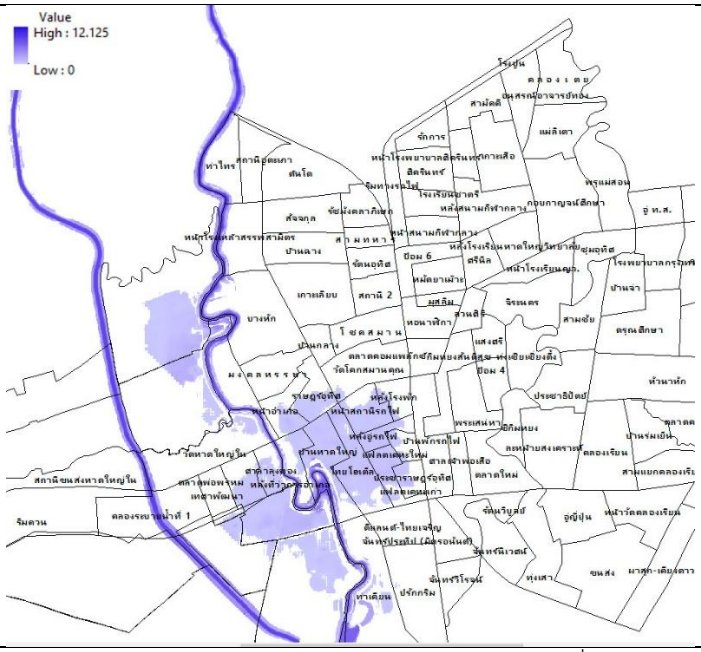
วินาที ค่า n = 0.020 จะทำให้ได้ค่าความสูงของน้ำที่สอดคล้องกับค่าของกรมชลประทาน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองการเกิดน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2553 ที่ปริมาณน้ำท่ามากกว่า 200 ลบ.ม.ต่อวินาที จึงใช้ค่า n = 0.020 ดังภาพที่ 1



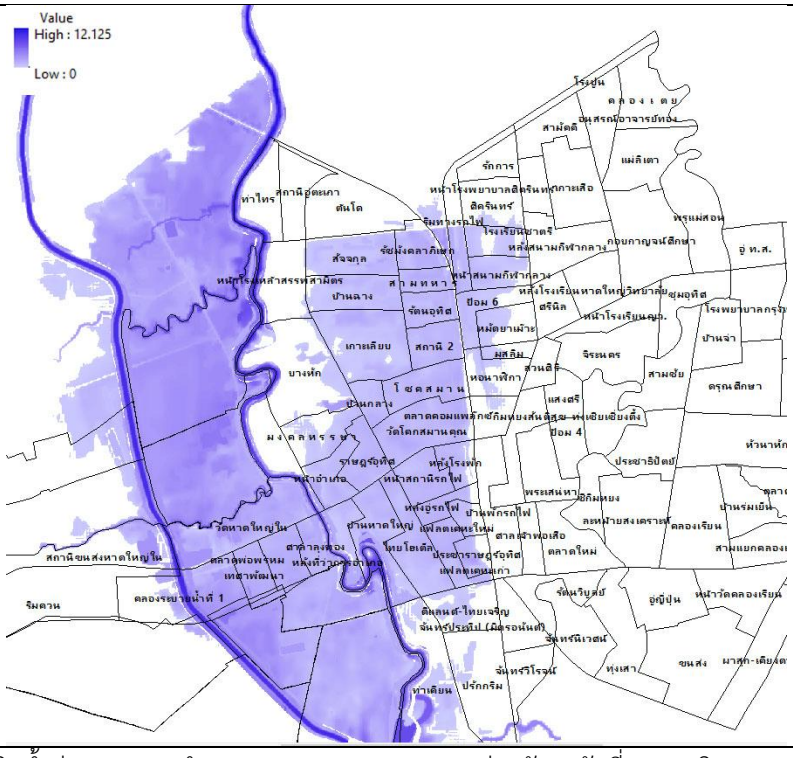
ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ-ระดับน้ำ ที่ Manning's n Value ต่างๆ กันเทียบกับ Rating Curve (2553) ของกรมชลประทาน ที่สถานีวัดระดับน้ำ X.181 บ้านหาร

4.2 แบบจำลองการไหลของน้ำหนึ่งและสองมิติ

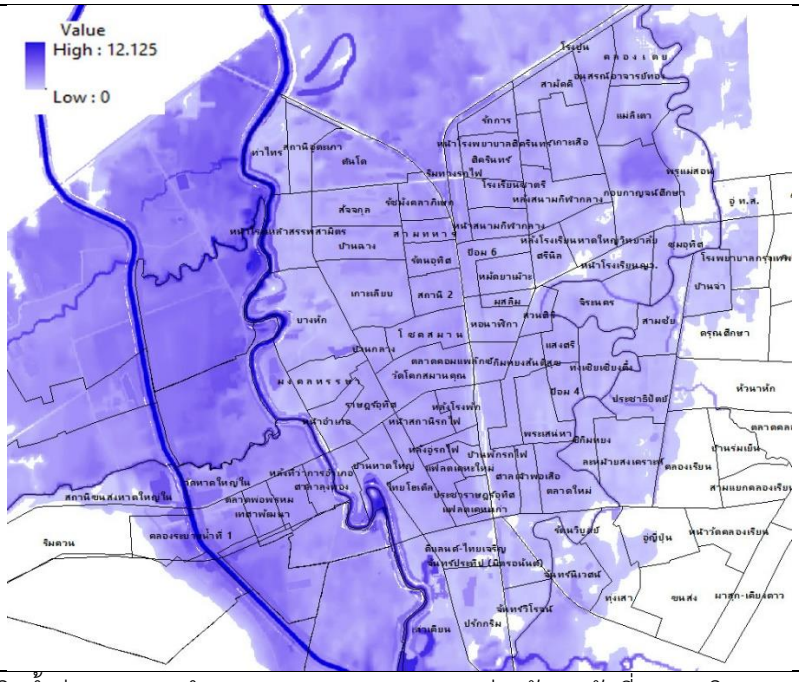
ในการพัฒนาแบบจำลอง 2 มิติ ได้ทำการกำหนดให้พื้นที่บริเวณฝั่งขวาและซ้ายของคลองอู่ตะเภาและคลอง ร.1 เป็นพื้นที่การไหลสองมิติ (2D Flow Area) และการไหลของน้ำในคลองอู่ตะเภาและคลอง ร.1 เป็นการไหลหนึ่งมิติและเป็นการไหลแบบไม่คงที่ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมง ของสถานี X.44 ในช่วงวันที่ 1-3 พฤศจิกายน 2553 ซึ่งเกิดน้ำท่วมใหญ่ เป็นเงื่อนไขขอบเขตที่ต้นน้ำ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ Manning's n Value เท่ากับ 0.020 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการปรับเทียบโมเดล ผลจากแบบจำลอง ณ เวลาต่างๆ ระหว่างวันที่ 1-3 พฤศจิกายน 2553 โดยเริ่มจากวันที่ 1 พฤศจิกายน 2553 เวลา 22.30 น น้ำล้นตลิ่งและไหลเข้าท่วมพื้นที่ฝั่งซ้ายและขวาของคลองอู่ตะเภา (ภาพที่ 2) วันที่ 2 พฤศจิกายน 2553 เวลา 04.00 น. น้ำไหลเข้าท่วมพื้นที่ฝั่งซ้ายของคลองอู่ตะเภาทั้งหมด และคลองระบายน้ำ ร.1 ล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มต่ำ (ภาพที่ 3) และวันที่ 2 พฤศจิกายน 2553 เวลา 06.00 น. (ภาพที่ 4) น้ำไหลท่วมพื้นที่ฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของคลองอู่ตะเภาทั้งหมด



ภาพที่ 2 พื้นที่เกิดน้ำท่วมจากแบบจำลอง HEC-RAS 1D และ 2D ร่วมกัน ณ วันที่ 1 พฤศจิกายน 2553 เวลา 22.30 น.



ภาพที่ 3 พื้นที่เกิดน้ำท่วมจากแบบจำลอง HEC-RAS 1D และ 2D ร่วมกันณ วันที่ 2 พฤศจิกายน 2553 เวลา 04.00 น.



ภาพที่ 4 พื้นที่เกิดน้ำท่วมจากแบบจำลอง HEC-RAS 1D และ 2D ร่วมกัน ณ วันที่ 2 พฤศจิกายน 2553 เวลา 06.00 น.

4.3 ความแม่นยำของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

ผลลัพธ์จากการจำลองการไหลของน้ำโดยให้เป็นการไหลแบบหนึ่งมิติในลำน้ำและสองมิติเมื่อน้ำล้นตลิ่ง ประกอบด้วยความเร็วและความสูงของระดับน้ำ เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง ความลึกน้ำท่วมสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละชุมชนจำนวน 88 ชุมชน ของเทศบาลนครหาดใหญ่ (จาก 102 ชุมชน เลือกเฉพาะชุมชนที่เกิดน้ำท่วม) ถูกนำไปเปรียบเทียบกับความลึกที่ได้จากแผนที่ระดับน้ำท่วมสูงสุด ปี พ.ศ. 2553 (สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์, 2556) ได้คำนวณหาค่าความแตกต่างเฉลี่ยทางสถิติของความลึกของน้ำท่วมสูงสุดด้วย Root Mean Square Error (RMSE) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(W_{HWM} - W_m)^2}{n}} \qquad \text{(สมการที่ 1)}$$

เมื่อ W_{HWM} = ความลึกสูงสุดจากแผนที่ระดับน้ำท่วมสูงสุดปี พ.ศ.2553

W_m = ความลึกสูงสุดจากแบบจำลอง HEC-RAS

จากการคำนวณพบว่า ค่าความแตกต่างเฉลี่ยทางสถิติของความลึกของน้ำท่วมสูงสุด เท่ากับ 61 เซนติเมตร นั่นคือ ความลึกของน้ำท่วมสูงสุดที่ได้จากแบบจำลองจะแตกต่างจากที่ได้จากแผนที่ระดับน้ำท่วมสูงสุดปี พ.ศ. 2553 อยู่ที่ 61 เซนติเมตร เมื่อคิดเฉลี่ยจากพื้นที่ทั้งหมด 88 ชุมชน

5. วิจารณ์ผลและสรุปผล

ในการศึกษานี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองคลองอู่ตะเภาและคลอง ร.1 โดยการเพิ่ม DEM ของหน้าตัดลำน้ำทั้งสองคลองลงใน DEM ของกรมแผนที่ทหาร จากประตูระบายน้ำคลองอู่ตะเภาและประตูระบายน้ำหน้าควน จนถึงทางออกลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่แหลมโพธิ์ จากนั้นจึงได้ทำการจำลองการไหล เป็นแบบหนึ่งมิติและไหลไม่คงที่ ด้วย HEC-RAS โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ในช่วงวันที่ 17 – 24 ธันวาคม พ.ศ. 2557 และทำการปรับเทียบโดยแปรค่า Manning's n Value ของคลองอู่ตะเภาที่ n=0.020, 0.025 และ 0.030 พบว่า เมื่อปริมาณน้ำมากกว่า 200 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่า n = 0.020 จะทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและความสูงของน้ำ สอดคล้องกับ Rating Curve ปี พ.ศ. 2553 ที่สถานีโทรมาตร X.181 บ้านหารของกรมชลประทาน

สำหรับแบบจำลองน้ำท่วมในพื้นที่ชุมชนเทศบาลนครหาดใหญ่ ได้ทำการจำลองการไหลเป็นแบบหนึ่งมิติในคลองทั้งสอง และพื้นที่ชุมชนเทศบาลนครหาดใหญ่เป็นพื้นที่การไหลแบบสองมิติ เมื่อน้ำล้นตลิ่ง และเป็นการไหลแบบไม่คงที่ ผลการจำลอง โดยใช้ปริมาณน้ำท่าขณะเกิดน้ำท่วมใหญ่ เมื่อ วันที่ 1-3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 พบว่า สามารถพยากรณ์ระดับน้ำในคลอง และพื้นที่ที่จะเกิดน้ำท่วมในช่วงเวลาต่างๆ ได้ และได้ทำการเปรียบเทียบความลึกสูงสุดของน้ำที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละชุมชน จำนวนทั้งหมด 88 ชุมชน กับแผนที่ระดับน้ำท่วมสูงสุด ที่ได้ทำการสำรวจก่อนหน้านี้ ผลการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของความแตกต่าง RMSE เท่ากับ 61 เซนติเมตร

6. ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ทั้งในแง่ของช่วงเวลาที่พื้นที่ชุมชนใดจะเกิดน้ำท่วมก่อนและหลัง รวมทั้งอัตราการเพิ่มความสูงของระดับน้ำท่วม ควรเพิ่มแบบจำลองของคลองอู่ตะเภาให้ครอบคลุมขึ้นไปทางต้นน้ำ และอาจเพิ่มคลองสาขาที่มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำในคลองอู่ตะเภา และคลองระบายน้ำ เช่น คลองหวะ คลองวาด และคลองต่ำ

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. (2553). ปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมง วันที่ 1-3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553. Retrieved March 15, 2015, from http://hydro-8.com/

กรมชลประทาน. (2557). ปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมง วันที่ 17 – 24 ธันวาคม พ.ศ. 2557. Retrieved March 15, 2015, from http://hydro-8.com/

ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคใต้. (2556). การพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม เทศบาลนครหาดใหญ่. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ.

US Army Crops of Engineerings. (1997). Unsteady Flow Simulation. Retrieved March 5, 2015, from http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx

US Army Crops of Engineerings. (2010). HEC-RAS version 4.3 Reference Manual. Retrieved July 1, 2015, from http://www.hec.usace.army.mil/software/hec- ras/documentation/HEC-RAS

US Army Crops of Engineerings. (2015). HEC-RAS 2D Modeling User's Manual version 5. Retrieved July 1, 2015, from http://hecrasmodel.blogspot.com/2015/05/new- hec-ras-2d-modeling-users-manual.html