

การออกแบบและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ  
สำหรับการจำลองอุทกภัย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2558

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF A WATER FLOW  
DIRECTION ANALYSIS METHOD  
FOR FLOOD SIMULATION**

**Supattra Puttinaovarat**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Doctor of Information Science in Information Technology**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2015**

## การออกแบบและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำสำหรับการจำลองอุทกภัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงษ์ พลนิกรกิจ)

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ ห่อแก้ว)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกฤษฎี นวัตกรรมกุล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติมนต์ อังสกุล)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.นิตาชาล จำนงศรี)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.คณิต ไช่มุข)

กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(อาจารย์ ดร.พีรศักดิ์ สิริโยธิน)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม

สุพัตรา พุฒินาวรัตน์ : การออกแบบและพัฒนาวีธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ  
สำหรับการจำลองอุทกภัย (DESIGN AND DEVELOPMENT OF A WATER FLOW  
DIRECTION ANALYSIS METHOD FOR FLOOD SIMULATION)  
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ ห่อแก้ว, 213 หน้า.

การวิเคราะห์ทิศทางการไหลมีความสำคัญต่อการจำลองภัยพิบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การพยากรณ์การเกิดอุทกภัย การวางแผนบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงมาตรการป้องกัน อุทกภัยขึ้นอยู่กับความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของทิศทางการไหล ในปัจจุบันการวิเคราะห์ ทิศทางการไหลถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายด้าน ได้แก่ การศึกษาการชะล้างพังทลายของดิน และดินถล่ม วิธีการที่มีอยู่ส่วนใหญ่จำเป็นต้องอาศัยการสกัดข้อมูลจากข้อมูลการรับรู้ระยะไกลหรือ ข้อมูลภูมิสารสนเทศ โดยวิธีการเหล่านั้นยังไม่สามารถวิเคราะห์ทิศทางการไหลได้สอดคล้องกับ ความเป็นจริง เทคโนโลยีล่าสุดที่นำมาใช้ ได้แก่ การวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำและขอบเขต ลุ่มน้ำโดยอัตโนมัติซึ่งอาศัยวิธีการสตรีมเบรินนิงในการปรับระดับค่าความสูงของข้อมูล แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข สำหรับกรณีที่เป็นพื้นที่ราบทิศทางการไหลที่ได้ไม่มี ประสิทธิภาพ เนื่องจากการพิจารณาเฉพาะความลาดชันของภูมิประเทศไม่เพียงพอในการแยก ความแตกต่างของทิศทางการไหลบริเวณแนวลำน้ำ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัด ได้แก่ ข้อมูลขอบเขต แม่น้ำที่ได้มาต้องอาศัยวิธีการดิจิทัลด้วยมือโดยผู้เชี่ยวชาญผ่านโปรแกรมประยุกต์ทางด้าน ภูมิสารสนเทศ อย่างไรก็ตามพบว่ามีอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อการจำลองทิศทางการไหลที่สร้างขึ้น ให้สอดคล้องกับทิศทางการไหลในสภาพจริง

ดังนั้นงานวิจัยนี้ออกแบบและพัฒนาวีธีการใหม่ซึ่งอาศัยการหลอมรวมข้อมูลปัจจัยที่มีผล ต่อการเกิดอุทกภัยจากชั้นข้อมูลภูมิสารสนเทศ งานวิจัยนี้เน้นการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ เพื่อจำลองการเกิดอุทกภัย ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ (1) การจำแนกแหล่งน้ำจากข้อมูลการรับรู้ ระยะไกล (2) การวิเคราะห์ทิศทางการไหล และ (3) การจำลองอุทกภัยโดยอาศัยการหลอมรวม ข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอุทกภัย

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจำแนกแหล่งน้ำด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้เทคนิค ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ในการจำแนกค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI พบว่ามีสิ่งแปลกปลอมและสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องหลงเหลืออยู่ในภาพ ซึ่งกำจัดออกโดย พิจารณาข้อมูลรอบข้าง ผนวกกับข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข (DSM) ซึ่งสามารถ ปรับปรุงข้อจำกัดเรื่องความละเอียดของข้อมูลภูมิสารสนเทศได้ โดยแหล่งน้ำหรือขอบเขตแม่น้ำที่ ได้จากการจำแนกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหล โดยใช้การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ (GVF) โดยในการตรวจสอบผลลัพธ์ใช้ข้อมูลจากข้อมูลอ้างอิง ผลการทดลองพบว่า สามารถจำแนก



แม่น้ำในพื้นที่ศึกษาได้ โดยมีค่าความแม่นยำ 95.91% ค่าความระลึกลับ 97.53% ค่าความถูกต้อง 99.93% และค่าอัตราการรู้จำ 94.11% สำหรับการจำแนกแม่น้ำสายย่อย ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับทิศทางการไหลของวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง มีค่าอยู่ในระดับสูง โดยมีค่าเท่ากับ 0.91 ส่วนสุดท้ายงานวิจัยนี้จำลองการเกิดอุทกภัยโดยใช้แบบจำลองโอเพ่นไลเซ็ม (openLISEM) จากข้อมูล (ปริมาณน้ำฝน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ดิน และสิ่งกีดขวางทางน้ำ) โดยใช้ทิศทางการไหลซึ่งได้จากการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน (วิธีการเดิม วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง และวิธีการที่นำเสนอ) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริงในจังหวัดปทุมธานี วิธีการที่นำเสนอสามารถจำลองการเกิดอุทกภัย โดยมีความถูกต้อง 63.33% 77.86% และ 65.87% เมื่อเปรียบเทียบกับอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริงของปี ค.ศ. 2011 2010 และ 2006 ตามลำดับ โดยสามารถปรับปรุงความถูกต้องได้เพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีการเดิมประมาณ 6-11%



สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ  
ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนักศึกษา \_\_\_\_\_  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม \_\_\_\_\_

SUPATTRA PUTTINAOVARAT : DESIGN AND DEVELOPMENT OF  
A WATER FLOW DIRECTION ANALYSIS METHOD FOR FLOOD  
SIMULATION : ASST. PROF. PARAMATE HORKAEW, Ph.D., 213 PP.

## FLOW DIRECTION ANALYSIS/FLOOD SIMULATION/WATER BODY CLASSIFICATION

Flow direction analysis is important for natural disaster simulations. Especially, predicting flood events, planning efficient management and then devising preventive measure are all dependent on accurate and reliable hydrological flow field. Nowadays, flow direction analysis had been widely applied in many relevant applications, including studies of erosion and landslide. Existing methods primarily rely on extracting this information from remotely sensed or digital geographical data. To date, they are yet unable to provide consistent and realistic flow field. The state of the art technology, for instance, automatically characterizes drainage and delineates watershed based on stream-burning, exploiting elevations available in DEM data. For lowlands unfortunately, the derived flows are impractical, since their terrain contain insufficient slope to differentiate stream directions. Moreover, boundary constraints, i.e., water bodies and surfaces, have to be manually digitized by expert observers, by using an off the shelf GIS software. Nonetheless, even with the flow fields reconstructed, the realistic simulation is not readily available as there remain several other causative yet latent factors.

This research therefore designs and develops a novel paradigm based on data fusion in deriving flood determinants from thematic geographical layers. Its main emphasis is placed on the analysis of water flow direction with applications for flood simulation. The procedure consists of 3 parts: (1) The extraction of water bodies from remotely sensed data, (2) The flow direction analysis, and (3) Flood simulations based

on fusing influential factors.

Specifically, water body was robustly extracted from a satellite image by classifying its Normalized Difference Water Index: NDWI2 and Modified Normalized Difference Water Index: MNDWI by Support Vector Machine: SVM. The remaining spurious structures and isolate irrelevances were further removed by gathering contextual information. Incorporating Digital Surface Model: DSM as a means of enhancing intrinsic geographical resolution was also proposed. With extracted water bodies serving as the boundary conditions, a vector field describing water flow direction was then derived by using Gradient Vector Flow: GVF. On validating the resultant flow against ground references, the assessments revealed that it could extract water body from studied areas with 95.91% of precision, 97.53% of recall, 99.93% of accuracy and 94.11% of F-measure for branching river extraction. The correlations between resultant flows and those obtained from the conventional stream-burning was as high as 0.91. Finally, this study simulated flood using openLISEM modeling (using rainfall, land-use, soil and water blockage) with various flow direction analysis methods (original method, stream burning method and the proposed method). Experimental results suggested that the proposed method is promisingly efficient and reliable. Particularly, compared with the floods actually happened in Pathumthani province, it was further revealed that the proposed method could realistically simulated flood with the greatest accuracies, i.e., 63.33%, 77.86% and 65.87% compared to the actual episodes in 2011, 2010 and 2006, respectively. The improvement was not marginal but an increase of approximately 6–11% accuracy over the original methods.

School of Information Technology

Academic Year 2015

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature \_\_\_\_\_

Co-advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

คุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไป นี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา ความสำเร็จครั้งนี้จะเกิดขึ้นมิได้ ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนจากผู้มีพระคุณดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาต่อภายในประเทศในระดับปริญญาเอก จนกระทั่งสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ ห่อแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ รองศาสตราจารย์ ดร.คณิต ไช้มุกด์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือในการดำเนินการคุษฎีนิพนธ์ ตลอดจนเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการคุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้

คณะกรรมการสอบทุกท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.วิรพงษ์ พลนิกรกิจ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกฤษณ์ นิวัฒนากุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติมนต์ อังสกุล และอาจารย์ ดร.นิสาชล จำนงศรี ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา และตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ กรมอุตุนิยมวิทยา โยธาธิการและผังเมืองจังหวัดปทุมธานี กรมพัฒนาที่ดิน สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร กรมชลประทาน ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล

นอกจากนี้ขอขอบคุณครู อาจารย์ ทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยจนประสบความสำเร็จในชีวิต

และที่สำคัญที่สุด ข้าพเจ้าขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดา และครอบครัวที่ส่งเสริม และสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกเรื่องตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สุพัตรา พุฒินาวรัตน์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	6
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น .....	6
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.7 คำอธิบายศัพท์.....	8
<b>2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>11</b>
2.1 อุทกภัยและสาเหตุการเกิด.....	11
2.1.1 ประเภทของอุทกภัย .....	11
2.1.2 สาเหตุของการเกิดอุทกภัย.....	13
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย .....	14
2.2.1 การพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัย .....	14
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย .....	15
2.2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย.....	18
2.3 ระบบภูมิสารสนเทศ.....	20
2.3.1 ประเภทของข้อมูลภูมิสารสนเทศ.....	21

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

2.3.2 รูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ .....	22
2.3.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำระบบภูมิสารสนเทศมาใช้ในการด้านอุทกภัย .....	22
2.4 เทคนิคการประมวลผลภาพ .....	24
2.4.1 วิธีการรู้จำและแบ่งส่วนภาพ .....	24
2.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการด้านอุทกภัย .....	28
2.5 การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข .....	33
2.5.1 เทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลข .....	33
2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลข .....	33
2.6 การวิเคราะห์ภูมิประเทศ .....	37
2.6.1 รูปแบบแบบจำลองความสูงเชิงเลข .....	38
2.6.2 แอททริบิวต์ภูมิประเทศ .....	39
2.6.3 เทคนิคการวิเคราะห์ทิศทางและเส้นทางการไหล .....	40
2.6.4 เทคนิคสตรีมเบิร์นนิ่ง .....	42
2.6.5 การวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเอ่อ .....	43
2.6.6 การวิเคราะห์ลักษณะการไหล .....	44
2.6.7 งานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการวิเคราะห์ภูมิประเทศ .....	46
2.7 การหลอมรวมข้อมูล .....	50
2.7.1 ปัญหาของการหลอมรวมข้อมูล .....	50
2.7.2 เทคนิคการแก้ไขปัญหา .....	51
2.7.3 งานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการหลอมรวมข้อมูล .....	51
2.8 แบบจำลองอุทกภัย .....	53
2.8.1 ประเภทของแบบจำลองอุทกภัย .....	53
2.8.2 แบบจำลองอุทกภัยอื่น ๆ .....	55
2.8.3 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองอุทกภัย .....	58
2.9 เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ .....	59
2.9.1 ประเภทของเทคนิค .....	59

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในด้านอุทกภัย .....	65
2.10 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	66
2.10.1 ด้านการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ .....	66
2.10.2 ด้านการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ.....	67
2.10.3 ด้านการพัฒนาหรือนำทิศทางการไหลไปใช้สำหรับการจำลองอุทกภัย.....	67
2.11 ข้อจำกัดและแนวทาง .....	79
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย .....</b>	<b>81</b>
3.1 วิธีวิจัย .....	81
3.1.1 การออกแบบและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำสำหรับ การจำลองอุทกภัย .....	81
3.1.2 การประเมินประสิทธิภาพ .....	109
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	110
<b>4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>112</b>
4.1 ผลการประเมินความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำ .....	112
4.1.1 ผลการประเมินความถูกต้องกรณีแม่น้ำสายหลัก.....	112
4.1.2 ผลการประเมินความถูกต้องกรณีแม่น้ำสายย่อย.....	115
4.2 ผลการประเมินการวิเคราะห์ทิศทางการไหล .....	118
4.2.1 ผลการเปรียบเทียบทิศทางการไหลโดยใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ .....	119
4.2.2 ผลการเปรียบเทียบทิศทางการไหลโดยใช้เคิร์ลและไดเวอร์เจนซ์.....	131
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลสะสมและดัชนีภูมิประเทศโดยใช้สถิติเชิง พรรณนา .....	134
4.2.4 ผลการเปรียบเทียบโดยใช้ทิศทางการไหลเพื่อหาแหล่งน้ำจากวิธีการ ที่พัฒนากับเว็บไซต์ Google Map.....	137
4.2.5 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลกรณีที่เกิดปัญหาจากข้อมูลนำเข้า.....	138
4.3 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย .....	145

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การอภิปรายผล.....	150
4.5 ผลการทดสอบสมมติฐาน .....	155
<b>5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>157</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	157
5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	159
5.3 การประยุกต์ผลการวิจัย.....	160
5.4 ข้อเสนอแนะในการเลือกและเตรียมข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน...	161
5.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป .....	162
รายการอ้างอิง .....	163
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการจำลองอุทกภัยในแต่ละอำเภอและตัวอย่างข้อมูลเรดาร์ .....	186
ประวัติผู้เขียน.....	213



## สารบัญญัตินำ

ตารางที่	หน้า
2.1	สมการดัชนีผลต่างประเภทต่าง ๆ .....25
2.2	เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการจำแนกหรือตรวจสอบบริเวณแหล่งน้ำ หรือแม่น้ำ..... 70
2.3	เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ..... 72
2.4	เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาหรือนำทิศทางการไหลไปใช้สำหรับ การจำลองอุทกภัยและด้านอื่น ๆ ..... 75
3.1	ชั้นข้อมูลของพื้นที่ที่ศึกษา ..... 106
4.1	ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายย่อย ..... 116
4.2	สถิติเชิงพรรณนาของค่าดัชนีภูมิประเทศ..... 135
4.3	ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ กรณีภาพถ่ายดาวเทียมมีเมฆปกคลุม ..... 141
4.4	ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ กรณีแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีสัญญาณรบกวน ..... 143
4.5	ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยโดยใช้ทิศทางการไหลแต่ละวิธี ..... 148
4.6	จำนวนพิกเซลที่ได้จากการประเมินในแต่ละวิธี..... 148
ก.1	เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยแต่ละอำเภอในปี ค.ศ. 2011.....208

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	สภาพการเกิดอุทกภัยเมื่อปี ค.ศ. 2011 ในพื้นที่ของจังหวัดปทุมธานี.....3
1.2	ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำ.....6
1.3	ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำแต่ละวิธี.....6
2.1	สรุปการนำปริทัศน์วรรณกรรมมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย..... 12
2.2	ลักษณะการวัดพื้นที่ผิว .....37
2.3	โครงสร้างของแบบจำลองความสูงเชิงเลข.....38
2.4	ตัวอย่างการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้อัลกอริทึม D8 และ MD8 .....41
2.5	ตัวอย่างการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้อัลกอริทึม D $\infty$ และ MD $\infty$ .....41
2.6	ตัวอย่างการใช้เทคนิคสตรีมเบิร์นนิ่ง.....43
2.7	ตัวอย่างวิธีการเพิ่มค่าความสูงเพื่อรองรับกรณีน้ำเอ่อ.....43
2.8	ตัวอย่างวิธีการลดค่าความสูงเพื่อรองรับกรณีน้ำเอ่อ .....44
2.9	ลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ .....45
2.10	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธี D8 MD8 D $\infty$ MD $\infty$ และ Stream burning.....49
2.11	การแปลงประเภทของข้อมูลระหว่างข้อมูลเชิงเส้นและข้อมูลกริด .....51
2.12	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม .....60
2.13	กรอบแนวคิดการวิจัย.....80
3.1	กรอบแนวคิดของแบบจำลองอุทกภัย .....83
3.2	กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำ .....84
3.3	ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI แม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณจังหวัดปทุมธานี.....85
3.4	ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI แม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณจังหวัดกรุงเทพมหานคร .....86
3.5	ขั้นตอนของอัลกอริทึมซาโดวส์ ซีมิน .....87
3.6	ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกแม่น้ำแต่ละวิธี .....90
3.7	ตัวอย่างการหาขอบภาพ .....90

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8	ขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์แบบหลายความละเอียด .....91
3.9	ตัวอย่างภาพจากการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ .....92
3.10	ตัวอย่างภาพจากการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์หลายความละเอียด .....92
3.11	กระบวนการวิเคราะห์ภูมิประเทศ .....95
3.12	ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลแบบจำลองความสูง.....96
3.13	ตัวอย่างแบบจำลองพื้นผิว (DSM) และแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) .....97
3.14	ตัวอย่างความสูงเชิงเลขความละเอียด 100 เมตร และ 5 เมตร.....97
3.15	ขั้นตอนการทดสอบกรณีน้ำเอ่อ .....98
3.16	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหล .....99
3.17	ตัวอย่างการคำนวณทิศทางการไหล..... 100
3.18	ตัวอย่างผลการหลอมรวมทิศทางการไหลและการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์..... 100
3.19	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การไหลสะสม..... 101
3.20	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศ ..... 102
3.21	ขั้นตอนการนำทิศทางการไหล การไหลสะสมและดัชนีภูมิประเทศไปใช้ จำลองอุทกภัย ..... 102
3.22	แผนที่พื้นที่ศึกษา จังหวัดปทุมธานี ..... 103
3.23	ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย ..... 104
3.24	การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริด..... 106
3.25	ปัจจัยนำเข้าสำหรับการจำลองการเกิดอุทกภัยโดยใช้แบบจำลองโอเพ่นไลเซียม ..... 109
3.26	การประเมินประสิทธิภาพ ..... 111
4.1	ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกแม่น้ำสายหลัก..... 113
4.2	ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายหลักส่วนที่ 1 ..... 113
4.3	ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายหลักส่วนที่ 2 ..... 114
4.4	ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายหลักส่วนที่ 3 ..... 114
4.5	ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายหลักและเส้นขอบแม่น้ำ ..... 115
4.6	ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายย่อยของจังหวัดปทุมธานี..... 116

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7	เส้นขอบแม่น้ำสายหลักและสายย่อยจังหวัดปทุมธานี..... 117
4.8	ความถูกต้องของการจำแนกแม่น้ำสายหลักและสายย่อยโดยใช้วิธีการที่พัฒนา..... 117
4.9	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการเดิมโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร ..... 120
4.10	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการเดิมโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยสี..... 121
4.11	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งจากแม่น้ำสายหลัก โดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร ..... 121
4.12	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งจากแม่น้ำสายหลัก โดยแทนแต่ละทิศทางด้วยสี..... 122
4.13	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนาจากแม่น้ำสายหลัก โดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร ..... 122
4.14	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนาจากแม่น้ำสายหลัก โดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร ..... 123
4.15	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งจากจากแม่น้ำสายหลัก และสายย่อยโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร..... 123
4.16	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งจากจากแม่น้ำสายหลัก และสายย่อยโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร..... 124
4.17	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนาจากแม่น้ำสายหลัก และสายย่อยโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร..... 124
4.18	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนาจากแม่น้ำสายหลัก และสายย่อยโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร..... 125
4.19	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งจากแม่น้ำสายหลัก กรณีน้ำ เอ่อโดยใช้วิธีการเพิ่มค่าความสูง ..... 126
4.20	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนาจากแม่น้ำสายหลัก กรณีน้ำเอ่อ โดยใช้วิธีการเพิ่มค่าความสูง..... 126
4.21	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งจากแม่น้ำสายหลัก กรณี น้ำเอ่อโดยใช้วิธีการลดค่าความสูง ..... 127

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนาจากแม่น้ำสายหลัก กรณีน้ำเอ่อ โดยใช้วิธีการลดค่าความสูง .....	127
4.23 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของทิศทางการไหลโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .....	128
4.24 การซ้อนทับทิศทางการไหลกับแบบจำลองความสูงพื้นผิว (a) การจำลองระดับน้ำ ที่ระดับ 1.52 เมตร (b) เปรียบเทียบกับระดับ 1.64 เมตร (c) .....	129
4.25 การซ้อนทับทิศทางการไหลกับแบบจำลองความสูงพื้นผิว (a) การจำลองระดับน้ำ ที่ระดับ 0.92 เมตร (b) เปรียบเทียบกับระดับ 1.17 เมตร (c) .....	130
4.26 การซ้อนทับทิศทางการไหลกับแบบจำลองความสูงพื้นผิว (a) การจำลองระดับน้ำ ที่ระดับ 1.46 เมตร (b) เปรียบเทียบกับระดับ 1.60 เมตร (c) .....	130
4.27 การซ้อนทับทิศทางการไหลกับแบบจำลองความสูงพื้นผิว (a) การจำลองระดับน้ำ ที่ระดับ 1.05 เมตร (b) เปรียบเทียบกับระดับ 1.30 เมตร (c) .....	131
4.28 ผลการเปรียบเทียบทิศทางการไหลโดยเคิร์ดและไดเวอร์เจนซ์ .....	132
4.29 ผลการวิเคราะห์ไดเวอร์เจนซ์จากทิศทางการไหลโดยวิธีสตรึมเบิร์นนิ่ง .....	133
4.30 ผลการวิเคราะห์ไดเวอร์เจนซ์จากทิศทางการไหลโดยวิธีการที่พัฒนา .....	133
4.31 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลสะสมจากทิศทางการไหลโดยวิธีการที่พัฒนา .....	136
4.32 ผลการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศจากทิศทางการไหลโดยวิธีการที่พัฒนา .....	136
4.33 แหล่งน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่พัฒนาซ้อนทับกับภาพข้อมูลแหล่งน้ำ จากเว็บไซต์ Google Map .....	137
4.34 ภาพถ่ายดาวเทียมกรณีมีเมฆปกคลุม (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2 .....	139
4.35 ภาพถ่ายดาวเทียมกรณีมีสัญญาณรบกวน (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2 .....	139
4.36 ผลการจำแนกแม่น้ำกรณีภาพถ่ายดาวเทียมภาพที่ 1 (a) กรณีไม่มีเมฆปกคลุม (b) กรณีมีเมฆปกคลุมหรือมีสัญญาณรบกวน .....	140
4.37 ผลการจำแนกแม่น้ำกรณีภาพถ่ายดาวเทียมภาพที่ 2 (a) กรณีไม่มีเมฆปกคลุม (b) กรณีมีเมฆปกคลุมหรือมีสัญญาณรบกวน .....	140
4.38 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลภาพที่ 1 และ 2 (a) กรณีมีเมฆปกคลุม (b) กรณีมีสัญญาณรบกวน .....	141

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.39 แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขกรณีมีสัญญาณรบกวน 5% (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2.....	142
4.40 แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขกรณีมีสัญญาณรบกวน 20% (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2.....	142
4.41 ผลการจำแนกแม่น้ำกรณีแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีสัญญาณรบกวน 5% (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2.....	143
4.42 ผลการจำแนกแม่น้ำกรณีแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีสัญญาณรบกวน 20% (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2.....	143
4.43 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลภาพที่ 1 และ 2 กรณีมีสัญญาณรบกวน 5%.....	144
4.44 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลภาพที่ 1 และ 2 กรณีมีสัญญาณรบกวน 20%.....	144
4.45 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมปี ค.ศ. 2011.....	149
4.46 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งปี ค.ศ. 2011.....	149
4.47 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาปี ค.ศ. 2011.....	150
ก.1 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมในแต่ละอำเภอ.....	188
ก.2 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมอำเภอสามโคก.....	188
ก.3 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง โดยใช้ข้อมูลแม่น้ำสายหลักในแต่ละอำเภอ.....	190
ก.4 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง โดยใช้ข้อมูลแม่น้ำสายหลัก อำเภอสามโคก.....	190
ก.5 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยในแต่ละอำเภอ.....	192
ก.6 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย อำเภอสามโคก.....	192
ก.7 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีวิธีการที่พัฒนา โดยใช้เฉพาะแม่น้ำสายหลักในแต่ละอำเภอ.....	194
ก.8 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาโดยใช้เฉพาะแม่น้ำสายหลักอำเภอสามโคก.....	194

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.9 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการที่พัฒนา ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยในแต่ละอำเภอ .....	196
ก.10 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาโดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย อำเภอสามโคก .....	196
ก.11 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการที่พัฒนา และวิธีการเพิ่มค่าความสูงโดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยในแต่ละอำเภอ .....	198
ก.12 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาและวิธีการเพิ่มค่าความสูง โดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยอำเภอสามโคก.....	198
ก.13 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการที่พัฒนา และวิธีการลดค่าความสูงโดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยในแต่ละอำเภอ.....	200
ก.14 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาและวิธีการลดค่าความสูง โดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยอำเภอสามโคก.....	200
ก.15 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมปี ค.ศ. 2006.....	202
ก.16 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย ปี ค.ศ. 2006.....	203
ก.17 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนา โดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย ปี ค.ศ. 2006.....	203
ก.18 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมปี ค.ศ. 2010.....	204
ก.19 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย ปี ค.ศ. 2010.....	205
ก.20 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนา โดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย ปี ค.ศ. 2010.....	205
ก.21 เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานีใน ปี ค.ศ. 2011 .....	210
ก.22 เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานีใน ปี ค.ศ. 2006.....	211
ก.23 เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานีใน ปี ค.ศ. 2010.....	211
ก.24 ผลการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานีใน ปี ค.ศ. 2011 และข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน .....	212
ก.25 ตัวอย่างข้อมูลเรดาร์.....	212

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ภัยธรรมชาติหรือปรากฏการณ์รุนแรงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีผลกระทบทำให้มนุษย์ไม่สามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติสุข ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้สังคมเสื่อมโทรมลง หนึ่งในภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อย คือ อุทกภัย ซึ่งเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งที่สุด คิดเป็น 41.4% ตามมาด้วย แผ่นดินไหว และพายุ (Asian Disaster Reduction Center, 2012) ทวีปเอเชียได้รับผลกระทบสูงสุด สำหรับประเทศไทย ตัวเลขความเสียหาย จากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2556) พบว่าเพิ่มขึ้นจาก 6,000 ล้านบาทในปี ค.ศ. 1990 เป็น 40,000 ล้านบาทในปี ค.ศ. 2000 และ 1.44 ล้านล้านบาทในปี ค.ศ. 2011 ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอดีตประเทศไทยประสบกับปัญหาอุทกภัยเป็นประจำทุกปีในทั่วทุกภาคของประเทศ อันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านภูมิศาสตร์ที่ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นคาบสมุทร ทำให้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม และพายุพัดผ่านตลอดปี

รูปแบบของการเกิดอุทกภัยประกอบด้วยอุทกภัย 4 ชนิด (Teegavarapu, 2012, pp.133-136) ได้แก่ อุทกภัยฉับพลัน (Flash Flood) อุทกภัยจากแม่น้ำ (River Flood) อุทกภัยเฉพาะพื้นที่ (Local Flood) และอุทกภัยชายฝั่ง (Coastal Flood) สำหรับอุทกภัยในกรณีแรกมักเกิดจากการมีฝนตกหนักติดต่อกันเป็นระยะเวลานานช่วงหนึ่งในพื้นที่ ส่งผลทำให้พื้นดินเกิดการอิ่มน้ำอย่างรวดเร็ว และน้ำส่วนเกินเหนือผิวดินอาจเกิดการท่วมขังในพื้นที่ ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันขึ้นได้ โดยอุทกภัยลักษณะนี้มักจะเกิดไม่นานก็สลายตัวไปเมื่อฝนหยุดตกและน้ำส่วนที่ท่วมขังได้รับการระบายออกไปนอกพื้นที่แล้ว สำหรับอุทกภัยแบบที่สองเป็นการเกิดภาวะน้ำท่วมขังอันเนื่องมาจากระดับน้ำที่เอ่อขึ้นมาริมตลิ่ง ซึ่งมักเกิดจากการมีฝนตกหนักในบริเวณต้นน้ำ ทำให้มีปริมาณน้ำถูกระบายลงสู่แม่น้ำเป็นจำนวนมาก และเมื่อมีน้ำสะสมในแม่น้ำเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ อาจทำให้เกิดภาวะน้ำล้นตลิ่ง จนทำให้พื้นที่ซึ่งตั้งอยู่ริมฝั่งบริเวณตอนกลางและปลายของแม่น้ำเกิดภาวะน้ำท่วมขังขึ้นได้ โดยอุทกภัยลักษณะนี้มักจะเกิดเป็นช่วงระยะเวลานาน ถ้าการระบายน้ำออกจากพื้นที่ทำได้ล่าช้า หรือมีภาวะฝนตกหนักในพื้นที่เข้ามาเสริม ส่วนอุทกภัยแบบที่สามเป็นกรณีที่เกิดสภาวะฝนตกหนักเป็นเวลานานในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จนทำให้พื้นดินไม่สามารถดูดซับหรือระบายน้ำออกไปได้ทัน จนทำให้เกิดมีน้ำท่วมขังในพื้นที่ขึ้น โดยเฉพาะจุดซึ่งอยู่ในเขตที่ลุ่มซึ่งมักมีน้ำสะสมอยู่มาก



ที่สุด อุทกภัยครั้งนี้รวมถึงการเกิดอุทกภัยในเขตเมืองชั้นในของเมืองใหญ่ (Urban Flood) เกิดมาจากการมีฝนตกหนักต่อเนื่องจนไม่สามารถระบายน้ำออกไปได้ทันทั่วทั้งพื้นที่ทำให้เกิดน้ำท่วมขังขึ้น และอุทกภัยแบบที่สี่เป็นกรณีที่พายุหมุนเขตร้อนหรือพายุรุนแรงแบบอื่นที่เกิดในเขตมหาสมุทรเคลื่อนที่ขึ้นฝั่งและพาเอาน้ำทะเลจำนวนมากเข้ามาสู่ฝั่งในรูปของคลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm Surge) หากเกิดอย่างรุนแรงหรือเกิดต่อเนื่องเป็นเวลานาน อาจส่งผลให้เกิดภาวะน้ำท่วมขังขึ้นในเขตที่ลุ่มริมชายฝั่ง

การเกิดอุทกภัยแต่ละครั้งสร้างความเสียหาย ต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นจำนวนมากทั้งทางด้านสังคม และเศรษฐกิจ ผู้ประสบภัยส่วนใหญ่ต้องไร้ที่อยู่อาศัย บ้านเรือนและพืชผลทางการเกษตรถูกทำลาย อุทกภัยในประเทศไทยปี ค.ศ. 2011 เป็นอุทกภัยครั้งร้ายแรงที่สุดครั้งหนึ่งของประเทศไทย มีจังหวัดที่ประสบอุทกภัยทั้งหมด 66 จังหวัด 721 อำเภอ 4,862 ตำบล 42,705 หมู่บ้าน มีราษฎรได้รับผลกระทบมากกว่า 12.8 ล้านคน อุทกภัยดังกล่าวเกิดขึ้นระหว่างฤดูมรสุมในประเทศไทยปี ค.ศ. 2011 เริ่มตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคมและสิ้นสุดเมื่อเดือนมกราคม ค.ศ. 2012 ธนาคารโลกมีการประเมินมูลค่าความเสียหายสูงถึง 1.44 ล้านล้านบาท เมื่อเดือนธันวาคม ค.ศ. 2011 และจัดให้เป็นภัยพิบัติครั้งสร้างความเสียหายมากที่สุดในอันดับสี่ของโลกรองจากแผ่นดินไหวและสึนามิที่ญี่ปุ่นในปี ค.ศ. 2011 แผ่นดินไหวที่ญี่ปุ่นในปี ค.ศ. 1995 และพายุเฮอริเคนแคทเธอรินาที่เกิดในสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 2005 ตามลำดับ (Asian Disaster Reduction Center, 2012) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดเพราะเป็นศูนย์กลางเศรษฐกิจและศูนย์กลางอุตสาหกรรมของประเทศ คือ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งประกอบด้วย พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี และกรุงเทพมหานคร

ปทุมธานีเป็น 1 จังหวัดใน 66 จังหวัด ที่เกิดอุทกภัยใหญ่เมื่อปลายปี ค.ศ. 2011 โดยจังหวัดปทุมธานีมีบ้านเรือน ชุมชน พื้นที่เกษตร สถาบันการศึกษา และภาคอุตสาหกรรมได้รับเสียหายจำนวนมาก (รูปที่ 1.1) โดยพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายประกอบด้วย 7 อำเภอ 60 ตำบล 522 หมู่บ้าน ซึ่งคิดเป็น 98.7% ของจำนวนหมู่บ้านทั้งหมดในจังหวัด ภาคอุตสาหกรรมได้รับความเสียหายทั้งในส่วนของนิคมอุตสาหกรรมและนอกนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งในนิคมอุตสาหกรรมได้รับความเสียหายจำนวน 2 นิคม ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมนวนคร และสวนอุตสาหกรรมบางกะดี รวมมูลค่าความเสียหายทั้งหมดกว่าแสนล้านบาท (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555) นอกจากนี้จังหวัดปทุมธานีมักประสบปัญหาอุทกภัยอยู่เป็นประจำเกือบทุกปี จากข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยพบว่าในช่วงระยะเวลา 8 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ ค.ศ. 2005 ถึง ค.ศ. 2012 จังหวัดปทุมธานีประสบปัญหาอุทกภัยทั้งหมด 6 ครั้ง (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2556) อีกทั้งบางพื้นที่ของจังหวัดปทุมธานีเป็นเขตติดต่อกับกรุงเทพมหานคร เปรียบเสมือนเป็นปราการด่านสุดท้ายในการป้องกันอุทกภัยแก่กรุงเทพมหานคร ซึ่งถือเป็นหัวใจของประเทศ เพราะเป็นศูนย์กลางทาง

เศรษฐกิจที่ต้องรักษาไว้ ดังนั้นการที่สามารถพยากรณ์หรือจำลองการเกิดอุทกภัยในจังหวัดปทุมธานีจะเป็นประโยชน์ต่อกรุงเทพมหานครในการติดตามเฝ้าระวังอุทกภัยที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดปทุมธานีเป็นพื้นที่ราบแบน (Flat Plain) มีระดับความสูงและระดับความลาดชันของพื้นที่แตกต่างกันไม่มากในแต่ละพื้นที่ โดยมีระดับความลาดชันอยู่ในคลาส 0-5% ในทุกพื้นที่ของจังหวัด ทำให้ยากต่อการวิเคราะห์เพื่อจำลองอุทกภัยในพื้นที่ดังกล่าว



**รูปที่ 1.1** สภาพการเกิดอุทกภัยเมื่อปี ค.ศ. 2011 ในพื้นที่ของจังหวัดปทุมธานี  
(ที่มา: โลกแห่งน้ำ (156,182) สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ  
และภูมิสารสนเทศ(องค์การมหาชน), 2555)

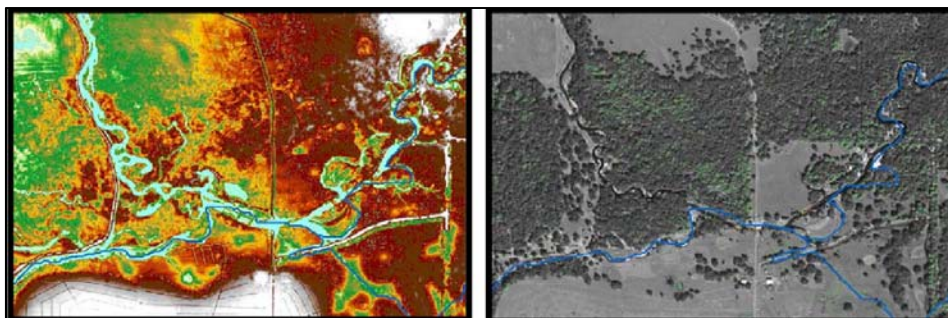
จากเหตุการณ์อุทกภัยที่ได้กล่าวมา พบว่า มนุษย์ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่สามารถเตรียมพร้อมรับมือกับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ จากปัญหาดังกล่าวถือเป็นปัญหาสำคัญของเกือบทุกประเทศทั่วโลก จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีป้องกันและรับมือกับอุทกภัยที่จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและในหลายลักษณะ เช่น การวิเคราะห์ถึงสาเหตุและแนวทางการป้องกันแก้ไขปัญหา การตรวจสอบและติดตามพัฒนาการของปัญหา การประเมินความรุนแรงและผลกระทบของปัญหา การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงและแนวโน้มน้ำหรือรูปแบบของการเกิดอุทกภัย เป็นต้น โดยส่วนใหญ่หลาย ๆ ประเทศนิยมป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยเน้นในส่วนการจัดการด้านโยธา เช่น การขุดลอกคูคลอง การวางท่อระบายน้ำ สร้างคันกันน้ำ เป็นต้น ส่วนการศึกษาในด้านการจำลองการเกิดอุทกภัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การใช้แบบจำลองสำเร็จรูป (โมเดลเลฟเวน ลิสฟลัด เวทสปา เป็นต้น) และการสร้างแบบจำลองใหม่ ทั้งสองวิธีใช้ปัจจัยในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแต่ละแบบจำลองสำหรับแบบจำลองสำเร็จรูป ส่วนแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ในการเลือกปัจจัยขึ้นอยู่กับ

กับสภาพพื้นที่ที่เลือกศึกษา การกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์และจำลองการเกิดอุทกภัยที่ใช้ในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่อาศัยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ให้ค่าถ่วงน้ำหนักคะแนนความเหมาะสมของปัจจัย (Weighting) และค่าคะแนนของปัจจัย (Rating)

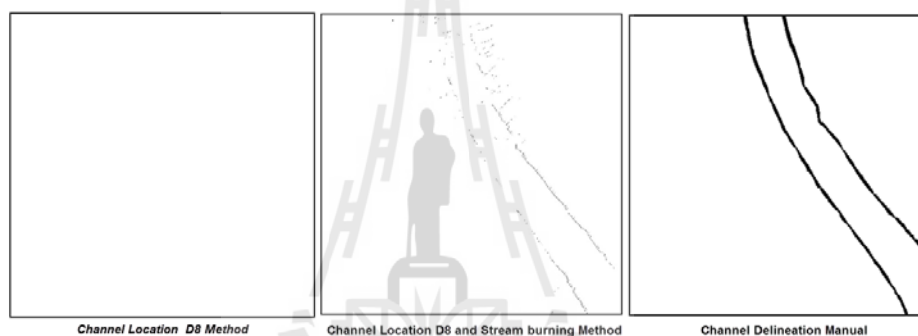
โดยปัจจัยที่ใช้ในการพยากรณ์หรือจำลองการเกิดอุทกภัยในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่า (Chang, Liang, and Chen, 2001; Lekkas, Onof, Lee, and Baltas, 2004; Deshmukh and Ghatol, 2010) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางด้านกายภาพของพื้นที่ ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) ปริมาณน้ำท่า (Runoff) พื้นที่น้ำท่วมในอดีต (Flood plain in the past) ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Elevation) ความหนาแน่นทางน้ำของกลุ่มน้ำย่อย (Water density) สิ่งกีดขวางทางน้ำ (Water blockage) ขนาดของพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย (Sub-basin areas) ความสามารถในการระบายน้ำของดิน (Soil) ลักษณะทางธรณีวิทยา (Geology) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Uses) (Pramojanee, Tanavud, Yongchalermchai, and Navanugraha, 1997; Tanavud, Yongchalermchai, Bennui, and Densreeserekul, 2004; Radhika, 2012; Puttinaovarat, Khechonrak, Khaimook, and Horkaew, 2013) นอกจากนี้ปัจจัยที่กล่าวข้างต้น พบว่ามีปัจจัยหรือองค์ประกอบที่สำคัญและจำเป็นสำหรับแบบจำลองการเกิดอุทกภัย ได้แก่ ทิศทางการไหลและการไหลสะสม (Flow Direction and Flow Accumulation) (Kwak and Kondoh, 2008; Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2009; Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2010; Kia, Pirasteh, Pradhan, Mahmud, Sulaiman, and Moradi, 2012; De Risi, 2013; Radhika, 2012; Gioti, Riga, Kalogeropoulos, and Chalkias, 2013)

ทิศทางการไหลของน้ำและการไหลสะสมเป็นองค์ประกอบหรือปัจจัยที่สำคัญซึ่งจำเป็นสำหรับแบบจำลองอุทกภัย เพราะเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องใช้สำหรับกระบวนการการคำนวณปริมาณน้ำท่าสำหรับนำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย (Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2009; Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2010) โดยที่ทิศทางการไหลของน้ำที่สอดคล้องกับความเป็นจริงทำให้ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการจำลองมีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจริง เมื่อกระบวนการจำลองปริมาณน้ำท่ามีความใกล้เคียงหรือสอดคล้องกับความเป็นจริงทำให้การนำปริมาณน้ำท่าไปใช้ในการจำลองอุทกภัยมีความถูกต้อง ในทางกลับกันถ้าทิศทางการไหลของน้ำที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงส่งผลให้การจำลองปริมาณน้ำท่าและอุทกภัยเกิดความผิดพลาด นอกจากนี้ทิศทางการไหลและการไหลสะสมยังมีความสำคัญสำหรับการจำลองการไหลของน้ำผิวดินซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งของแบบจำลองอุทกภัย (ยุทธนา พันธุ์กลมศิลป์ และ เอกสิทธิ์ โสมิตตสกุลชัย, 2550) อีกทั้งสามารถนำไปใช้ในการหาเส้นทางน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำเพื่อใช้ในการจำลองอุทกภัย

การวิเคราะห์การไหลของน้ำจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้อยู่ในปัจจุบันวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทางด้านภูมิสารสนเทศ ทั้งส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์และโอเพนซอร์ส ข้อจำกัดวิธีการดังกล่าว คือ ซอฟต์แวร์แต่ละค่ายใช้อัลกอริทึมในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพียงแค่นึ่งหรือสองอัลกอริทึม ยิ่งไปกว่านั้นอัลกอริทึมที่ใช่เป็นอัลกอริทึมดั้งเดิมมีข้อจำกัดในการใช้งาน ได้แก่ อาร์คจีไอเอส (ArcGIS) ใช้อัลกอริทึม D8 ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ (Deilami et al., 2013) ข้อจำกัดของอัลกอริทึมดังกล่าว ได้แก่ ทิศทางการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์มักจะเกิดความไม่ต่อเนื่อง เส้นทางการไหลหายไป (รูปที่ 1.2 และรูปที่ 1.3) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบ การใช้เทคนิคดังกล่าวส่งผลให้ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง (Kiss, 2004; Sedighi, 2008; Isared and Ekasit, 2012) อีกทั้งทิศทางการไหลที่ได้ถูกดัดแปลงจนผิดเพี้ยนจากความละเอียดของแบบจำลองความสูงละเอียดต่ำ (Chen and Xie, 2008) ทำให้เมื่อนำข้อมูลทิศทางการไหลของน้ำไปใช้ในการคำนวณ การไหลสะสมและค่าดัชนีภูมิประเทศ (Topographic Index) รวมถึงเมื่อนำไปใช้งานร่วมกับแบบจำลองทางอุทกวิทยา ส่งผลต่อความถูกต้องในการจำลองอุทกภัย วิธีการแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือนำข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขไปปรับระดับด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง (Stream Burning) (Maidment, 1996) กับแผนที่ขอบเขตแม่น้ำในรูปแบบเวกเตอร์หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำจากแบบจำลองความสูงที่ปรับระดับแล้ว ข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ความถูกต้องขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ ความถูกต้องของเวกเตอร์แมพ เป็นต้น (Turcotte, Fortin, Rousseau, Mas-sicotte, and Villeneuve, 2001; Kenny and Bryce, 2005) ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัยเพื่อแก้ปัญหาทิศทางการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบเดิมซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง และเส้นทางการไหลหายไปหรือคลาดเคลื่อนเนื่องจากความถูกต้องของเวกเตอร์แมพและความละเอียดของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยการใช้การประมวลผลผลภาพเชิงเลข การประมวลผลภาพ และการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ รวมถึงการหลอมรวมข้อมูลภูมิสารสนเทศ ในการจำลองการเกิดอุทกภัยเพื่อแสดงขอบเขตการเกิดอุทกภัยในจังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 1.2 ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำ  
(ที่มา: Sedighi, 2008)



รูปที่ 1.3 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำแต่ละวิธี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัย

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำมาปรับปรุงความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำแบบเดิม สามารถนำมาใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยได้ถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม

## 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

ข้อมูลปฐมภูมิที่ได้รับจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสำหรับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัยโดยใช้เรขภาพเชิงเลข การประมวลผลภาพ การวิเคราะห์ภูมิประเทศ ร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ การหลอมรวมข้อมูล และเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งวิเคราะห์จากแบบจำลองความสูงเชิงเลข แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข และภาพถ่ายดาวเทียม วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่พัฒนาขึ้นครอบคลุมอุทกภัย 3 รูปแบบ ได้แก่ น้ำท่วมฉับพลัน น้ำท่วมจากแม่น้ำ และน้ำท่วมเฉพาะพื้นที่ โดยปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดสอบการจำลองอุทกภัยในงานวิจัยนี้ ทดสอบเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยในประเทศไทยเท่านั้น

### 1.5.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัดปทุมธานี ทั้ง 7 อำเภอ 60 ตำบล 529 หมู่บ้าน คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 1,525.856 ตารางกิโลเมตร

### 1.5.2 ขอบเขตด้านข้อมูล

1.5.2.1 ข้อมูลปัจจัยทางกายภาพในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า พื้นที่น้ำท่วมในอดีต ความลาดชันของพื้นที่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความหนาแน่นทางน้ำของกลุ่มน้ำย่อย สิ่งกีดขวางทางน้ำ ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ความสามารถในการระบายน้ำของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ทิศทางการไหลของน้ำ การไหลสะสม และดัชนีภูมิประเทศ

1.5.2.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข และข้อมูลพื้นที่ประสบอุทกภัยในอดีต

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

### 1.6.1 ทางตรง

1.6.1.1 ได้วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัย

1.6.1.2 ได้ข้อมูลเบื้องต้นประกอบการสร้างแบบจำลองอุทกภัย

### 1.6.2 ทางอ้อม

1.6.2.1 ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย

1.6.2.2 สามารถนำวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำไปใช้ประโยชน์ในการจำลองปริมาณน้ำท่าเพื่อใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยได้

1.6.2.3 สามารถนำวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำไปใช้ในการวิเคราะห์ในพื้นที่อื่น ๆ ได้

## 1.7 คำอธิบายศัพท์

### 1.7.1 การจำลองอุทกภัย (Flood Simulation)

หมายถึง การนำเสนอหรือการจำลองเหตุการณ์อุทกภัยที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อแสดงขอบเขตการเกิดอุทกภัย

### 1.7.2 การวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ (Water Flow Direction Analysis)

หมายถึง ขั้นตอนการหาทิศทางการไหลของน้ำจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง โดยพิจารณาเซลล์โดยรอบ แล้วคำนวณความลาดชันในแต่ละทิศทาง ถ้าทิศทางใดมีความลาดชันสูงสุด จะถูกกำหนดให้ทิศทางนั้นเป็นทิศทางการไหลของน้ำ หลังจากนั้นนำทิศทางการไหลที่ได้หลอมรวมกับทิศทางการไหลของน้ำไปยังแม่น้ำหรือลุ่มน้ำ

### 1.7.3 การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข (Digital Geometry Processing: DGP)

หมายถึง ขั้นตอนวิธีในการวิเคราะห์และจัดการข้อมูลเรขาคณิต เช่น การแบ่งพื้นผิวของโพลีกอนเป็นพื้นผิวย่อยการปรับปรุงคุณภาพของตาข่าย (Mesh) เพื่อใช้ในการคำนวณหรือการจำลองทางเรขาคณิตการเพิ่มความเรียบเนียนหรือลดสัญญาณรบกวน

### 1.7.4 การวิเคราะห์ภูมิประเทศ (Digital Terrain Analysis: DTA)

หมายถึง การวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงลักษณะภูมิประเทศ เช่น ความลาดชัน ทิศด้านลาด ความโค้งของภูมิประเทศ ทิศทางการไหลของน้ำ การไหลสะสม เป็นต้น โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข

### 1.7.5 แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM)

หมายถึง ข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะภูมิประเทศของโลก ในรูปแบบดิจิทัลโดยมีค่าพิกัดและการแสดงค่าความสูงในลักษณะของแรสเตอร์

### 1.7.6 แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM)

หมายถึง ข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะภูมิประเทศของโลกซึ่งรวมค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศไว้ด้วย ตัวอย่างพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศ เช่น ความสูงของพืชพรรณ ความสูงของสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

### 1.7.7 ระบบภูมิสารสนเทศ (Geographical Information System: GIS)

หมายถึง กระบวนการทำงานที่เกี่ยวกับการจัดเก็บ วิเคราะห์และบริหารข้อมูล สามารถแสดงผลข้อมูลจากสภาพความเป็นจริงด้วยการอ้างอิงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์

### 1.7.8 ปริมาณน้ำฝน (Rainfall)

หมายถึง จำนวนฝนที่ตกลงมา มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร

### 1.7.9 พื้นที่น้ำท่วมในอดีต (Flood Plain in the Past)

หมายถึง พื้นที่ซึ่งเคยประสบอุทกภัยในแต่ละปีที่ผ่านมา

### 1.7.10 ความลาดชันของพื้นที่ (Slope)

หมายถึง มุมความลาดเอียงของผิวดินหรือพื้นที่จากแนวระดับมาตรฐาน

### 1.7.11 ค่าความสูง (Elevation)

หมายถึง ความสูงของพื้นที่ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ มีหน่วยวัดเป็นเมตร โดยเทียบกับความสูงของระดับน้ำทะเลปานกลาง

### 1.7.12 ความหนาแน่นทางน้ำของกลุ่มน้ำย่อย (Water Density)

หมายถึง อัตราส่วนของความยาวของทางน้ำทั้งหมดในกลุ่มน้ำ (กิโลเมตร) ต่อพื้นที่กลุ่มน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

### 1.7.13 สิ่งกีดขวางทางน้ำ (Water Blockage)

หมายถึง พื้นที่ที่เป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำ

### 1.7.14 ขนาดของพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย (Sub-basin Areas)

หมายถึง พื้นที่กลุ่มน้ำในพื้นที่ที่ศึกษา มีหน่วยวัดเป็นตารางกิโลเมตร

### 1.7.15 ความสามารถในการระบายน้ำของดิน (Soil Drainage Capability)

หมายถึง การจำแนกหรือแบ่งระดับในการระบายน้ำของดินแต่ละประเภทว่ามี ความสามารถในการระบายน้ำในระดับใด โดยความสามารถในการระบายน้ำของดินขึ้นอยู่กับชนิดของดินซึ่งมีผลต่อการระบายน้ำที่แตกต่างกัน

### 1.7.16 การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Uses)

หมายถึง ลักษณะการนำที่ดินไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตรกรรม อุตสาหกรรม เป็นต้น

### 1.7.17 สิ่งแปลกปลอม (Artifact)

หมายถึง วัตถุในภาพหรือสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องซึ่งยังคงหลงเหลืออยู่นอกเหนือจากวัตถุที่ต้องการจำแนกในภาพ โดยอาจจะเกิดขึ้นระหว่างหรือหลังกระบวนการจำแนกภาพ ตัวอย่างวัตถุที่เป็นสิ่งแปลกปลอม เช่น เงาม โครงสร้างพื้นฐาน อาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น



### 1.7.18 สัญญาณรบกวน (Noise)

หมายถึง สิ่งที่ทำให้ภาพที่เป็นข้อมูลนำเข้าเกิดความไม่ชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากความผิดปกติของเครื่องมือตรวจวัด ความผิดปกติระหว่างการส่งผ่านข้อมูล หรือความผิดปกติระหว่างบันทึกข้อมูล ลักษณะของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เช่น แฉกข้อมูลขาดหายไปเนื่องจากตัวตรวจวัดทำงานผิดปกติ สัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากจุดภาพมีความเข้มของสัญญาณสูงหรือต่ำกว่าจุดภาพข้างเคียงมากทำให้เกิดเป็นจุดสีขาวหรือดำแทรกอยู่อย่างกระจัดกระจายบนภาพ เป็นต้น



## บทที่ 2

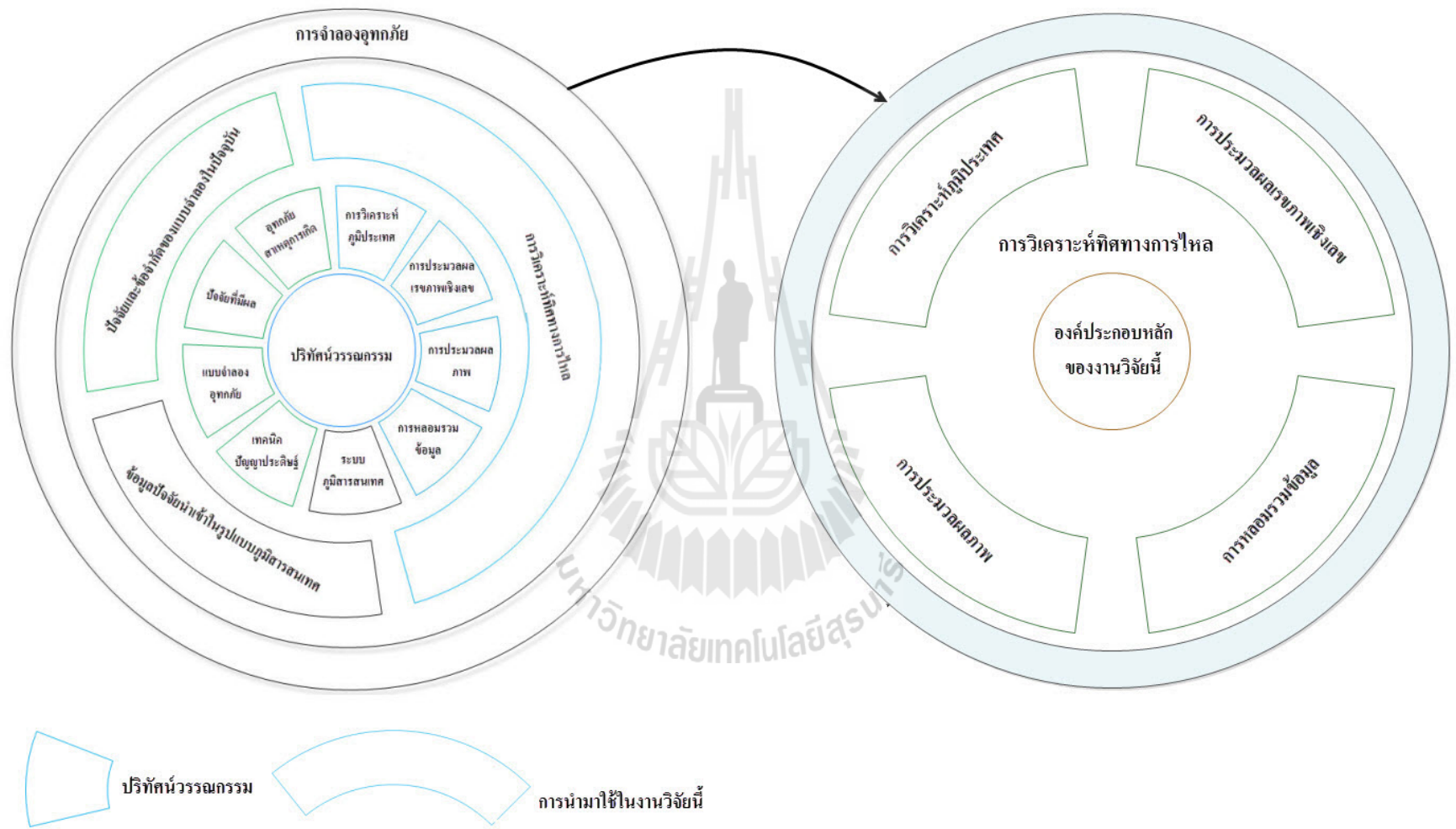
### ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัยโดยใช้การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข การประมวลผลภาพ และการวิเคราะห์ภูมิประเทศร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ การหลอมรวมข้อมูล และเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งในบทนี้เป็นการนำเสนอปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย อุทกภัยและสาเหตุการเกิด ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย ระบบภูมิสารสนเทศ เทคนิคการประมวลผลภาพ การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข การวิเคราะห์ภูมิประเทศ การหลอมรวมข้อมูล แบบจำลองอุทกภัย เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ นอกจากนี้นำเสนอการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อจำกัดและแนวทาง รวมถึงกรอบแนวคิดการวิจัย การศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรมในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 9 หัวข้อ ซึ่งทฤษฎีหลักที่เน้นในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 หัวข้อ ได้แก่ การวิเคราะห์ภูมิประเทศ การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข การประมวลผลภาพ และการหลอมรวมข้อมูล ส่วน 5 หัวข้อที่เหลือเป็นทฤษฎีที่ใช้ประกอบเพื่อให้งานวิจัยมีองค์ประกอบที่ครบถ้วนในการจำลองอุทกภัย ซึ่งแต่ละหัวข้อมีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการศึกษาในหัวข้ออุทกภัยและสาเหตุการเกิดอุทกภัย ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ และแบบจำลองอุทกภัย นำมาใช้ในการพิจารณาคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาใช้ในแบบจำลอง และใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาข้อจำกัดของแบบจำลองที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อปรับปรุงหรือแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว หัวข้อระบบภูมิสารสนเทศ นำมาใช้ในการจัดเตรียมข้อมูลปัจจัยนำเข้าซึ่งอยู่ในรูปแบบภูมิสารสนเทศ หัวข้อการวิเคราะห์ภูมิประเทศ เทคนิคการประมวลผลภาพ และการประมวลผลเรขภาพเชิงเลข นำมาใช้ในการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำ อีกทั้งนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคการหลอมรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย แสดงรายละเอียด ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียด ดังนี้

#### 2.1 อุทกภัยและสาเหตุการเกิด

อุทกภัย (Flood) เป็นภาวะที่พื้นที่ซึ่งปกติไม่มีน้ำท่วมขัง เกิดน้ำท่วมขังเป็นเวลานานกว่าปกติ ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการดำรงชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน

2.1.1 ประเภทของอุทกภัย (Flood Types) ลักษณะของอุทกภัยโดยทั่วไปมี 4 รูปแบบ (Teegavarapu, 2012, pp. 133-136) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 สรุปการนำปรีทัศน์วรรณกรรมมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

**2.1.1.1 อุทกภัยฉับพลัน (Flash Flood)** เกิดมาจากการมีฝนตกหนักต่อเนื่องกันเป็นเวลานานระยะหนึ่ง ทำให้พื้นดินเกิดการอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว และน้ำฝนส่วนเกินเหนือพื้นดินเกิดการไหลป่าเข้าสู่เขตที่ราบต่ำด้านล่างซึ่งตั้งอยู่ใกล้ภูเขาอย่างรวดเร็วในรูปของน้ำป่า หรือน้ำป่าผสมโคลนดิน ทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมขังขึ้นอย่างฉับพลันได้ ทำให้เกิดอันตรายต่อบ้านเรือนและชีวิตของผู้คนเป็นจำนวนมาก อุทกภัยลักษณะนี้มักเกิดอยู่เป็นเวลานาน ๆ ระบายชั่วโมงหรือน้อยกว่า ก่อนสลายตัวไป

**2.1.1.2 อุทกภัยจากแม่น้ำ (River Flood)** เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเขตที่ลุ่มริมฝั่งแม่น้ำขนาดใหญ่ในบริเวณตอนกลางหรือส่วนล่างของลำน้ำ อันเนื่องมาจากการมีฝนตกหนักบริเวณต้นน้ำเป็นเวลานานทำให้มีปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำมากผิดปกติ ส่งผลให้มีปริมาณน้ำสะสมในลำน้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามไปด้วย โดยเฉพาะบริเวณตอนกลางหรือส่วนล่างของลำน้ำนั้น จนทำให้เกิดภาวะน้ำล้นตลิ่งและเกิดปัญหาอุทกภัยในพื้นที่ริมชายฝั่งขึ้น

**2.1.1.3 อุทกภัยเฉพาะพื้นที่ (Local Flood)** เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากสภาวะฝนตกหนักมาเป็นเวลานานในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จนทำให้พื้นดินไม่สามารถดูดซับหรือระบายน้ำออกไปได้ทัน จนทำให้เกิดมีน้ำท่วมขังในพื้นที่ขึ้น โดยเฉพาะจุดที่อยู่ในเขตที่ลุ่มซึ่งมักมีน้ำสะสมอยู่มากที่สุด อุทกภัยกรณีนี้รวมถึงการเกิดอุทกภัยในเขตเมืองชั้นในของเมืองใหญ่ (Urban Flood) เกิดมาจากการมีฝนตกหนักต่อเนื่องจนไม่สามารถระบายน้ำออกไปได้ทันทั่วทั้งพื้นที่ทำให้เกิดน้ำท่วมขังขึ้นเห็นได้ชัดจากการเกิดอุทกภัยของเขตเมืองชั้นในของกรุงเทพมหานครช่วงที่มีฝนตกหนัก เกิดขึ้นอยู่เป็นประจำ สำหรับอุทกภัยลักษณะนี้อาจเกิดอยู่นานระดับชั่วโมง หรือระดับวันก่อนสลายตัวไป ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตก และประสิทธิภาพในการระบายน้ำของพื้นที่ที่เกิดปัญหาขึ้นเป็นหลัก

**2.1.1.4 อุทกภัยชายฝั่ง (Coastal Flood)** เกิดจากพายุหมุนเขตร้อนหรือพายุรุนแรงแบบอื่นที่เกิดในเขตมหาสมุทร เคลื่อนที่ขึ้นฝั่งและพาเอาน้ำทะเลจำนวนมากเข้ามาสู่ฝั่งในรูปของคลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm Surge) หากเกิดอย่างรุนแรงหรือต่อเนื่องเป็นเวลานาน อาจส่งผลให้เกิดภาวะน้ำท่วมขังขึ้นในเขตที่ลุ่มริมชายฝั่งได้ โดยเฉพาะในเขตเมืองซึ่งไม่มีการระบายน้ำที่ดีพอ

**2.1.2 สาเหตุของการเกิดอุทกภัย** เกิดเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการหลัก ได้แก่ ธรรมชาติ (Natural Causes) และจากมนุษย์ (Man-Made Causes) (ESCAP, 1999)

**2.1.2.1 สาเหตุจากธรรมชาติ** แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังต่อไปนี้

1) น้ำเอ่อท่วมตลิ่ง (Over Bank Causes) เกิดขึ้นเมื่อน้ำเข้าท่วมพื้นที่ริมฝั่งซึ่งหากเป็นพื้นที่ราบจะท่วมเป็นบริเวณกว้าง และหากลำน้ำมีความคดเคี้ยว ความลาดชันน้อย หรือตื้นเขินจากการทับถมของตะกอน มีวัชพืชหรือสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางน้ำ เมื่อเกิดฝนตกหนักในบริเวณต้นน้ำ ทำให้ที่ราบลุ่มริมฝั่งลำน้ำซึ่งตามปกติมีตัวเมืองและชุมชนตั้งอยู่ เกิดน้ำท่วมขังได้ง่าย

2) ฝนตกหนักและต่อเนื่องเป็นเวลานาน (Heavy Rainfall) เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดอุทกภัย ทั้งนี้ อิทธิพลของลมฝน พายุหมุนเขตร้อน และร่องความกดอากาศต่ำ ทำให้เกิดฝนตกหนักเป็นเวลาหลายวันและครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างได้

### 2.1.2.2 สาเหตุจากการกระทำของมนุษย์

1) การลดลงของป่าไม้ (Deforestation) เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ทั้งนี้ ป่าไม้ทำหน้าที่สำคัญ คือ การชะลออัตราการไหลของน้ำผิวดินซึ่งเกิดจากฝนตกหนักให้ช้าลง ทำให้ภาวะน้ำท่วมฉับพลันหรือน้ำป่าไหลหลากเกิดได้น้อยลง

2) การพัฒนาเมืองที่ไร้แบบแผน (Uncoordinated Urban Development) ส่งผลให้เกิดการทำลายความสามารถในการรองรับน้ำส่วนเกินของเมืองลง เช่น การถมเขตที่ลุ่มเป็นพื้นที่อยู่อาศัย หรือการสร้างถนนหรือสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางเดินของน้ำตามธรรมชาติ เป็นต้น

3) การทำลายตลิ่งริมลำน้ำ (Destruction of Flood Embankments) โดยปกติคันกั้นน้ำหรือตลิ่งริมลำน้ำที่สร้างขึ้นปิดล้อมชุมชนเมืองมักช่วยป้องกันอุทกภัยได้ระดับหนึ่ง แต่เมื่อคันกั้นน้ำหรือตลิ่งริมลำน้ำนั้นถูกทำลาย ทำให้น้ำจากลำน้ำไหลเข้าท่วมชุมชนได้

## 2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย

ในการจำลองหรือพยากรณ์การเกิดอุทกภัยประเด็นหนึ่งที่มีความสำคัญ คือ การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องหรือมีอิทธิพลต่อการเกิดอุทกภัย เพราะจะส่งผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

### 2.2.1 การพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัย

2.2.1.1 การกำหนดระดับความเหมาะสมของปัจจัย (Weighting) เป็นการให้ค่าถ่วงน้ำหนักคะแนนของปัจจัย โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอุทกภัยมากกว่าจะกำหนดให้มีค่าถ่วงน้ำหนักที่สูงกว่าปัจจัยที่มีผลน้อยกว่าการกำหนดค่าน้ำหนักดังกล่าวกระทำโดยใช้ 3 วิธี ดังต่อไปนี้

1) กำหนดโดยอ้างอิงจากการทบทวนวรรณกรรม วิธีการนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้กับทุกพื้นที่ เพราะระดับความสำคัญของปัจจัยจะแตกต่างกันกรณีทีลักษณะทางกายภาพในพื้นที่แตกต่างกันแต่ยังมีหลายงานวิจัยเลือกใช้วิธีการนี้ (Tanavud and Yongchalerchai, 2004; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Ajin, Krishnamurthy, Jayaprakash, and Vinod, 2013) อาจเป็นเพราะข้อดีของวิธีการนี้ คือ ลดระยะเวลาที่ใช้สำหรับการสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ กรณีที่สภาพพื้นที่ใกล้เคียงกันอาจให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง แต่กรณีที่สภาพพื้นที่แตกต่างกันมากอาจทำให้ความถูกต้องลดลง

2) กำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญ วิธีการนี้ใช้การสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากนั้นหาค่าน้ำหนักคะแนนจากแบบสอบถาม ข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ เมื่อเปลี่ยนพื้นที่ต้องสอบถามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญใหม่ทุกครั้ง โดยเฉพาะกรณีที่สภาพพื้นที่แตกต่างกันเพราะส่งผลต่อความถูกต้อง (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2542, หน้า 3-19; Pramojane et al., 1997)

3) กำหนดโดยการคำนวณค่าระดับความสำคัญโดยใช้วิธีการทางสถิติ วิธีการนี้สามารถนำไปใช้งานได้กับทุกพื้นที่แม้ว่าสภาพพื้นที่จะแตกต่างกันหรือไม่ก็ตาม ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่ได้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับข้อมูลของแต่ละพื้นที่ วิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุผลคูณ (Multiple Regression Analysis) สามารถวิเคราะห์ค่าระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยในพื้นที่ที่แตกต่างกันได้ (Pradhan, 2009) และวิธีการตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยในพื้นที่ที่แตกต่างกันได้เช่นเดียวกัน (Sani, 2008)

## 2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย (Flood Causative Factors)

สาเหตุของอุทกภัยเกิดจากปัจจัยทางตรงที่สำคัญ คือ น้ำฝนจากการเกิดฝนตกหนักในพื้นที่ แต่ทั้งนี้ยังมีปัจจัยทางอ้อมหรือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของปัญหา (Influencing Factor) นั้นมีอยู่หลายปัจจัย ซึ่งทั้งปัจจัยทางตรงและทางอ้อม มีรายละเอียด ดังนี้

**2.2.2.1 ปริมาณน้ำฝน (Rainfall)** ปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของน้ำในทางน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการเกิดอุทกภัยในพื้นที่นั้น พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนตกหนักย่อมมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยมากกว่า (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 2542, หน้า 3-19; Pramojane et al., 1997; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Tanavud and Yongchalermchai, 2004; Prathumcha and Samarakoon, 2005; Kwak and Kondoh, 2008; Pradhan, 2009; Sakthivel et al., 2011; Saini and Kaushik, 2012; Ajin et al., 2013)

**2.2.2.2 ปริมาณน้ำท่า (Runoff)** คือ น้ำไหลในแม่น้ำลำธาร เกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่รับน้ำ บางส่วนสูญเสียน้ำไป ส่วนที่เหลือก็จะไหลไปยังที่ลุ่มล่งสู่แม่น้ำ ลำธารกลายเป็นน้ำท่าร้อยละ 75 โดยจะสูญเสียน้ำไปเนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอน้ำ เมื่อซึมลงสู่ใต้ดินกลายเป็นน้ำใต้ดิน และน้ำบาดาลและขังอยู่ตามแหล่งน้ำต่าง ๆ เพียงร้อยละ 25 ที่ไหลลงสู่แม่น้ำลำธารไปเป็นน้ำท่า

เมื่อน้ำท่ามีปริมาณมากเกินไปกว่าความสามารถของแม่น้ำจะรับได้ ส่งผลให้เกิดภาวะน้ำล้นตลิ่ง จนเกิดอุทกภัยขึ้น (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 2542, หน้า 3-19; Pramojanee et al., 1997; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Tanavud and Yongchalermchai, 2004; Prathumcha and Samarakoon, 2005; Kwak and Kondoh, 2008; Pradhan, 2009; Sakthivel et al., 2011; Saini and Kaushik, 2012; Ajin et al., 2013)

**2.2.2.3 พื้นที่น้ำท่วมในอดีต (Flood Plain In The Past)** เป็นพื้นที่ประสบปัญหาอุทกภัยเป็นประจำ โดยทั่วไปพื้นที่ใดที่เคยประสบอุทกภัยบ่อยครั้ง ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดอุทกภัยซ้ำอีกครั้งก่อนข้างมาก (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2542, หน้า 3-19)

**2.2.2.4 ความลาดชันของพื้นที่ (Slope)** ในพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยก็มีโอกาสที่จะเกิดอุทกภัยได้ง่ายกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันของพื้นที่มากกว่า ซึ่งมีผลโดยตรงต่อระดับการเกิดอุทกภัยในแต่ละพื้นที่ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 2542, หน้า 3-19; Pramojanee et al., 1997; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Tanavud and Yongchalermchai, 2004; Prathumcha and Samarakoon, 2005; Kwak and Kondoh, 2008; Pradhan, 2009; Sakthivel et al., 2011; Saini and Kaushik, 2012; Ajin et al., 2013)

**2.2.2.5 ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Elevation)** ทะเลมีการเคลื่อนไหวขึ้นลงโดยธรรมชาติ ส่งผลให้ระดับน้ำในแม่น้ำมีการขึ้นลงตามไปด้วย ในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคมเป็นช่วงฝนตกหนักและมีปริมาณน้ำนองจากพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนของแม่น้ำไหลลงมาเป็นจำนวนมาก ถ้าน้ำทะเลหนุนในช่วงนี้จะทำให้เกิดอุทกภัยในพื้นที่ที่เป็นที่ต่ำได้ โดยสามารถแบ่งชั้นความสูงได้จากระดับน้ำทะเล (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2542, หน้า 3-19; Tanavud and Yongchalermchai, 2004; Pradhan, 2009)

**2.2.2.6 ความหนาแน่นทางน้ำของกลุ่มน้ำย่อย (Water Density)** พื้นที่ลุ่มน้ำที่มีทางน้ำหนาแน่นสูง การระบายน้ำของพื้นที่นั้นจะดี มีโอกาสที่จะเกิดอุทกภัยน้อยตามไปด้วย (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2542, หน้า 3-19; Pramojanee et al., 1997; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Tanavud and Yongchalermchai, 2004; Sakthivel et al., 2011; Saini and Kaushik, 2012; Ajin et al., 2013)

**2.2.2.7 สิ่งกีดขวางทางน้ำ (Water Blockage)** พิจารณาโดยใช้เส้นทางคมนาคม ได้แก่ ถนน เส้นทางลำเลียงต่าง ๆ ในบริเวณพื้นที่ที่มีเส้นทางคมนาคมมากจะเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำส่งผลกระทบต่อการระบายน้ำออก เพราะมีสิ่งกีดขวางเส้นทางการไหลของน้ำ และทำให้การระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่เป็นไปอย่างล่าช้า โอกาสเกิดอุทกภัยจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การจัดชั้นพิจารณาจากความยาวของเส้นทางคมนาคมในแต่ละเส้นทางรวมกันเป็นความยาวทั้งหมด และหารด้วยขนาดของพื้นที่ที่ศึกษา (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2542, หน้า 3-19)

**2.2.2.8 ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (Sub-basin Areas)** เกี่ยวข้องกับปริมาณของน้ำที่ไหลลงสู่ทางน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่สามารถรองรับน้ำได้มาก โอกาสที่เกิดอุทกภัยย่อมมีมากขึ้นด้วย เมื่อใช้การพิจารณาข้อมูลจากสภาพความเป็นจริงของพื้นที่ที่มักเกิดอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 2542, หน้า 3-19; Pramojaneet al., 1997; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Ajin et al., 2013)

**2.2.2.9 ความสามารถในการระบายน้ำของดิน (Soil Drainage Capability)** เนื้อดินที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย คือ ดินที่มีเนื้อละเอียด โดยเฉพาะดินที่มีค่าอนุภาคของดินเหนียวสูงจะมีการระบายน้ำไม่ดี ทำให้เกิดการแช่ขังของน้ำ ในทางกลับกันดินที่มีอนุภาคของดินเหนียวต่ำจะมีการระบายน้ำได้ดี ซึ่งช่วยให้การระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่ประสบอุทกภัยเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่เกิดการแช่ขังของน้ำ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2542, หน้า 3-19; Pramojaneet al., 1997; Pradhan, 2009; Sakthivel, et al., 2011; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Saini and Kaushik, 2012; Ajin et al., 2013)

**2.2.2.10 การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Uses)** ลักษณะของสิ่งปกคลุมดินหรือการใช้ประโยชน์ที่ดินส่งผลกระทบต่อเกิดอุทกภัย ในบริเวณพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมดิน เช่น พื้นที่ป่าไม้ ไม้ยืนต้น และสวนผลไม้มีพื้นที่นั้นมีโอกาสเกิดอุทกภัยน้อย เนื่องจากพืชพรรณดังกล่าวสามารถช่วยดูดซับน้ำได้ดี ทำให้น้ำส่วนเกินมีปริมาณลดลงและยังช่วยชะลอการไหลบ่าของน้ำด้วย การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยจึงพิจารณาจากชนิดของพืชพรรณที่ปกคลุม (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540, หน้า 418; สำนักงานนโยบายสิ่งแวดล้อม, 2541, หน้า 8; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2542, หน้า 3-19; Pramojaneet al., 1997; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Kwak and Kondoh, 2008; Pradhan, 2009; Sakthivel, et al. 2011; Saini and Kaushik, 2012; Ajin et al., 2013)



**2.2.2.11 ทิศทางการไหล (Flow Direction)** เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความลาดชันและทิศทางของความลาดชันของพื้นที่ที่มีผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำที่ไหลจากพื้นที่สูงลงสู่พื้นที่ต่ำและมีผลต่อการเกิดอุทกภัย เพราะเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องใช้สำหรับกระบวนการคำนวณปริมาณการไหลสะสมเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่าสำหรับนำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย (บรรเจิด จิระนานนท์, ไชยยัน ศรีสม, และอานนท์ เก่งสาริกานต์, 2554; Kwak and Kondoh, 2008; Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2009; Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2010; Kia, Pirasteh, Pradhan, Mahmud, Sulaiman, and Moradi, 2012; De Risi, 2013) จากการศึกษาและวิเคราะห์ พบว่าทิศทางการไหลเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการพยากรณ์การเกิดอุทกภัย เพราะเป็นปัจจัยที่ต้องใช้ในแบบจำลองอุทกภัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบจำลองทางอุทกวิทยา อย่างไรก็ตามสำหรับแบบจำลองประเภทที่ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์หรือการวิเคราะห์ทางด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์นิยมใช้ทิศทางการไหลเป็นปัจจัยนำเข้าปัจจัยหนึ่งประกอบการวิเคราะห์หรือพยากรณ์การเกิดอุทกภัย นอกจากนี้ทิศทางการไหลที่ได้ยังมีผลต่อความถูกต้องของปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ การไหลสะสม และการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศอีกด้วย

**2.2.2.12 การไหลสะสม (Flow Accumulation)** เป็นการวิเคราะห์ที่ต่อเนื่องมาจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยเซลล์ที่มีการไหลมาสะสมสูงจะถูกกำหนดให้เป็นช่องทางไหลของน้ำ โดยคิดที่การส่งต่อค่าหน่วยของน้ำไปยังจุดหรือเซลล์ถัดไป ซึ่งสามารถนับค่าผลรวมที่เซลล์ตนเองโดยบวกค่าสะสมที่นับมาจากจุดอื่นข้างเคียง และมีผลต่อการเกิดอุทกภัย เพราะเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องใช้สำหรับกระบวนการคำนวณปริมาณน้ำท่าสำหรับนำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย (บรรเจิด จิระนานนท์, ไชยยัน ศรีสม, และอานนท์ เก่งสาริกานต์, 2554; Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2009; Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2010; Kia, Pirasteh, Pradhan, Mahmud, Sulaiman, and Moradi, 2012; De Risi, 2013)

**2.2.2.13 ดัชนีภูมิประเทศ (Topographic Index: TI)** พื้นที่ใด ๆ ที่มีค่านี้มากบ่งบอกถึงแนวโน้มที่ดินจะถึงจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturate) ก่อน พื้นที่นั้นจะมีน้ำสะสมมากแต่ระบายน้ำได้น้อย และยังสามารถให้ทราบว่ามีโอกาสหรือความเป็นไปได้ที่จะเกิดการไหลของน้ำในลักษณะแบบบ่าหน้าดิน (Surface Flow) นอกจากนี้บริเวณที่มีค่า TI สูงมักเป็นกริดที่เป็นแนวเดียวกับแนวของแม่น้ำลำธารหรือบริเวณรอบแม่น้ำ (Beven, 1997, p. 348; De Risi, 2013)

## 2.2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัจจัยที่นิยมนำไปใช้ในการวิเคราะห์หรือจำลองการเกิดอุทกภัยในปัจจุบัน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่า นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่อื่น ๆ ที่มีผลด้วยเช่นเดียวกัน สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

กลุ่มแรกพบว่า การเกิดอุทกภัยส่วนใหญ่มักมีสาเหตุมาจากฝนตกหนักอย่างต่อเนื่องหรือปริมาณน้ำฝนน้ำท่ามีปริมาณมากกว่าพื้นที่รับน้ำ ทำให้พื้นที่นั้น ๆ ประสบปัญหาอุทกภัย (ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ, 2543; Chang et al., 2001; Lekkas et al., 2004; Deshmukh and Ghatol, 2010; Feng and Lu, 2010) จากการวิเคราะห์งานวิจัยข้างต้น พบว่า ปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงที่ทำให้เกิดน้ำท่วมทุกประเภท อย่างไรก็ตามปัจจัยน้ำฝนเพียงปัจจัยเดียวยังไม่สามารถระบุหรือพยากรณ์ได้ว่าพื้นที่ใดจะเกิดหรือไม่เกิดอุทกภัย จึงต้องมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติม

กลุ่มที่สองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน ความลาดชันของแม่น้ำสายหลัก ความหนาแน่นทางน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดของดิน และโครงสร้างของสิ่งอำนวยความสะดวก (Pramojaneet et al., 1997; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011) จากการวิเคราะห์งานวิจัยข้างต้น พบว่า ปัจจัยดังกล่าวนำมาใช้ร่วมกับปริมาณน้ำฝนเพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดอุทกภัย เช่น ความลาดชันเป็นตัวชี้วัดที่สามารถบ่งบอกถึงระดับการเกิดอุทกภัย โครงสร้างของสิ่งอำนวยความสะดวกเป็นตัวชี้วัดที่สามารถบ่งบอกเกี่ยวกับสิ่งกีดขวางทางน้ำ ชนิดของดินเป็นตัวชี้วัดที่สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการระบายน้ำในแต่ละพื้นที่ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่โดยมีรายละเอียด ได้แก่ การศึกษาพื้นที่น้ำท่วมในบริเวณทางตอนใต้ของคาบสมุทรมาเลเซีย (Radhika, 2012) พบว่า ปัจจัยที่มีผลมี 7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน ความสูง ปริมาณการไหลสะสม คุณสมบัติของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และลักษณะทางธรณีวิทยา ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญสูงสุดต่อการเกิดอุทกภัย คือ ความสูงของพื้นที่ ส่วนปัจจัยที่มีนัยสำคัญน้อยสุด คือ ลักษณะทางธรณีวิทยา แต่ภายใต้การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้นำปัจจัยปริมาณน้ำฝนไปใช้ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศมาเลเซีย ในปี ค.ศ. 1984 1990 1995 และ 1997 (Noorazuan, Ruslan, Hafizan, Sharifuddin, and Nazari, 2001) พบว่า การเติบโตของเมืองส่งผลทำให้เกิดปริมาณน้ำท่า (Runoff) เพิ่มขึ้นประมาณ 20.35 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงปี 1983-1988 และประมาณ 31.4 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง ปี ค.ศ. 1989-1994 สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่น่าไปสู่การเกิดอุทกภัย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา (Pradhan, 2009) ที่พบว่าปัจจัยที่มีผลโดยส่วนใหญ่เหมือนกันยกเว้นปัจจัยลักษณะทางธรณีวิทยา และมีปัจจัยที่เพิ่มเข้ามาคือระยะห่างจากบริเวณลุ่มน้ำหรือแม่น้ำในประเทศบังคลาเทศ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย ประกอบด้วย ระดับน้ำ ความหนาแน่นของถนน ประเภทของถนน และความลาดชัน (Prathumcha and Samarakoon, 2005) ในประเทศเกาหลี พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย ได้แก่ ความลาดชัน ทิศทางการไหล การไหลสะสม และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Kwak and Kondoh, 2008) ส่วนการศึกษาพื้นที่ในประเทศอินเดีย พบว่า

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความหนาแน่นทางน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน ขนาดของกลุ่มน้ำ ความลาดชัน ถนน พื้นที่น้ำท่วม และโครงข่ายการระบายน้ำ (Sakthivel et al., 2011; Saini and Kaushik, 2012; Ajin et al., 2013)

สำหรับการศึกษาในประเทศไทยของอัจฉรา โกมลนาค (2545) ได้วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยในเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย ได้แก่ รูปร่างลุ่มน้ำ โครงข่ายการระบายน้ำ คุณลักษณะของดิน ระดับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ลักษณะภูมิอากาศ ความสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำ ความลาดชัน และทิศด้านลาด ส่วนการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยในเขตลุ่มน้ำยมตอนล่าง พบว่าปัจจัยที่มีผลได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี จำนวนวันที่ฝนตกรายปี ปริมาณฝนที่ตกหนักที่สุด ระดับความสูงของพื้นที่ และความลาดเทของพื้นที่ โครงข่ายลำน้ำ โครงข่ายเส้นทางคมนาคม การใช้ประโยชน์ที่ดิน และคุณสมบัติของเนื้อดิน (ประสิทธิ์ เมฆอรุณ, 2546) และจากการศึกษาของ ธนาวุฒิ และคณะ (Tanavud et al., 2004) ซึ่งศึกษาความเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยในพื้นที่เขตเทศบาลอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าปัจจัยที่มีผล ได้แก่ ปริมาณฝนตกในรอบ 7 วัน ความสูงของพื้นที่ ความลาดชัน ความหนาแน่นทางน้ำ ความหนาแน่นถนน การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน นอกจากนี้ อมารกุล และแสนยงค์ (Amarakul and Sanyong, 2005) ศึกษาพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยในเขตลุ่มน้ำยม พบว่า ปัจจัยที่มีผล ได้แก่ ปริมาณฝนรายปี ระยะห่างจากแนวลำน้ำ ความลาดชันของพื้นที่ ความหนาแน่นของแหล่งน้ำในเขตลุ่มน้ำย่อย ขนาดของกลุ่มน้ำย่อย ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และความสามารถในการระบายน้ำของดิน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยที่มีความสำคัญ โดยพิจารณาจากความถี่ที่พบในการทบทวนวรรณกรรม ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน ชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นทางน้ำ ความสูง และขนาดลุ่มน้ำ นอกจากนี้ ปัจจัยหรือองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า เพื่อนำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย คือ ทิศทางการไหลและการไหลสะสม อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีบางปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยเฉพาะในบางพื้นที่เท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาควรมีกระบวนการหรือเทคนิควิธีการสำหรับการพิจารณาปัจจัยที่จะนำไปใช้กับแต่ละพื้นที่เบื้องต้นก่อน เพื่อให้ทราบว่าในพื้นที่ดังกล่าวมีปัจจัยใดบ้างที่ควรนำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย

### 2.3 ระบบภูมิสารสนเทศ

ระบบภูมิสารสนเทศเป็นกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศ ที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งพิกัดในเชิงพื้นที่ (Gorr and Kurland, 2007, p. 4) หรือเป็นการจัดการฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่สัมพันธ์

กับตำแหน่งในแผนที่ข้อมูลและแผนที่ในระบบภูมิสารสนเทศ เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของ ตารางข้อมูล และฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย สามารถนำมาวิเคราะห์และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาได้ ใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล รักษาข้อมูลและการค้นคืนข้อมูล เพื่อจัดเตรียมและปรับแต่งข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

**2.3.1 ประเภทของข้อมูลภูมิสารสนเทศ** ข้อมูลในระบบภูมิสารสนเทศแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลคุณลักษณะ (Gorr and Kurland, 2007, pp. 7-9) มีรายละเอียดดังนี้

**2.3.1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data)** เป็นข้อมูลที่สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ จึงสามารถบอกตำแหน่งของข้อมูลได้ว่าอยู่ที่ใดในระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ จุด (Point) เส้น (Line) และรูปหลายเหลี่ยมปิด (Polygon) โดยข้อมูลประเภทจุดใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งที่ต่าง ๆ เช่น ที่ตั้งหมู่บ้าน ข้อมูลประเภทเส้นใช้แทนลักษณะของสิ่งที่แคบและยาว เช่น ถนน แม่น้ำ เป็นต้น ส่วนข้อมูลประเภทรูปหลายเหลี่ยมปิดใช้แทนลักษณะของสิ่งที่เป็นบริเวณ ตำบล อำเภอ จังหวัด เป็นต้น

**2.3.1.2 ข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute Data)** เป็นคุณสมบัติหรือคุณลักษณะของข้อมูลภูมิศาสตร์หนึ่ง ๆ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ข้อมูลที่ไม่ใช่เชิงพื้นที่ (Non-Spatial Data) เช่น ข้อมูลชื่อหมู่บ้าน ชื่อตำบล เป็นต้น

**2.3.2 รูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data Model)** มีรูปแบบการเก็บข้อมูล 2 แบบ คือ รูปแบบข้อมูลแบบแรสเตอร์ (Raster Data Format) และรูปแบบข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector Data Format) (Gorr and Kurland, 2007, pp. 7-9) มีรายละเอียด ดังนี้

**2.3.2.1 รูปแบบข้อมูลแรสเตอร์** เป็นรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่า ๆ กัน และต่อเนื่องกันไปตามแนวนอนและแนวตั้ง เป็นการแทนข้อมูลจริงด้วยกลุ่มของช่องสี่เหลี่ยมที่ต่อเนื่องกัน ความแม่นยำของข้อมูลขึ้นอยู่กับขนาดของช่องสี่เหลี่ยม ถ้าช่องสี่เหลี่ยมมีขนาดเล็กมีความแม่นยำของข้อมูลมากกว่าช่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่

**2.3.2.2 รูปแบบข้อมูลเวกเตอร์** เป็นรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลในลักษณะเส้น ซึ่งมีทิศทาง ประกอบด้วยจุด และเส้นเชื่อมระหว่างจุด กำหนดจุดด้วยพิกัดคู่ลำดับ X และ Y เช่น ข้อมูลแบบจุดแทนด้วยคู่ลำดับ 1 คู่ ข้อมูลแบบรูปหลายเหลี่ยมปิด แทนด้วยชุดของคู่ลำดับ คู่ลำดับแรกเป็นจุดเดียวกับคู่ลำดับสุดท้าย และเชื่อมโยงระหว่างจุดด้วยเส้น

- 1) จุด เป็นข้อมูลในลักษณะของจุดในตำแหน่งใด ๆ ซึ่งไม่มีขนาดของพื้นที่ และระยะทาง ข้อมูลประกอบด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (X,Y) แนวตั้ง (Z) โดยใช้สำหรับอธิบายถึงตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูล เช่น ที่ตั้งของสถานีวัดปริมาณน้ำฝน ที่ตั้งหมู่บ้าน เป็นต้น
- 2) เส้น ประกอบด้วยเวกเตอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงเรียงต่อเนื่องกันเป็นลำดับ เส้นมีเพียง 1 มิติ คือ มีความยาว แต่ไม่มีความกว้าง เช่น ถนน แม่น้ำ เป็นต้น
- 3) รูปหลายเหลี่ยม เป็นลักษณะขอบเขตพื้นที่ที่ต้องประกอบด้วยจุดมากกว่า 4 จุดขึ้นไป โดยที่จุดพิกัดเริ่มต้นและสุดท้ายเป็นตำแหน่งเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณขอบเขตพื้นที่ได้ เช่น ขอบเขตตำบล ขอบเขตอำเภอ เป็นต้น

### 2.3.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำระบบภูมิสารสนเทศมาใช้ในการด้านอุทกภัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปการนำระบบภูมิสารสนเทศมาใช้ในการด้านอุทกภัยได้ 3 ประเด็นหลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มแรกเป็นการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อเตือนภัยหรือเฝ้าระวังอุทกภัย ส่วนใหญ่นิยมนำระบบภูมิสารสนเทศไปใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยในแต่ละพื้นที่เพื่อใช้ในการวางแผนเตรียมพร้อมรับมือกับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจัดทำอยู่ในรูปแบบแผนที่พื้นที่เสี่ยงอุทกภัย หรือแผนที่พื้นที่เฝ้าระวังอุทกภัย (Kwak and Kondoh, 2008; Sakthivel et al., 2011; Sathe, Khire, and Sankhua, 2011; Ajin et al., 2013) รวมถึงนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ เพื่อใช้ในการพยากรณ์หรือจำลองการเกิดอุทกภัย (Radhika, 2012) อีกทั้งมีการนำไปใช้ร่วมกับแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาเพื่อลดข้อจำกัดของแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาให้สามารถแสดงผลแผนที่น้ำท่วมในรูปแบบ 2 มิติได้ ทำให้ทราบพิกัดตำแหน่งอ้างอิงหรือตำแหน่งของจุดที่พยากรณ์ว่าจะเกิดอุทกภัยได้ นอกจากนี้ข้อมูลภูมิสารสนเทศยังมีบทบาทสำคัญสำหรับการนำไปใช้ป็นข้อมูลนำเข้าในด้านการพยากรณ์หรือการจำลองอุทกภัย จากการศึกษา พบว่า แบบจำลองอุทกภัยทั้งในส่วนที่เป็นแบบจำลองสำเร็จรูป และแบบจำลองที่ผู้ใช้สร้างขึ้นเองจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบเวกเตอร์หรือแรสเตอร์ เช่น แผนที่การไหลประโยชน์ที่ดิน แผนที่ซูดดิน เป็นต้น ถ้าไม่มีข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองทำงานได้ไม่สมบูรณ์หรือความถูกต้องลดน้อยลง

กลุ่มที่สองเป็นการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามหรือประเมินความเสียหายที่เกิดจากอุทกภัยส่วนใหญ่นิยมใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการตรวจสอบติดตามการเกิดอุทกภัย เช่น มีการศึกษาปัญหาอุทกภัยในประเทศจีน โดยการประมาณพื้นที่เกิดอุทกภัย โดยใช้ข้อมูลจากระบบซาร์ และภาพถ่ายดาวเทียม (Jiquan, Chenghu, Kaiqin, and Masataka, 2002) สำหรับจำแนกพื้นที่ไม่มีน้ำและพื้นที่ที่มีน้ำออกจากกัน ทั้งขณะก่อนเกิดอุทกภัยขณะเกิด และภาพหลังเกิดอุทกภัย

นำมาซ้อนทับกันทำให้ทราบว่าพื้นที่ใดเป็นพื้นที่พื้นดิน พื้นน้ำ และพื้นที่เกิดอุทกภัย นำมาสร้างเป็นแผนที่อุทกภัยซึ่งแยกออกจากลำน้ำปกค้อย่างชัดเจน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประเมินความเสียหายได้ โดยนำมาวิเคราะห์ร่วมกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของเขตน้ำท่วมที่มีอยู่สอดคล้องกับการศึกษาของฮอนด้าและคณะ (Honda, Francis, and Sah, 1999) ศึกษาพื้นที่น้ำท่วมบริเวณภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลซาร์เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่เกิดอุทกภัย และข้อมูลแลนด์แซททีเอ็ม (LANDSAT-TM) สำหรับใช้จำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อดูผลกระทบต่อสภาพสังคมและเศรษฐกิจ และแสดงพื้นที่เกิดอุทกภัยที่ตรวจสอบได้ของแต่ละจังหวัด นอกจากนี้ Bach et al. (2004) ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมและภาพเรดาร์สำหรับศึกษาพื้นที่อุทกภัยที่เกิดในประเทศเยอรมัน ผลการศึกษาสรุปว่า การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับภาพเรดาร์ทำให้สามารถตรวจสอบขอบเขตการเกิดอุทกภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดช่วงของการเกิดปัญหาดังกล่าว รวมถึงการประมาณความเสียหายที่เกิดขึ้น

กลุ่มที่สามเป็นการนำไปประยุกต์ใช้ระหว่างเกิดอุทกภัยโดยเน้นในด้านการติดต่อประสานงานระหว่างทีมงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยรวมถึงการแจ้งสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ โดยส่วนใหญ่ใช้ระบบภูมิสารสนเทศร่วมกับระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System : GPS) และระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อใช้ในการรับแจ้งสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ทรัพยากรที่ต้องการ และความช่วยเหลือที่ต้องการในแต่ละพื้นที่ รวมถึงใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างทีมงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (สุพัตรา พุฒินาวรัตน์, เกริกชัย ทองหนู และพิชญา ตันชัยย์, 2553; Jeberson and Sasipraba, 2010) ส่งผลให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถทราบข้อมูลสถานการณ์อุทกภัยในแต่ละพื้นที่ได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น และสามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ถึงแม้จะอยู่คนละพื้นที่ รวมถึงมีเครื่องมือที่ช่วยในการติดต่อประสานงานทำให้ข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้องตรงกัน และง่ายต่อการวิเคราะห์และตัดสินใจแก้ไขปัญหา

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่า มีการนำระบบภูมิสารสนเทศไปใช้ในด้านอุทกภัย โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ได้แก่ ประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อเตือนภัยหรือเฝ้าระวังอุทกภัย ใช้การติดตามหรือประเมินความเสียหายที่เกิดจากอุทกภัย และใช้ในด้านติดต่อประสานงานระหว่างทีมงาน ทั้งสามวัตถุประสงค์ดังกล่าวมีการนำข้อมูลภูมิสารสนเทศในรูปแบบเวกเตอร์ แรสเตอร์ และข้อมูลเชิงคุณลักษณะไปใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้ นำระบบภูมิสารสนเทศมาใช้ในการจัดเตรียมข้อมูลป้อนเข้าซึ่งอยู่ในรูปแบบภูมิสารสนเทศ ทั้งข้อมูลที่จัดอยู่ในรูปแบบเวกเตอร์ แรสเตอร์ และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ อีกทั้งนำระบบภูมิสารสนเทศมาใช้ในการแสดงผลแผนที่ที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อประโยชน์ในการระบุตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่

## 2.4 เทคนิคการประมวลผลภาพ

เทคนิคการประมวลผลภาพที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้นำเสนอเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเท่านั้น มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

### 2.4.1 วิธีการรู้จำและการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation and Recognition)

งานวิจัยนี้นำวิธีการรู้จำและแบ่งส่วนภาพไปใช้ในกระบวนการหาเส้นขอบแม่น้ำ จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข รวมถึงใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลไปยังเส้นขอบแม่น้ำ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.4.1.1 ดัชนีผลต่างประเภทต่าง ๆ

ดัชนีผลต่างมีหลายประเภท โดยมีวัตถุประสงค์ในการทำงานที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการสะท้อนของพืชพรรณหรือสิ่งปกคลุมดิน ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะดัชนีที่ใช้ในการวิเคราะห์แหล่งน้ำหรือความชื้นเท่านั้น มีรายละเอียด ได้แก่ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI (Normalized Difference Water Index: NDWI) เป็นดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบระดับความชื้นในดินซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกหรือแสดงถึงพื้นที่น้ำได้ ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในด้านการเกษตรการป่าไม้และอุทกวิทยา การคำนวณค่าดัชนีกระทำโดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat-TM ในช่วงแบนด์อินฟราเรดใกล้และอินฟราเรดกลาง (Gao, 1996) ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 (Normalized Difference Water Index: NDWI2) เป็นดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบระดับความชื้นในดินซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกหรือแสดงถึงพื้นที่น้ำได้ เช่นเดียวกับ NDWI แต่ใช้ข้อมูลจากแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมที่แตกต่างกัน โดยการคำนวณค่าดัชนีกระทำโดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat-TM ในช่วงแบนด์สีเขียวและอินฟราเรดใกล้ (Mcfeeters, 1996) ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index: MNDWI) เป็นดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบระดับความชื้นในดินซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกหรือแสดงถึงพื้นที่ที่เป็นน้ำได้เช่นเดียวกับ NDWI และ NDWI2 แต่ใช้ข้อมูลจากแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมที่แตกต่างกัน โดยในการคำนวณค่าดัชนีกระทำโดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat-TM ในช่วงแบนด์สีเขียวและอินฟราเรดกลาง (Xu, 2006) ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เป็นดัชนีที่ใช้วัดการปกคลุมของพื้นดิน ส่วนใหญ่ใช้เพื่อจำแนกสิ่งปกคลุมดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน แต่ทั้งนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาแหล่งน้ำได้ เช่นเดียวกันโดยวัดจากการสะท้อนของสองช่วงคลื่น ได้แก่ คลื่นสีแดง และคลื่นอินฟราเรดใกล้ โดยการคำนวณค่าดัชนีกระทำโดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat-TM ในช่วงแบนด์สีแดงและอินฟราเรดใกล้ (Rouse, Haas, Schell, and Deering, 1973) นอกจากดัชนีทั้ง 4 ประเภทที่กล่าว

มาแล้ว ยังมีดัชนีอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ตรวจสอบระดับความชื้นของดิน เพื่อตรวจสอบบริเวณพื้นที่แหล่งน้ำ ได้แก่ ดัชนีผลต่างบ่อน้ำ (Normalized Difference Pond Index: NDPI) ดัชนีผลต่างความขุ่น (Normalized Difference Turbidity Index: NDTI) ดัชนีผลต่างสามารถคำนวณ ดังสมการในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมการดัชนีผลต่างประเภทต่าง ๆ

ดัชนี	สมการ
NDWI	$NDWI = (NIR - MIR) / (NIR + MIR)$ (2.1)
NDWI2	$NDWI2 = (Green - NIR) / (Green + NIR)$ (2.2)
MNDWI	$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$ (2.3)
NDVI	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ (2.4)
NDPI	$NDPI = (MIR - Green) / (MIR + Green)$ (2.5)
NDTI	$NDTI = (Red - Green) / (Red + Green)$ (2.6)

โดยที่ MIR คือ แบนด์อินฟราเรดกลาง NIR คือ แบนด์อินฟราเรดใกล้ Green คือ แบนด์สีเขียว และ RED คือ แบนด์สีแดง โดยค่าที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เท่านั้น โดยค่าที่เป็นบวกและเข้าใกล้ 1 มากกว่าแสดงว่ามีความชุ่มชื้นปรากฏอยู่มากกว่า นั่นหมายถึงมีความน่าจะเป็นที่จะเป็นแหล่งน้ำมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่วนค่าที่ใกล้ศูนย์หรือค่าที่ติดลบแสดงว่ามีความชื้นปรากฏอยู่น้อยหรือไม่มีเลย จึงไม่ใช่แหล่งน้ำ

#### 2.4.1.2 การจำแนกบริเวณแบบผ่อนคลาย (Relaxation Labeling: RL)

งานวิจัยนี้นำเทคนิค RL มาใช้ในการกำจัดส่วนเกิน (เช่น เงาของอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง) ที่ได้จากการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำหรือแหล่งน้ำ ซึ่ง RL เป็นการเพิ่มความน่าจะเป็นให้กับแต่ละจุดภาพโดยพิจารณาจากจุดภาพรอบข้าง ว่าจุดภาพรอบข้างเป็นองค์ประกอบใดหรือเป็นพื้นที่บริเวณที่เป็นแหล่งน้ำหรือไม่ใช่แหล่งน้ำ ดังนั้นถ้าบริเวณรอบข้างเป็นแหล่งน้ำ จุดที่พิจารณาจะมีความเป็นไปได้ว่าจะเป็นแหล่งน้ำเช่นเดียวกัน โดยในการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นใช้สมการที่ 2.7 และ 2.8

$$q_i^k(\lambda) = \sum_j \sum_{\lambda'} r_{ij}(\lambda, \lambda') p_i^k(\lambda') \quad (2.7)$$

$$p_i^{k+1}(\lambda) = p_i^k(\lambda) [1 + q_i^k(\lambda)] / \sum_{\lambda'} p_i^k(\lambda') [1 + q_i^k(\lambda')] \quad (2.8)$$

เมื่อ  $p_i^k(\lambda)$  เป็นค่าความน่าจะเป็นของพิกเซล  $i$  อยู่ในคลาส  $\lambda$



$q_i^k(\lambda)$  เป็นผลรวมของจำนวนพิกเซลรอบข้าง  
 $r_{ij}(\lambda, \lambda')$  เป็นจำนวนพิกเซลรอบข้างของพิกเซล  $i$  ที่อยู่ในคลาส  $\lambda$   
 และ  $j$  ที่อยู่ในคลาส  $\lambda'$

### 2.4.1.3 การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ (Gradient Vector Flow: GVF)

งานวิจัยนี้นำการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์มาใช้เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการไหลไปยังเส้นขอบแม่น้ำจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในด้าน การแบ่งส่วนภาพ ซึ่งปรับปรุงแนวคิดมาจากแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม (Traditional Active Contour: TAC) เป็นแอ็กทีฟคอนทัวร์ตัวแรกที่ถูกคิดค้นขึ้นมา (Kass, Witkin, and Terzopoulos, 1998) ซึ่งใช้ค่าเกรเดียนต์ของภาพขอบในการคำนวณสนามเวกเตอร์ (แรงผลัก) สำหรับขับเคลื่อนคอนทัวร์ ซึ่งส่งผลให้วิธีการนี้มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ของวัตถุได้ ไม่สามารถเกาะติดกับขอบที่ไม่ชัดเจนได้ ไม่ทนทานต่อสัญญาณรบกวน และมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ (Capture Range) ที่จำกัดทำให้ในการวางตำแหน่งเริ่มต้น (Initial Position) ของคอนทัวร์นั้นจำเป็นต้องวางใกล้กับวัตถุที่ต้องการเพียงพอ จึงทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่เราต้องการได้ สาเหตุเนื่องมาจากบริเวณที่ไกลจากขอบของวัตถุ ค่าเกรเดียนต์จะมีค่าน้อยมาก ๆ ทำให้เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนทัวร์ตกอยู่ภายในบริเวณเหล่านี้ คอนทัวร์จะไม่มีแรงขับเคลื่อนไปยังขอบของวัตถุได้ และจากข้อจำกัดเหล่านี้ จึงมีการนำเสนอวิธีแอ็กทีฟคอนทัวร์ที่เรียกว่า การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ วิธีการนี้ได้มีการแพร่ขยายบริเวณของแรงที่ชี้ไปยังขอบของวัตถุในภาพออกไปโดยรอบ จึงทำให้คอนทัวร์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากขึ้น และมีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าไปยังส่วนที่มีลักษณะโค้งเว้ามาก ๆ ได้ดีขึ้น (Xu and Prince, 1998) โดยสามารถคำนวณจากสมการ 2.9 2.10 และ 2.11

$$E = \iint \mu(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2 |v - \nabla f|^2 dx dy \quad (2.9)$$

เมื่อ  $v(x, y) = (u(x, y), v(x, y))$  คือ GVF Vector Field

$f$  คือ ขอบภาพ

$\mu$  คือ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับอัตราถ่วงดุลระหว่าง  
 เทอมแรกและเทอมที่สอง

ซึ่งเทอมแรกทำให้ข้อมูลเวกเตอร์มีความเรียบ (Smoothing) ส่วนเทอมที่สอง คือ เทอมข้อมูลเวกเตอร์ ค่าของ  $\mu$  ขึ้นอยู่กับปริมาณสัญญาณรบกวนในภาพ เช่น ถ้าสัญญาณรบกวนมีค่าสูง ค่าของ  $\mu$  ควรสูงตามด้วย

$$\mu^2 \nabla^2 u - (u - f_x)(f_x^2 + f_y^2) = 0 \quad (2.10)$$

$$\mu^2 \nabla^2 v - (v - f_x)(f_x^2 + f_y^2) = 0 \quad (2.11)$$

เมื่อ  $\nabla^2$  คือ ลاپลาเซียนโอเปอเรเตอร์

การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์สามารถแก้ไขปัญหามีอยู่เดิม คือ สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ของวัตถุได้ สามารถเกาะติดกับขอบที่ไม่ชัดเจนได้ ทนทานต่อสัญญาณรบกวน และมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่ไม่จำกัด ทำให้มีประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพมากยิ่งขึ้น

#### 2.4.1.4 การหาเส้นขอบภาพ (Image Edge Detection)

การหาขอบเขตภาพเป็นการตรวจสอบว่าเส้นขอบลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใด โดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดดังกล่าว ซึ่งวิธีการหาขอบเขตภาพนั้นมีด้วยกันหลายวิธี สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ เกรเดียนต์เมทรีค และ ลاپลาเซียนเมทรีค สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้เกรเดียนต์เมทรีคเป็นวิธีหาขอบโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ โดยใช้การหาเส้นขอบโดยวิธีเคนนี่นั้น เริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นคำนวณค่าขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Orientation) ของ Gradient โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งในขั้นตอนต่อมาทำให้ได้ขอบที่บางลงและในขั้นตอนสุดท้ายระบุพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อบริเวณ โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การปรับภาพให้เรียบ ในขั้นตอนแรกของการหาขอบโดยอัลกอริทึมนี้ จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนโดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียน สามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบ (Mask) ขนาดเล็ก ขนาดของตัวกรองเกาส์เซียน หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อย ๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป สำหรับการคำนวณหาภาพที่ได้จากการใช้ตัวกรองเกาส์เซียน ดังสมการที่ 2.12

$$S[i, j] = G[i, j, \sigma] * I[i, j] \quad (2.12)$$

เมื่อ

$I[i, j]$  เป็นภาพที่ต้องการหาขอบ

$G[i, j, \sigma]$  เป็นตัวกรองเกาส์เซียน

$\sigma$  เป็นตัวควบคุมขนาดของตัวกรองเกาส์เซียน

2) การคำนวณค่าเกรเดียนต์ในขั้นแรกนำภาพที่ผ่านกระบวนการปรับภาพให้เรียบมาคำนวณโดยใช้ สมการที่ 2.13 และ 2.14

$$P[i, j] \approx (S[i, j + 1] - S[i, j] + S[i + 1, j + 1] - S[i + 1, j])/2 \quad (2.13)$$

$$Q[i, j] \approx (S[i, j] - S[i + 1, j] + S[i, j + 1] - S[i + 1, j + 1])/2 \quad (2.14)$$

หลังจากนั้นนำค่า  $x$ ,  $y$  มาคำนวณเพื่อหาขนาดและทิศทางของเกรเดียนท์ โดยใช้สมการที่ 2.15

$$M[i, j] = \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2}$$

$$\theta[i, j] = \arctan (Q[i, j], P[i, j]) \quad (2.15)$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถหาค่ามุม  $\theta$  ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชัน  $\arctan (x, y)$

3) การกำจัดพิกเซลที่เป็นขอบที่ไม่ใช่ค่าสูงสุด (Nonmaxima Suppression) สำหรับการหาขอบโดยวิธีการแคนนี่ จุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่เป็นทิศทางเดียวกับเกรเดียนต์ด้วยซึ่งด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซล ภาพที่ได้หลังการกำจัดพิกเซลที่เป็นขอบที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดค่าที่ได้จะเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็นค่าสูงสุดซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

4) การหาค่าเทรชโฮลด์ (Thresholding) แม้ว่าภาพจะผ่านการ Smoothing ในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่เนื่องมาจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ ขึ้นมา 2 ค่า คือ เทรชโฮลด์ตัวที่ 1 (T1) และเทรชโฮลด์ ตัวที่ 2 (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่าเทรชโฮลด์ทั้งสอง การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า > T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน

#### 2.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการด้านอุทกภัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านเทคนิคการประมวลผลภาพ พบว่ามีการนำเทคนิคทางด้านการประมวลผลภาพมาใช้ในการด้านอุทกภัย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ใช้สำหรับเฝ้าระวังหรือตรวจสอบการเกิดอุทกภัย (Flood Monitoring) โดยวิธีการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลง (Change Detection) จากภาพถ่ายดาวเทียมหรือภาพถ่ายทางอากาศ และใช้สำหรับหาคุณลักษณะบ่งชี้ภัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย เช่น หาบริเวณแม่น้ำสายหลัก หาบริเวณที่เป็นอาคารและสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ สำหรับการจำลองอุทกภัยในอนาคต ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

**2.4.2.1 งานวิจัยที่นำเทคนิคการประมวลผลภาพไปใช้หาคุณลักษณะปัจจัย** งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพไปใช้ในการตรวจสอบบริเวณที่เป็นทางน้ำหรือแม่น้ำโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่บันทึกด้วยระบบซาร์ เทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การนำแผนที่แม่น้ำที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบเวกเตอร์มาใช้เป็นเกณฑ์ในการสกัดบริเวณที่เป็นแม่น้ำออกจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งใช้งานร่วมกับเทคนิคการประมวลผลภาพโดยใช้เทคนิคเลเวลเซ็ท (Level Set) (Wang, and Li, 2009) ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ช่วยให้สกัดบริเวณที่เป็นแม่น้ำได้ง่ายขึ้น เพราะมีโค้ดที่ใช้บอกว่าบริเวณใดเป็นแม่น้ำ แต่ข้อเสีย คือ กรณีไม่มีแบบเวกเตอร์แม่ของแม่น้ำจะไม่สามารถใช้งานได้ หรือแม้ว่ามีแต่เวกเตอร์แม่ของแม่น้ำ แต่เวกเตอร์แม่นั้น ไม่ได้ลิ้งก์มาจากแผนที่ฐาน (Base Map) ชุดเดียวกัน อาจเกิดปัญหาความคลาดเคลื่อนขึ้น นอกจากนี้มีงานวิจัยอื่น ๆ ที่นำเทคนิคเลเวล เซ็ทมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาบริเวณที่เป็นขอบเขตแม่น้ำเช่นเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่าวิธีการนี้สามารถใช้ในการสกัดบริเวณที่เป็นแม่น้ำได้ (Silveira and Heleno, 2008; Margarida and Sandra, 2009)

เจ้า ยู กู และหวัง (Zhao, Yu, Gu, and Wang, 2010) นำเสนอเทคนิคการตรวจสอบบริเวณแม่น้ำและเส้นขอบแม่น้ำ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ ได้แก่ การหาเส้นขอบด้วยวิธีแคนนี่ แบบปรับค่าเองได้ มีความได้เปรียบมากกว่าการใช้วิธีการแคนนี่แบบเดิม จากผลการศึกษา พบว่า วิธีการนี้สามารถหาขอบเขตและบริเวณที่เป็นแม่น้ำได้อัตโนมัติ ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำสูง แนวทางการศึกษาในอนาคต คือ การวัดความกว้างของแม่น้ำ

เสี่ยว เจีย ฮี และเชน (Xiao, Jia, He, and Chen, 2008) นำเสนอการนำเทคนิค Curvlet Transform และ GVF เพื่อปรับปรุงความถูกต้องในการหาเส้นขอบแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม ข้อดีของวิธีการนี้ คือ มีความยืดหยุ่น รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ วิธีการนี้ลดข้อจำกัดของวิธีดั้งเดิม ได้แก่ เวฟเลต (Wavelet) ไม่สนใจคุณสมบัติทางเรขาคณิตของวัตถุ และแคนนี่ ผลการศึกษาพบว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพและความถูกต้องมากกว่า 2 วิธีดังกล่าว

ชา ซาฮารี และทีวาริ (Shah, Choudhary, and Tewari, 2011) นำเสนอเทคนิคในการหาเส้นขอบบริเวณที่เป็นแม่น้ำ โดยใช้การกำหนดค่าเทรชโฮลด์และการขยายขอบภาพ เพื่อสกัดบริเวณแม่น้ำ โดยอัลกอริทึมที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย เคมีน (K-Means) อัลกอริทึมปีนเขา (Hill Climbing Algorithm) ฮิสโตแกรม (Histogram) และการหาเทรชโฮลด์ (Image Thresholding) ผลการศึกษาพบว่าสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์น้ำท่วมและภัยแล้งจากภาพถ่ายดาวเทียมได้

ชี จาง หลิว และเจ้า (SHE, ZHANG, LIU, and ZHAO, 2008) นำเสนอเทคนิคการตรวจจับแม่น้ำสายหลัก บริเวณแม่น้ำเหลือง ประเทศจีน ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ความคล้ายของสเปกตรัม (Spectral Similarity) และใช้การหาขอบแม่น้ำโดยใช้วิธีการ โรเบิร์ต โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนดส์เซททีเอ็ม (Landsat TM) แบบหลายความถี่ 7 แบนด์ โดยเปรียบเทียบ

ผลลัพธ์กับวิธีดิจิทัลโดยใช้แรงคน ผลการศึกษาพบว่า วิธีการนี้ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพทั้งใน  
ฤดูแล้งและฤดูน้ำหลาก

หวัง เฟิง เลี้ยว และวู (Wang, Feng, Xiao, and Wu, 2009) นำเสนอการรู้จำและสกัด  
คุณลักษณะบริเวณที่เป็นแม่น้ำบนฐานของโดเมนความถี่ งานวิจัยนี้ใช้กาเบอร์ฟิลเตอร์ ในการ  
ปรับปรุงเท็กซ์เจอร์ (Texture) ของแม่น้ำ และลบสัญญาณรบกวนออกจากภาพ ผลการศึกษาพบว่า  
ประสิทธิภาพเยี่ยม แต่ข้อจำกัดของวิธีดังกล่าว คือ ใช้งานได้กรณีที่เป็นแม่น้ำเดี่ยว แต่ถ้ามีแม่น้ำ 2  
หรือมากกว่าจะไม่เหมาะสม เพราะในการกำหนดพารามิเตอร์ไม่ยืดหยุ่น กำหนดไว้เพียงค่าใดค่า  
หนึ่ง เช่น ใช้แค่ทิศทางเดียว คือ 45 องศา ดังนั้นเมื่อนำไปใช้กับภาพแม่น้ำที่ไม่ใช่ 45 องศาจะให้ผล  
ลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง

นอกจากนี้มีการนำเสนอเทคนิคถึงอัตโนมัติในการสกัดหรือจำแนกส่วนที่เป็นแม่น้ำ  
(Dillabaugh, Niemann, and Richardson, 2002) รวมถึงการระบุความกว้างของแม่น้ำโดยใช้ภาพถ่าย  
ดาวเทียมความละเอียดสูง ความละเอียดที่ใช้มี 2 ระดับ คือ 20 เมตร และ 5 เมตร ในการสกัดส่วนที่  
เป็นแม่น้ำต้องอาศัยผู้ใช้เป็นผู้ระบุจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแม่น้ำ อัลกอริทึมที่ใช้ในการศึกษา  
ครั้งนี้ คือ เอสตาร์ (A\* Algorithm)

นอกเหนือจากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น มีการนำเสนอเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบ  
บริเวณที่เป็นทางน้ำหรือแม่น้ำ โดยใช้วิธีการอื่น ๆ ได้แก่ การจำแนกแบบมีผู้สอน การจำแนกแบบ  
ไม่มีผู้สอน การจำแนกโดยใช้แบนด์เดียว (Single Band) การจำแนกโดยใช้ข้อมูลหลายแบนด์  
(Multi Band) หรือการจำแนกโดยใช้วิธีคำนวณค่าดัชนีผลต่างความชื้น (Normalized Difference  
Water Index: NDWI) (Haibo, Zongmin, Hongling, and Yu, 2011; Li, Xu, and Tang, 2011) ผล  
การศึกษาพบว่า การจำแนกโดยใช้แบนด์เดียวให้ผลไม่ดีกว่าวิธีที่เป็นทางน้ำหรือแม่น้ำขนาดเล็ก  
จำเป็นต้องใช้ค่าเทรซโฮลด์หลายค่าในการทดสอบ และเทคนิคนี้ใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน (Haibo  
et al., 2011) ยิ่งกว่านั้นจากการศึกษาพบว่าการนำค่าดัชนีผลต่างแบบอื่น ๆ มาใช้ ได้แก่ ดัชนี  
ผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 (Normalized Difference Water index: NDWI2) ดัชนีผลต่างความชื้น  
แบบ MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index: MNDWI) ดัชนีผลต่างบ่อน้ำ  
(Normalized Difference Pond Index: NDPI) ดัชนีผลต่างความขุ่น (Normalized Difference  
Turbidity Index: NDTI) และดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index:  
NDVI) โดยดัชนีผลต่างความชื้นซึ่งคิดค้นโดยเกา (Gao, 1996) มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการ  
ตรวจสอบบริเวณแม่น้ำหรือแหล่งน้ำ นอกจากนั้นถูกนำไปใช้ในด้านอื่น ๆ ได้แก่ การพยากรณ์และ  
ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงบริเวณแหล่งน้ำ (Silveira and Heleno, 2008; Margarida and Sandra,  
2009) อย่างไรก็ตามดัชนีผลต่างความชื้นนี้มีข้อจำกัด คือ ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจสอบ  
แหล่งน้ำบางประเภท คือ แหล่งน้ำประเภททะเลสาบ จึงมีการคิดค้นดัชนีผลต่างความชื้นแบบ

NDWI2 มาใช้ (Mcfeeters, 1996) ซึ่งเทคนิคนี้สามารถแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวได้ รวมถึงมีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในด้านการตรวจสอบบริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำ (Shen and Li, 2010; Chao and Sheng, 2011; Haibo et al., 2011; Wang et al., 2013; Feyisa et al., 2014; Jiang et al., 2014) เช่น ใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำบริเวณทะเลสาบเออเมีย ประเทศอิหร่าน ระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2555 (Rokni et al., 2014) นอกจากนี้พบว่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 ยังมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถกำจัดบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ใช่บริเวณแหล่งน้ำได้ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นดัชนีผลต่างความชื้นแบบ MNDWI (Xu, 2006) มาแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า ยังไม่สามารถแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวได้ นอกจากนี้มีการนำดัชนีผลต่างความชื้น และดัชนีผลต่างบ่อน้ำ (Lacaux et al., 2007) มาใช้ในการตรวจสอบบริเวณแหล่งน้ำ จากการศึกษาพบว่าดัชนีดังกล่าวเหมาะสมสำหรับใช้ตรวจสอบบริเวณแหล่งน้ำขนาดเล็ก แต่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการตรวจสอบแหล่งน้ำขนาดใหญ่ (Ray et al., 2012; Gardelle et al., 2010) การนำค่าดัชนีผลต่างความชื้นมาใช้ในการตรวจสอบบริเวณแม่น้ำให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากกว่า อย่างไรก็ตามจากการศึกษาและวิเคราะห์พบว่าการนำดัชนีผลต่างทุกประเภทดังกล่าวข้างต้นมาใช้ ยังมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน คือ ผลลัพธ์ที่ได้มีพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ใช่แหล่งน้ำหลงเหลืออยู่ ได้แก่ เงามของอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง (Shen and Li, 2010; Chao and Sheng, 2011; Haibo et al., 2011; Wang et al., 2013; Feyisa et al., 2014; Jiang et al., 2014) ยิ่งกว่านั้นจากการศึกษาพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่นำดัชนีผลต่างแต่ละประเภทมาใช้โดยใช้วิธีการกำหนดค่าเทรชโพลด์ (Haibo, Zongmin, Hongling, and Yu, 2011; Li, Xu, and Tang, 2011) เช่น ถ้าค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 มีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งน้ำ แต่ถ้าน้อยกว่าศูนย์ไม่ใช่แหล่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดของการใช้ค่าเทรชโพลด์ คือ ไม่สามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้ได้กับทุกพื้นที่ เช่น พื้นที่หนึ่งอาจจะมีค่าเทรชโพลด์เท่ากับ 0.1 แต่อีกพื้นที่เท่ากับ 0.2 เป็นต้น

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง (High Resolution) มีข้อได้เปรียบในการใช้งานเพราะสามารถแสดงรายละเอียดของลักษณะภูมิประเทศรวม โครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง รวมถึงสิ่งปกคลุมได้อย่างชัดเจน อีกทั้งในปัจจุบันมีจำนวนดาวเทียมที่บันทึกภาพความละเอียดสูงเพิ่มขึ้นจำนวนมาก เช่น สปอท (SPOT) ไอคอนอส (IKONOS) และธีออส (THOES) เป็นต้น (Yu et al., 2014; Suwanprasit and Srichai 2012; Pu et al., 2011) อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวมีต้นทุนสูงมาก อีกทั้งภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงมีความละเอียดเกี่ยวกับสเปกตรัมค่อนข้างต่ำ (Carleer and Wolff, 2005; Herold et al., 2003) ส่วนภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดปานกลาง (Middle Resolution) มีข้อได้เปรียบในการนำมาใช้งาน ได้แก่ ต้นทุนในการจัดหาต่ำ หรือบางประเภทมิให้บริการโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย (Roy et al., 2010; Ju and Roy, 2008) ยิ่งกว่านั้นความละเอียดเชิงสเปกตรัมสูง

(Erdogan et al., 2008) จึงนิยมนำมาใช้งานเพราะสามารถจำแนกสิ่งปกคลุมประเภทต่าง ๆ ได้ดี เช่น พืชพรรณ แหล่งน้ำ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในการจำแนกสิ่งปกคลุมและแหล่งน้ำ (Feyisa et al., 2014; Jiang et al., 2014; Wang et al., 2013; Chao and Sheng, 2011; Shen and Li, 2010) แต่ทั้งนี้ข้อจำกัด คือ ไม่สามารถตรวจสอบหรือจำแนกแม่น้ำสายย่อยหรือแม่น้ำขนาดเล็กได้ จากข้อจำกัดในเรื่องค่าเทรซโซลด์ของดัชนีผลต่างแต่ละประเภท ประกอบกับความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทไม่สามารถจำแนกแม่น้ำสายย่อยได้ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเทคนิคการจำแนกแหล่งน้ำหรือแม่น้ำโดยใช้วิธีการหลอมรวมข้อมูลระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้ดัชนี 2 ประเภท ได้แก่ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ MNDWI ร่วมกับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และการจำแนกบริเวณแบบฟอนปรน ผลการศึกษาพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิมซึ่งใช้เทรซโซลด์ สามารถจำแนกแม่น้ำสายย่อยได้ รวมถึงสามารถกำจัดพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ใช่แหล่งน้ำได้ (Horkaew, Puttinaovarat, and Khaimook, 2015)

**2.4.2.2 งานวิจัยที่นำเทคนิคการประมวลผลภาพไปใช้ในการเฝ้าระวังหรือตรวจสอบการเกิดอุทกภัย** งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ และแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างก่อนเกิดอุทกภัยและหลังเกิดอุทกภัยเพื่อประเมินและระบุว่าพื้นที่ใดบ้างที่ประสบอุทกภัย (Puech, Hostache, Raclot, and Matgen, 2007; Shaker, Yan, and El-Ashmawy, 2012; Sudiana and Rizkinia, 2012) และยังใช้ในการติดตามสถานการณ์เพื่อตรวจสอบว่าแต่ละพื้นที่ยังมีสถานการณ์อุทกภัยเกิดขึ้นหรือไม่ นอกจากนี้มีการนำไปใช้งานร่วมกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อแจ้งข้อมูลสถานการณ์ให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบ (Yamada, Tingsanchali, Khao-Uppatum, and Chompradist, 2004) อีกทั้งมีการนำไปใช้ในการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นหลังเหตุการณ์ผ่านไปแล้ว เพื่อวางแผนในการเตรียมฟื้นฟูหรือซ่อมแซมอาคาร สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่ได้รับความเสียหาย (Zhang, Zhou, Xu, and Watanabe, 2002)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่า มีการนำเทคนิคการประมวลผลภาพไปใช้ในด้านอุทกภัย โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ได้แก่ ใช้หาคุณลักษณะปัจจัย งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพไปใช้ในการตรวจสอบบริเวณที่เป็นทางน้ำหรือแม่น้ำ และใช้ในการเฝ้าระวังหรือตรวจสอบการเกิดอุทกภัย สำหรับงานวิจัยนี้นำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขเพื่อหาบริเวณแหล่งน้ำและเส้นขอบแม่น้ำ รวมถึงทิศทางการไหลไปยังเส้นขอบแม่น้ำและใช้ร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์ภูมิประเทศในการวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ภาพถ่าย

ดาวเทียมและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข เพื่อแก้ไขข้อจำกัดจากการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของน้ำที่  
ใช้อยู่ในปัจจุบันซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขเพียงอย่างเดียว

## 2.5 การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข (Digital Geometry Processing)

เป็นศาสตร์ที่ค่อนข้างใหม่ของวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทาง  
คณิตศาสตร์และขั้นตอนวิธีสำหรับการวิเคราะห์และจัดการข้อมูลเรขาคณิต (Botsch, Kobbelt,  
Pauly, Alliez, and Lévy, 2010, p. 1) ประกอบด้วย การฟื้นฟูพื้นผิวจากจุดตัวอย่าง การลดสัญญาณ  
รบกวน การวิเคราะห์รูปทรงเรขาคณิต (Geometry Analysis) การประมวลผลเรขภาพเชิงเลขนั้น ได้  
กลายมาเป็นที่นิยมเมื่อไม่นานมานี้ มีรายละเอียด ดังนี้

### 2.5.1 เทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลข

**2.5.1.1 การแบ่งพื้นผิวของโพลีกอนเป็นพื้นผิวย่อย (Subdivision)** โดยแบ่งพื้นผิว  
ของโพลีกอนออกเป็นพื้นผิวย่อย ๆ โดยอาจใช้ขั้นตอนวิธีต่าง ๆ จำนวนเพื่อเพิ่มจำนวนโพลีกอน  
โดยในแต่ละขั้นตอนวิธีก็อาจให้ผลที่แตกต่างกันออกไป ในงานทั่วไปใช้เพื่อเพิ่มพื้นผิวเพื่อให้โพลี  
กอนดูเรียบเนียนขึ้น หรืออาจใช้เพียงเพื่อแบ่งจำนวนหน้าเพิ่มเติมโดยรักษารูปทรงตั้งต้นไว้ได้ ทั้งนี้  
อาจแบ่งพื้นผิวของโพลีกอนออกเป็นพื้นผิวย่อย ๆ ซ้อนกันหลายชั้น (Level) ในแบบของรีเคอร์ชัน  
(Botsch et al., 2010, p. 9)

**2.5.1.2 รีเมชิ่ง (Remeshing)** เป็นการปรับปรุงคุณภาพของตาข่าย (Mesh) เพื่อใช้  
ในการคำนวณหรือการจำลองทางเรขาคณิต เป้าหมายของเทคนิคนี้ คือ การลดความซับซ้อนของ  
ตาข่ายของข้อมูลนำเข้าโดยรักษาคุณภาพของข้อมูลไว้ (Botsch et al., 2010, p. 85)

**2.5.1.3 ซิมพลิเคชัน (Simplification)** เป็นการแปลงตาข่ายโดยใช้ด้าน (Face)  
เวอร์เท็กซ์ (Vertex) และเอดจ์ (Edge) ที่น้อยที่สุด โดยต้องรักษาคุณสมบัติของข้อมูลต้นฉบับไว้ได้  
มากที่สุด (Botsch et al., 2010, p. 111)

**2.5.1.4 การทำให้เรียบเนียน (Smoothing)** เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความเรียบ  
เนียนหรือลดสัญญาณรบกวน ใช้เพื่อกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออก (Botsch et al., 2010, p. 49)

### 2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลข

ในปัจจุบันมีการนำเทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขไปประยุกต์ใช้งานอย่าง  
แพร่หลายในด้าน เช่น แอนิเมชัน การแพทย์ อุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม และการวิเคราะห์  
ภูมิประเทศ โดยมีรายละเอียดดังนี้



**2.5.2.1 การประยุกต์ใช้ด้านแอนิเมชัน** มีการนำการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขไปใช้ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการบีบอัดแอนิเมชัน 3 มิติ ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) (Amjoun and Straber, 2007) โดยวิธีการที่นำเสนอสามารถบีบอัดแอนิเมชันแบบ 3 มิติได้ดีกว่าอัลกอริทึมเดิม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสร้างเกมส์คอมพิวเตอร์หรือภาพยนตร์ได้ และมีการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการฟิสิกส์ที่ตรงความต้องการ โดยใช้การประมาณค่าแบบควาซี (Quasi Interpolation) อัลกอริทึมนี้ทำงานได้อย่างรวดเร็วและสามารถแก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ นอกจากนี้ยังประหยัดทรัพยากรทั้งเวลาและหน่วยความจำอีกด้วย ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้งานได้ดีมากสำหรับกรณีที่ตาข่ายไม่สม่ำเสมอ รูปร่างที่ได้มีความใกล้เคียงกับภาพจริง สามารถนำไปใช้ในการแสดงผลการจำลองทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสร้างภาพจำลองของของเหลว (Litke, Levin, and Schroder, 2001) นอกจากนี้มีการพัฒนาเฟรมเวิร์คใหม่สำหรับใช้ในกระบวนการวิเคราะห์แอนิเมชัน 3 มิติ ซึ่งใช้เฟลตในการวิเคราะห์แบบความละเอียดหลายระดับในส่วนการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขใช้เทคนิครีแมชชิง (Remeshing Techniques) ในการแปลงแอนิเมชัน ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ เป็นการปรับปรุงคุณภาพของการวิเคราะห์แบบหลายระดับในเชิงพื้นที่ทำให้การบีบอัดแอนิเมชัน 3 มิติทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Payan, Kamoun, and Antonini, 2008)

**2.5.2.2 การประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์** มีการนำการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขไปใช้ในการรักษารากฟันเทียม ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความสำคัญ ในกรณีปกติต้องอาศัยศัลยกรรมที่มีมาตรฐาน แต่ในกรณีพิเศษที่มีผู้ป่วยบางรายมีรากฟันเทียมที่สอดคล้องกับผู้ป่วยรายอื่น สามารถใช้ประโยชน์จากงานวิจัยนี้ได้ โดยงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการใหม่ในการออกแบบและผลิตรากฟันเทียม โดยใช้การผ่าตัดจริงเป็นตัวอย่าง การออกแบบรายละเอียดทางด้านเทคนิคที่นำเสนอประกอบด้วย 2 อัลกอริทึม คือ อัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการแบ่งส่วนวัตถุ และการจัดระเบียบตาข่ายเป็นรูปสามเหลี่ยม ผลการศึกษาพบว่า สามารถอำนวยความสะดวกในการทำงานระหว่างศัลยแพทย์และวิศวกรเพื่อลดอุบัติเหตุในการผ่าตัด ลดระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบรากฟันเทียม (Xiao-feng and Cheng-tao, 2006) และมีการพัฒนาเทคนิคใหม่สำหรับการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์เพื่อวิเคราะห์ไบโหน้ามนุษย์ใช้สำหรับการวินิจฉัยทางการแพทย์ เป้าหมายเพื่อสำรวจรูปแบบคุณสมบัติของไบหน้า เพื่อใช้ในการวินิจฉัยภาวะกลุ่มอาการความผิดปกติแต่กำเนิดซึ่งเกิดจากการที่มารดาดื่มสุราขณะตั้งครรภ์วิธีการที่ใช้ คือ ใช้การเทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขและเทคนิคการรู้จำ โดยรับข้อมูลจากเลเซอร์สแกนเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติไบหน้าสำหรับพยากรณ์การเกิดภาวะความผิดปกติแต่กำเนิดซึ่งเกิดจากการที่มารดาดื่มสุราขณะตั้งครรภ์ เทคนิคที่พัฒนาทดสอบใช้งานกับผู้ป่วยจริงภายในและภายนอกประเทศสหรัฐอเมริกา ความถูกต้องเท่ากับ 89.23% (Fang, Huang, and Tuceryan, 2006)

**2.5.2.3 การประยุกต์ใช้ด้านอุตสาหกรรม** มีการใช้เทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการออกแบบ เจียนแบบ การผลิต การสร้างแบบจำลอง มีการนำเสนอเทคนิคที่ใช้สำหรับการออกแบบ โดยใช้เทคนิคการประมาณค่าแบบบี-สไปน์ (B-Spline) สร้างโมเดลสำหรับเป็นต้นแบบในการผลิตชิ้นงาน วิธีการดังกล่าวทำให้ขนาดของข้อมูลน้อยกว่าโมเดลที่สร้างจากพื้นผิวแบบตาข่ายสามเหลี่ยมแบบปกติ วิธีนี้จึงทำให้การออกแบบมีความสะดวกและคล่องตัวมากขึ้น (Pottmann, Leopoldseder, Hofer, Steiner, and Wang, 2005)

**2.5.2.4 การประยุกต์ใช้ด้านสถาปัตยกรรม** เทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขถูกนำมาใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรม โดยใช้แนวคิดของตาข่ายแบบกุ่มงนานเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ สำหรับการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบและก่อสร้างของโครงสร้างสถาปัตยกรรมแบบอิสระ ทำให้สามารถทำการปรับรูปแบบคานให้มีความเหมาะสม โดยใช้ตาข่ายห้าเหลี่ยมและหกเหลี่ยมวิธีการนี้สามารถออกแบบรูปทรงที่เหมาะสมทางเรขาคณิตและวิธีการที่จะหารูปแบบที่มีความสอดคล้องกับคานสำหรับรูปร่างที่มีอยู่ (Pottmann, Brel-Cokcan, and Wallner, 2006) นอกจากนี้มีการใช้เทคนิคริแมชชิงในการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในชุมชน และใช้เป็นต้นแบบในการก่อสร้าง ใช้ในการออกแบบการทำงานสำหรับการเทคอนกรีต ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่ยากของการคำนวณ ช่วยให้ประหยัดต้นทุนการก่อสร้าง เพราะสามารถออกแบบชิ้นส่วนทั้งหมดได้โดยไม่มีความซ้ำซ้อนและสามารถปรับแต่งได้ (Cutler and Whiting, 2007)

**2.5.2.5 การประยุกต์ใช้ด้านการวิเคราะห์ภูมิประเทศ** มีการนำการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขไปใช้ในการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ วิธีการที่นำเสนอใช้การแบ่งพื้นผิวของโพลีกอนออกเป็นพื้นผิวย่อย ๆ (Subdivision) โดยการคำนวณเพื่อเพิ่มจำนวนโพลีกอนทำให้โพลีกอนดูเรียบเนียนขึ้น ข้อดีของอัลกอริทึมนี้คือ สามารถใช้งานได้โดยตรงหลังจากขั้นตอนการแบ่งพื้นผิวของโพลีกอนออกเป็นพื้นผิวย่อย ๆ ผลลัพธ์ที่ได้มีความเรียบเนียนสอดคล้องกับความเป็นจริงที่ได้จากการตรวจวัด เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับแอปพลิเคชันเพื่อนำไปใช้งาน แต่ไม่รับประกันความเรียบเนียนในทุกกรณี (Pfeifer, 2005) มีการนำเทคนิคการแบ่งพื้นผิวของโพลีกอนออกเป็นพื้นผิวย่อย ๆ ร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) และเกาส์เซียน เพื่อสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้น นอกจากนี้มีการใช้เทคนิคริแมชชิงในการลดจำนวนสามเหลี่ยมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ อัลกอริทึมนี้ทำให้สามารถประหยัดทรัพยากรที่ใช้ในการเรนเดอร์แบบจำลองได้ถึง 5% นอกจากนี้ยังลดพื้นที่ของหน่วยความจำที่ใช้ในการจัดเก็บทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้น (Cifuentes, Venere, and Clausse, 2010) อีกทั้งมีการใช้อัลกอริทึมเอาท์ออฟคอร์ (Out-of-Core) ในการแสดงผลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ เพื่อเป็น

การปรับแต่งมุมมองของตาข่ายให้สามารถจำลองความสูงของภูมิประเทศได้โดยมีการใช้หน่วยความจำน้อยลง และใช้ระยะเวลาในการแสดงผลที่เร็วมากขึ้นกว่าวิธีการเดิม (Lindstrom and Pascucci, 2002)

นอกจากนี้มีการนำเสนอการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศโดยเน้นความเรียบง่ายของแบบจำลองและให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ความผิดพลาดของแบบจำลองที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่างภูมิประเทศ โดยใช้เทคนิคซิมพลิเคชันในการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศที่เน้นความเรียบง่าย ทำให้การสร้างใช้จำนวนสามเหลี่ยมน้อยลง เวลาที่ใช้ในการประมวลผลลดลง แต่ยังคงความถูกต้องของแบบจำลองไว้ได้ (Butkiewicz, Chang, Wartell, and Ribarsky, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับการนำเสนอวิธีการแสดงผลข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ใช้วิธีซิมพลิเคชันร่วมกับเอชทีเอ็มแอลไฟว์ (HTML5) ด้วยการเรียกใช้งานเทคโนโลยีเว็บจีแอล (Web Graphic Library: WebGL) ที่เชื่อมโยงการติดต่อระหว่างหน่วยประมวลผลกราฟิกและเว็บเบราว์เซอร์ ผลการศึกษาพบว่าสามารถแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้อย่างรวดเร็ว และใช้ทรัพยากรหรือหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์น้อยกว่าเดิม (Cellier, Gandoin, Chaine, Barbier-Accary, and Akkouche, 2012) นอกจากนี้มีการนำเสนอวิธีการสร้างและแสดงผลแบบจำลองภูมิประเทศโดยใช้เทคนิคตาข่ายสามเหลี่ยมและการแสดงผลหลายความละเอียด ผลการศึกษา พบว่า วิธีนี้สามารถนำมาใช้ในการสร้างและแสดงผลแบบจำลองภูมิประเทศได้อย่างมีคุณภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในซอฟต์แวร์ทางด้านภูมิสารสนเทศ เพื่อลดหน่วยความจำหรือเวลาในการประมวลผล (Yalçin, Weiss, and De Floriani, 2011)

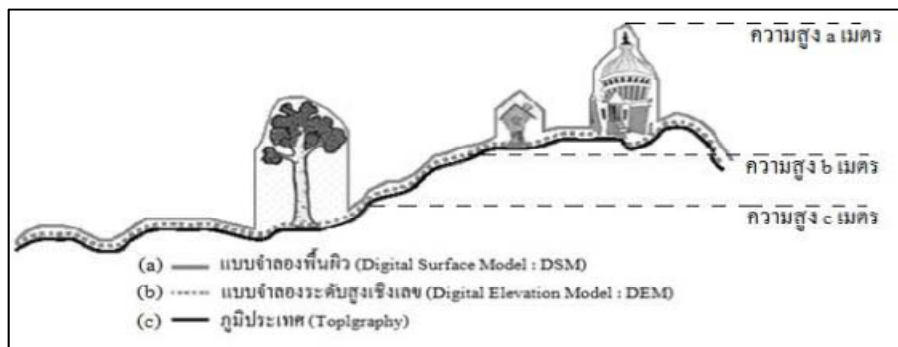
การนำการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อจำลองการไหลของน้ำ มีการนำเสนอการจำลองการไหลของน้ำผิวดินผ่านแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข โดยใช้เทคนิคตาข่ายและการประมาณค่าเชิงเส้นเป็นช่วงในการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข และใช้หลักการของวิธีอโตมาตาแบบแก๊สแลตทิซเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับสร้างพลวัตให้กับอนุภาคของไหลภายใต้การเคลื่อนที่แบบกริดในการจำลองการไหลของน้ำ โดยมีปัจจัยนำเข้า คือ ปริมาณน้ำฝน สามารถจำลองการไหลของน้ำได้อย่างถูกต้อง (Barcellos, Giralardi, Silva, Apolinario, and Rodrigues, 2007) และยังนำเสนอเทคนิคดังกล่าวสำหรับจำลองการไหลของน้ำโดยเพิ่มการจำลองโดยใช้ความละเอียดหลายระดับ ทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลลดลง แต่ยังสามารถจำลองการไหลของน้ำได้อย่างถูกต้อง (Barcellos, Giralardi, Apolinario, and Rodrigues, 2008) แต่มีงานวิจัยที่ระบุว่าการใช้วิธีอโตมาตาแบบแก๊สแลตทิซในการวิเคราะห์การไหลของน้ำได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องและนำเสนออัลกอริทึมที่ใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำโดยใช้ตาข่ายสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นด้วยวิธีดีลอนเนย์ในการวิเคราะห์เส้นทางการไหลของน้ำผลการศึกษา พบว่า สามารถจำลองเส้นทางการไหลได้ถูกต้อง (Bänninger, 2007) นอกจากนี้มีการนำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์เส้นทางการ

ไหลของน้ำผิวดินโดยใช้ตาข่ายสามเหลี่ยมแบบไม่มีโครงสร้างกับพื้นที่ภูมิประเทศที่มีความซับซ้อน โดยเน้นประสิทธิภาพของแบบจำลองและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลน้อยที่สุด โดยนำเสนอการวิเคราะห์ 2 รูปแบบ ได้แก่ การพิจารณาโดยใช้ความลาดชันของพื้นดิน และการพิจารณาตาข่ายสามเหลี่ยมและการเพิ่มจุด ผลการศึกษา พบว่า วิธีการที่สองให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าทั้งในด้านความเร็วและความถูกต้อง (Mulet-Marti, Underhill, Gutierrez- Andres, and Woolhouse, 2009)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่าการนำเทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขไปใช้ในการสร้าง แสดงผล ปรับปรุงคุณภาพ และวิเคราะห์แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ สำหรับงานวิจัยนี้ นำเทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขมาใช้ในการสกัดข้อมูลแอททริบิวต์ภูมิประเทศร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์ภูมิประเทศ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางไหลของน้ำ และใช้ในการแสดงผลการจำลองการเกิดอุทกภัยร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ นอกจากนี้ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการแสดงผลให้มีความเร็วมากขึ้น และประหยัดทรัพยากรหรือหน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลแบบจำลองอีกด้วย

## 2.6 การวิเคราะห์ภูมิประเทศ

การสร้างแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศและการประมวลผล สามารถสร้างได้หลายวิธี เช่น การสำรวจระยะไกล การสำรวจจากดาวเทียม การสำรวจภาคสนาม เป็นต้น ซึ่งสามารถวัดค่าความสูงตามลักษณะพื้นผิวโลกได้หลายลักษณะ เช่น แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขเป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงพื้นผิวและวัตถุที่ปรากฏบนพื้นโลก รวมถึงความสูงของต้นไม้และสิ่งปลูกสร้าง แบบจำลองความสูงเชิงเลขเป็นแบบจำลองเชิงเลขที่ใช้แสดงเฉพาะลักษณะสูงต่ำของพื้นผิวโลกด้านสัตฐานวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 2.2



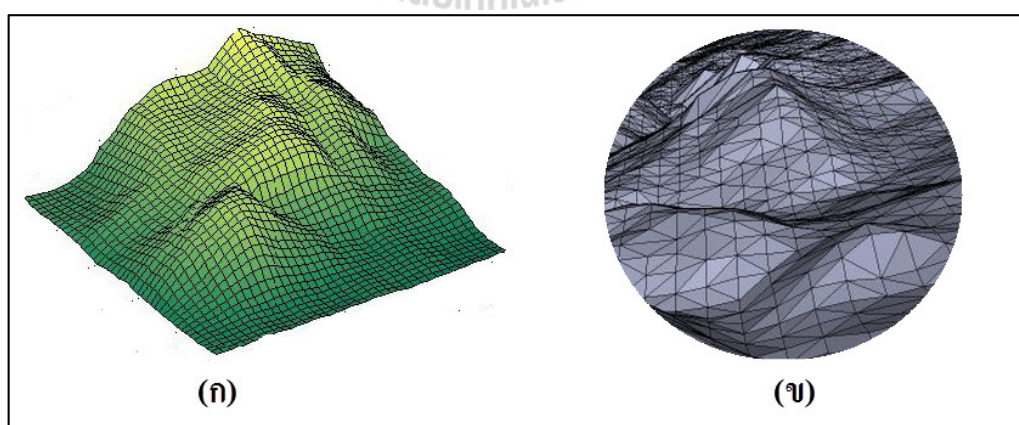
รูปที่ 2.2 ลักษณะการวัดพื้นผิว

(ที่มา : สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

## 2.6.1 รูปแบบแบบจำลองความสูงเชิงเลข

**2.6.1.1 แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM)** เป็นข้อมูลแบบจำลองสำหรับแสดงค่าความสูงของภูมิประเทศบนผิวโลกที่ได้จากการกระบวนการรังวัดความสูงหรือจุดระดับความสูงของภูมิประเทศ (กองภูมิสารสนเทศ, 2554) การอ่านค่าข้อมูลความสูงจากภาพถ่ายทางอากาศแบบสเตอริโอด้วยเครื่องวาดสเตอริโอเชิงวิเคราะห์หรือการสร้างเมทริกซ์ระดับความสูงโดยวิธีการประมาณค่า (Interpolation) และจัดเก็บในรูปแบบข้อมูลตารางกริดหรือเมทริกซ์ระดับความสูง โดยแต่ละตารางกริดจัดเก็บค่าพิกัดบนผิวโลกที่มีการกระจายข้อมูลจุดอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.3 (ก) ลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอที่ต่อเนื่องกันเนื่องจากรูปสามเหลี่ยมเป็นรูปเรขาคณิตพื้นฐานในการสร้างภาพกราฟิกโดยทั่วไป (Larrión, Neumann-Lara, and Pizaña, 2002) สามารถแทนระนาบของพื้นผิวได้อย่างสมบูรณ์ มีด้านและจุดมุมที่ใช้ร่วมกันทำให้สามารถคำนวณค่าตัวแปรในสามมิติได้โดยง่าย และสามารถนำไปใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบแรสเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่และสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยระบบคอมพิวเตอร์ได้อย่างสะดวก

**2.6.1.2 แบบจำลองความสูงชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ (Triangulated Irregular Network: TIN)** เป็นแบบจำลองที่มีข้อมูลพื้นผิวแบบโครงข่ายเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยชุดรูปสามเหลี่ยมหลายรูป มีด้านประชิดกันและใช้จุดยอดร่วมกันเรียงต่อเนื่องกันไป มีการจัดเก็บค่าความสูงของจุดยอดสามเหลี่ยมจะกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.3 (ข) โดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างของค่าความสูงมากจะมีจุดอยู่ใกล้กัน แต่พื้นที่ที่มีค่าความสูงไม่แตกต่างกัน จะมีจุดอยู่ห่างกัน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแบบจำลองความสูง 2 ประเภท

(ที่มา : สำนักพัฒนาเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ฯ, 2553)

**2.6.1.3 แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM)** เป็นแบบจำลองซึ่งแสดงค่าความสูงบนพื้นผิวที่ปกคลุมพื้นผิวภูมิประเทศที่แท้จริง ซึ่งรวมค่าระดับความสูงของเรือนยอดของต้นไม้ หรือค่าระดับความสูงบนหลังคาบ้าน โดยกระบวนการรังวัดความสูงใช้วิธีการวัดจากอากาศยาน ทำให้ไม่สามารถแสดงพื้นผิวดินที่แท้จริงได้ ข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขนิยมนำมาใช้เพื่อจำแนกอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง (Bredif et al., 2013; Li et al., 2008) รวมถึงมีการนำมาใช้ในงานทางด้านอุทกวิทยา เช่น วิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่ที่เกิดอุทกภัย (Yorozuya et al., 2013; Leventi et al., 2010) หรือหาบริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำ (Song, et al., 2007) อย่างไรก็ตามแบบจำลองประเภทนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำโดยตรง เพราะค่าความสูงดังกล่าวไม่ใช่ค่าความสูงภูมิประเทศที่แท้จริง

**2.6.2 แอททริบิวต์ภูมิประเทศ (Terrain Attributes)** เนื่องจากพื้นที่ผิวของโลกมีลักษณะขรุขระไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากการผุพังทับถมหรือการกัดกร่อนตามธรรมชาติ ดังนั้นการอธิบายสภาพภูมิประเทศที่มีความสูงต่ำแตกต่างกันจึงต้องอาศัยหลักการทางด้านภูมิศาสตร์และคณิตศาสตร์ ซึ่งกระบวนการสร้างตัวแทนของสภาพภูมิประเทศได้หลายรูปแบบด้วยกัน ดังต่อไปนี้

**2.6.2.1 ความชัน (Slope)** เป็นการอธิบายสภาพพื้นผิวภูมิประเทศของพื้นที่ใด ๆ โดยอาศัยการเอียงของพื้นผิวซึ่งทำมุมกับแนวระนาบของพื้นโลก (Wilson and Gallant, 2000, p. 53) โดยมีหลักการเบื้องต้น ได้แก่ ค่าความลาดชันของแต่ละจุดภาพสามารถปรับค่าเป็นช่วงระหว่าง 0 ถึง 255 ได้ การบอกขนาดของความลาดชันสามารถกำหนดหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์หรือองศาได้

**2.6.2.2 ทิศด้านลาด (Aspect)** เป็นการบอกทิศทางของความลาดชันว่าหันไปทางทิศใด โดยคำนวณทิศทางของความชันตามเข็มนาฬิกา วัดทิศทางเป็นมุม (Wilson and Gallant, 2000, p. 54) โดยกำหนดให้มุม 0 องศาอยู่ทางทิศเหนือ ตัวอย่างการวิเคราะห์ เช่น พื้นที่ลาดชันที่หันไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้จะรับแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันทำให้พื้นที่มีความแห้งแล้งกว่าพื้นที่ในทิศด้านลาดอื่น ๆ

**2.6.2.3 ความโค้งของพื้นผิวภูมิประเทศ (Curvature)** เป็นการหาอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงทิศทางและรูปร่างของความลาดชันตามแนวตั้งและแนวราบ (Wilson and Gallant, 2000, p. 56) ซึ่งค่านี้มีความสำคัญต่ออัตราไหลของน้ำและกระบวนการเคลื่อนย้ายของตะกอน ข้อมูลลักษณะความโค้งนูนของพื้นผิวภูมิประเทศนี้วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข ถ้าค่าของข้อมูลที่ได้ที่มีค่าเป็นบวกแสดงถึงความโค้งนูน (Convex) ส่วนค่าลบแสดงถึงความโค้งเว้า (Concave) ของภูมิประเทศ และหากค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าภูมิประเทศเป็นที่ราบ (Flat)

**2.6.2.4 ทิศทางการไหล (Flow Direction)** เป็นการหาทิศทางการไหลของน้ำจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยรอบทิศทาง (Wilson and Gallant, 2000, p. 61) โดยแต่ละพิกเซลจะเชื่อมต่อกับอีกพิกเซล ซึ่งเป็นตำแหน่งใกล้เคียงที่ต่ำสุด

**2.6.2.5 การไหลสะสม (Flow Accumulation)** เป็นการวิเคราะห์ต่อเนื่องจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่มีทิศทางการไหลจากจุดรับน้ำไปยังเซลล์ที่ต่ำสุดในพื้นที่โดยรอบทุกทิศทาง (Florinsky, 2011, p. 13) โดยคิดการส่งต่อค่าหน่วยของน้ำไปยังจุดหรือเซลล์ถัดไป ซึ่งสามารถนับค่าผลรวมที่เซลล์ตนเองโดยบวกค่าสะสมที่นับมาจากจุดอื่นข้างเคียงที่ส่งค่าสะสมมายังจุดหรือเซลล์รับน้ำจุดที่คำนวณ ผลลัพธ์จุดสุดท้ายที่มีค่าสูงที่สุดคือจุดระบายน้ำออก

### 2.6.3 เทคนิคการวิเคราะห์ทิศทางและเส้นทางการไหล (Flow Routing Techniques)

เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหล แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์การไหลแบบทิศทางเดียว และการวิเคราะห์แบบหลายทิศทาง เช่น D8 MD8 DEMON D $\infty$  MD $\infty$  เป็นต้น (Fairfield and Pierre, 1991; Costa-Cabral and Burges, 1994; Bartak, 2009) จากการศึกษพบว่า อัลกอริทึมที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

**2.6.3.1 D8** เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด เพราะเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด และสามารถใช้ในการจำลองการไหลของน้ำและวิเคราะห์ทิศทางการไหล แต่ใช้ได้เฉพาะการวิเคราะห์การไหลแบบทิศทางเดียว และนิยมนำไปใช้กับพื้นที่ขนาดเล็ก โดยในการวิเคราะห์การไหลวิเคราะห์จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยพิจารณาจุดโดยรอบ 8 ทิศทาง ปริมาณความลาดชันสูงสุดเกิดขึ้นในทิศทางไหนกำหนดทิศทางนั้นเป็นทิศทางการไหล (O'Callaghan, John, and David, 1984) แสดงตัวอย่างการคำนวณทิศทางการไหลในรูปที่ 2.4 (ก)

**2.6.3.2 MD8** เป็นวิธีการวิเคราะห์การไหลแบบหลายทิศทาง สามารถแก้ไขข้อจำกัดของวิธี D8 ที่ไม่สามารถวิเคราะห์หลายทิศทางได้เช่นเดียวกัน โดยใช้การคำนวณพื้นที่สะสมของเซลล์ทั้ง 8 เซลล์ โดยกำหนดว่าน้ำที่อยู่ ณ เซลล์ที่กำลังคำนวณจะไหลไปยังเซลล์ใกล้เคียงทุก ๆ เซลล์ที่มีพื้นที่ต่ำกว่า และจะนำพื้นที่ทั้งหมดของเซลล์ที่กำลังคำนวณมาแบ่งเป็นส่วน ๆ เพื่อนำไปบวกเป็นค่าพื้นที่สะสมของเซลล์ใกล้เคียง สัดส่วนในการแบ่งพื้นที่จะแตกต่างกันไปตามค่าความแตกต่างของความสูงระหว่างเซลล์ที่กำลังคำนวณกับเซลล์ใกล้เคียง ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการกำหนดสัดส่วนการแบ่งพื้นที่ คือ ความลาดชัน และระยะทางของการไหล (Quinn, Beven, Chevallier, and Planchon, 1991) แสดงตัวอย่างการคำนวณทิศทางการไหลในรูปที่ 2.4 (ข)

100	102	102
101	100	99
100	96	97

(ก)

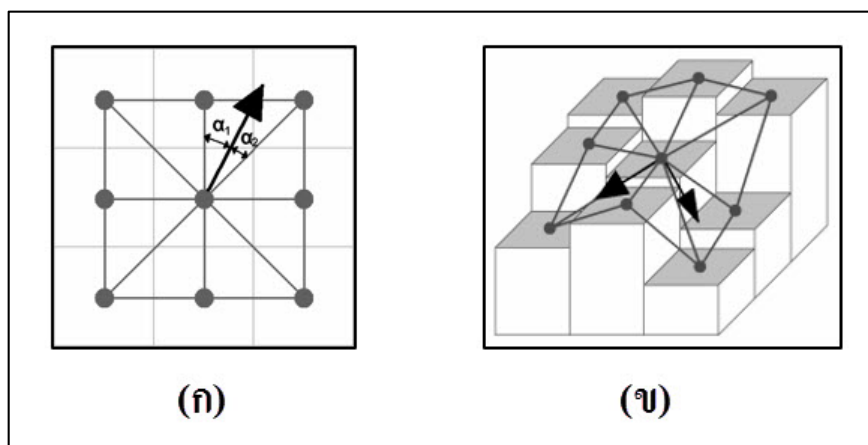
100	102	102
101	100	99
100	96	97

(ข)

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลโดยใช้อัลกอริทึม D8 และ MD8

**2.6.3.3  $D^\infty$**  เป็นวิธีการวิเคราะห์การไหลแบบหลายทิศทาง ซึ่งได้แนวคิดมาจากเทคนิค DEMON ในการกำหนดทิศทางกรไหลหลายทิศทางไปยังเซลล์ที่ถูกเลือก การวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของน้ำของวิธีการนี้ เลือกทิศทางของความลาดชันในช่วง 0 องศา ถึง 360 องศา โดยสร้างสามเหลี่ยม 8 รูป ซึ่งมีเวอร์เท็กซ์อยู่ตรงกึ่งกลางระหว่าง 2 เซลล์ ต่อจากนั้นระบุความลาดชันที่สูงสุด (Tarboton, 1997) แสดงตัวอย่างทิศทางกรไหลในรูปที่ 2.5 (ก)

**2.6.3.4  $MD^\infty$**  เป็นวิธีการวิเคราะห์การไหลแบบหลายทิศทาง คำนวณทิศทางกรไหล โดยพิจารณาเส้นทางของความลาดชันในแนวระนาบ ระหว่างเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียง โดยทิศทางกรไหลที่ได้จากการวิเคราะห์จะไม่เลือกทิศทางที่มีความสูงต่ำที่สุดจากพื้นที่โดยรอบทั้ง 8 ทิศทาง แต่พิจารณาเลือกเซลล์ที่ต่ำรองลงมาจากเซลล์ที่ต่ำที่สุด (Seibert and McGlynn, 2007) แสดงตัวอย่างทิศทางกรไหลในรูปที่ 2.5 (ข)



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลโดยใช้อัลกอริทึม  $D^\infty$  และ  $MD^\infty$



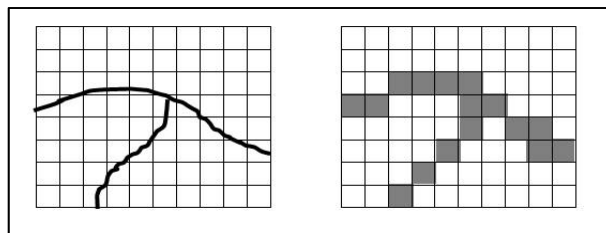
**2.6.3.5 DEMON** เป็นวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลแบบหลายทิศทาง โดยในการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลเส้นชั้นความสูง (Contour Line) ทำให้การทำงานค่อนข้างมีความซับซ้อนและยากในการนำไปใช้ (Costa-Cabral and Burges, 1994) จึงไม่ค่อยมีการนำไปใช้แต่ให้ผลลัพธ์ของทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับความเป็นจริงในกรณีที่ดินที่ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนพื้นที่ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบให้ผลลัพธ์ที่ไม่ค่อยดีนัก

**2.6.3.6 TFN (Triangular Facet Network)** เป็นวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลแบบทิศทางเดียว ในการวิเคราะห์ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองระดับชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอและวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำโดยใช้เทคนิค D8 ร่วมกับการสร้างแบบจำลองระดับชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอหลายความละเอียด (Zhou, Pilesjö, and Chen, 2011)

**2.6.3.7 TFM (Triangular Form-Based Multiple Flow Algorithm)** เป็นวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลแบบหลายทิศทาง ซึ่งในการวิเคราะห์ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองระดับชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ ข้อดี คือ วิธีการวิเคราะห์ไม่ซับซ้อน ง่ายในการนำไปใช้งาน โดยปรับปรุงมาจากเทคนิค TFN ซึ่งเป็นกรไหลแบบทิศทางเดียว (Pilesjö and Hasan, 2013)

อย่างไรก็ตามเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำโดยอาศัยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขเพียงอย่างเดียว ยังไม่มีวิธีการใดที่นำภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขมาใช้ร่วมกับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขในกระบวนการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ

**2.6.4 สตรีมเบิร์นนิ่ง (Stream burning)** เป็นเทคนิคที่ใช้เข้ามาช่วยเสริมในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำและการแบ่งขอบเขตลุ่มน้ำ โดยการปรับแก้ค่าระดับของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ด้วยข้อมูลเวกเตอร์ประเภทเส้น ของแม่น้ำมาซ้อนทับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข แล้วดำเนินการเปลี่ยนค่าระดับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขใหม่ตามแนวเส้นทางน้ำ (Maidment, 1996) แสดงตัวอย่างการใช้งานเทคนิคสตรีมเบิร์นนิ่งดังรูปที่ 2.6 โดยภาพด้านซ้ายมือเป็นข้อมูลเวกเตอร์ประเภทเส้นของเส้นทางน้ำ ส่วนภาพด้านขวามือเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการทำสตรีมเบิร์นนิ่ง โดยข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ความถูกต้องขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ ความถูกต้องของเวกเตอร์แมพ นอกจากนี้การใช้เทคนิคนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูล DEM อย่างถาวรทำให้มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์หาค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน (Slope) และอาจนำไปสู่ค่าความสูงที่ไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง (Kenny and Bryce 2005; Turcotte, Fortin, Rousseau, Mas-sicotte, and Villeneuve, 2001)

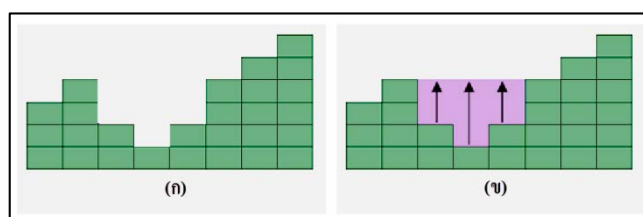


รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการใช้เทคนิคสตริมเบิร์นนิ่ง

### 2.6.5 การวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเอ่อ (Water Overflow Direction Analysis)

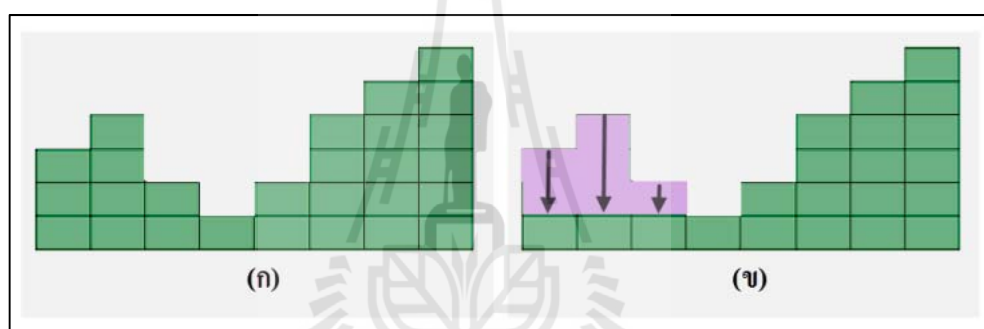
ปัญหาของการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำกรณีน้ำเอ่อคือ บริเวณนั้น ๆ ไม่สามารถหาทิศทางการไหลไปยังพื้นที่รอบข้างได้ เพราะไม่มีบริเวณที่มีค่าความสูงต่ำกว่าพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำกรณีน้ำเอ่อที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ใช้วิธีการปรับค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขก่อนกระบวนการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพื่อให้ทิศทางที่ได้รองรับกรณีน้ำเอ่อ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

**2.6.5.1 วิธีการเพิ่มค่าความสูง (Increment Method)** วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายและนิยมใช้มากที่สุด (Wang and Liu, 2006; Grimaldi, Nardi, Di Benedetto, Istanbuluoglu, and Bras, 2007; Santini, Grimaldi, Nardi, Petroselli, and Rulli, 2009; Arnold, 2010; Sami, Mohsen, Afef, and Fouad, 2013) ซึ่งคิดค้นโดยเจนสัน และโดมิงิว (Jenson and Domingue, 1988) โดยมีหลักการทำงาน คือ การเพิ่มค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขของบริเวณที่เกิดปัญหาซึ่งไม่สามารถคำนวณหาทิศทางการไหลได้ โดยในการเพิ่มค่าความสูงพิจารณาค่าความสูงของบริเวณรอบข้างและเพิ่มค่าจนกระทั่งสามารถคำนวณทิศทางไหลได้จากรูปที่ 2.7 (ก) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ (ก) เป็นบริเวณที่ไม่สามารถระบุทิศทางการไหลได้ ดังนั้นจึงแก้ปัญหาโดยการเพิ่มค่าความสูงของบริเวณดังกล่าวให้เท่ากับบริเวณรอบข้างจนกระทั่งสามารถระบุทิศทางการไหลได้ ดังรูปที่ 2.7 (ข) จากการศึกษาและวิเคราะห์ พบว่า ข้อควรระวังของวิธีการนี้ คือ เมื่อนำไปใช้กับพื้นที่ราบ (Flat Area) อาจส่งผลให้เกิดบริเวณที่เป็นพื้นที่ราบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างวิธีการเพิ่มค่าความสูงเพื่อรองรับกรณีน้ำเอ่อ

**2.6.5.2 วิธีการลดค่าความสูง (Decrement Method)** วิธีการนี้แก้ปัญหาโดยการลดค่าความสูง (Soille, Vogt, and Colombo, 2003) เพื่อให้สามารถระบุทิศทางการไหลไปยังพื้นที่รอบข้างได้ โดยข้อดีของวิธีการนี้คือ ไม่ส่งผลให้เกิดบริเวณพื้นที่ราบเพิ่มขึ้น โดยหลักการทำงานของวิธีการนี้คือ ลดค่าความสูงกรณีที่บริเวณดังกล่าวซึ่งไม่สามารถระบุทิศทางการไหลไปยังบริเวณพื้นที่รอบข้างได้ โดยพิจารณาลดค่าความสูง แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.8 (ก) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ (ก) เป็นบริเวณที่ไม่สามารถระบุทิศทางการไหลได้ จึงแก้ปัญหาโดยการลดค่าความสูงของบริเวณที่เกิดปัญหาและบริเวณรอบข้าง จนกระทั่งสามารถระบุทิศทางการไหลได้ ดังรูปที่ 2.8 (ข) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังไม่ได้รับความนิยมเท่ากับวิธีการเพิ่มค่าความสูง เนื่องจากวิธีการลดค่าความสูงไม่ได้ลดค่าความสูงเฉพาะบริเวณพื้นที่ซึ่งเกิดปัญหา แต่ยังส่งผลกระทบต่อบริเวณพื้นที่รอบข้างด้วย ทำให้ส่งผลกระทบต่อค่าความสูงที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างวิธีการลดค่าความสูงเพื่อรองรับกรณีนี้

### 2.6.6 การวิเคราะห์ลักษณะการไหล (Feature Flow Analysis)

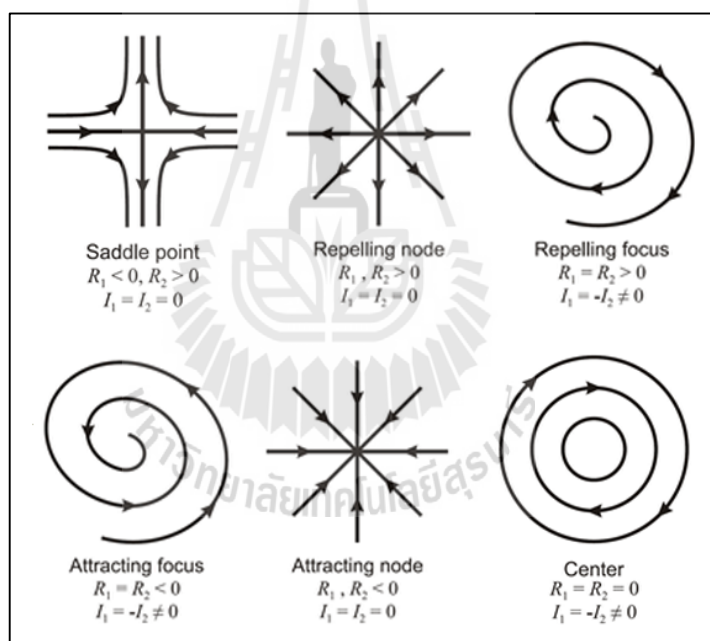
งานวิจัยนี้นำเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะการไหลมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของทิศทางการไหล เพื่อให้สามารถพิจารณาได้ว่าลักษณะของทิศทางการไหลดังกล่าวเป็นลักษณะใด เช่น ทิศทางการไหลจากกริดรอบ ๆ มายังกริดนั้น ทิศทางการไหลจะมีลักษณะเป็นแหล่งสะสม (Sink) ในทางกลับกันถ้าทิศทางการไหลจากกริดรอบ ๆ ไปยังทิศทางตรงข้ามกริดที่กำลังพิจารณา ทิศทางการไหลจะมีลักษณะเป็นแหล่งสร้าง (Source) ในกระบวนการวิเคราะห์ประกอบด้วย จุดวิกฤต (Critical Points) เป็นจุดที่ขนาดของเวกเตอร์หายไปหรือความชันของเส้นที่มาสัมผัสเป็นศูนย์ (Helman and Hesselink, 1989) สามารถจำแนกโดยใช้ค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalues) ของจาโคเบียนเมทริกซ์ของสนามเวกเตอร์ โดยแทนด้วย  $J$  จะได้ว่า

$$\frac{\partial(u,v)}{\partial(x,y)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix} = \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.16)$$

ค่าลักษณะเฉพาะในส่วนที่เป็นจำนวนจริง (Real Part:  $R$ ) เป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะว่าการไหลดังกล่าวเป็นแบบแรงดึงดูด (Attracting) หรือเป็นแบบแรงผลัก (Repelling) ส่วนจำนวนที่เป็นจินตภาพ (Imagery Part:  $I$ ) เป็นตัวบ่งบอกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของการไหลเป็นวงรอบ การพิจารณาทั้งสองส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

- $R > 0$  เป็นแบบแรงผลัก (รูปที่ 2.9)
- $R < 0$  เป็นแบบแรงดึงดูด (รูปที่ 2.9)
- $I \neq 0$  พฤติกรรมของการไหลจะเป็นแบบวน (รูปที่ 2.9)
- $R > 0$  และ  $R < 0$  เป็นแบบอานม้า (รูปที่ 2.9)

นอกจากนี้ถ้าค่าลักษณะเฉพาะในส่วนที่เป็นจำนวนจริงเป็นบวกการไหลที่ได้เป็นลักษณะไหลออก (Outflow) แต่ถ้าเป็นลบจะเป็นลักษณะไหลเข้า (Inflow)



รูปที่ 2.9 ลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ

งานวิจัยนี้นำเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะการไหลมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของทิศทางการไหลจากข้อมูลทิศทางการไหลที่ได้สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง ทำให้ทราบว่า ณ จุดนั้น ๆ เป็นการไหลลักษณะใด หรือลักษณะพื้นที่บริเวณนั้นเป็นแบบใด เช่น ถ้าในทิศทางการไหลที่ได้สร้างขึ้น มีจุดที่เวกเตอร์พุ่งเข้ามามากแสดงว่าจุดนั้นมีไดเวอร์เจนซ์เป็นลบ พื้นที่นั้นหรือจุดนั้นจะเป็นแหล่งสะสมน้ำหรือแอ่งน้ำ

### 2.6.7 งานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการวิเคราะห์ภูมิประเทศ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้าน การวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศ สามารถสรุปออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ การวิเคราะห์ภูมิประเทศทั่วไป และเฉพาะด้านการวิเคราะห์การไหลและหาขอบเขตลุ่มน้ำ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

**2.6.7.1 งานวิจัยทางด้าน การวิเคราะห์ภูมิประเทศทั่วไป** จากการศึกษา พบว่ามีการศึกษาด้านการวิเคราะห์ภูมิประเทศโดยใช้ข้อมูลความสูงเชิงเลขมาใช้ในการวิเคราะห์ความลาดชัน ทิศด้านลาด ความโค้งของพื้นผิวภูมิประเทศ และแอททริบิวต์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับการวิเคราะห์การชะล้างพังทลายของดิน ผลการศึกษาพบว่าสามารถนำแอททริบิวต์ดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์การชะล้างพังทลายของดินได้อย่างถูกต้อง (Bruno, 2005) การใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป เช่น อาร์คจีไอเอส ไอแอลวิส ควันตัม กราส ในการวิเคราะห์แอททริบิวต์ที่เกี่ยวข้องกับภูมิประเทศ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น อัคคีภัย อุทกภัย ดินถล่ม เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่าสามารถวิเคราะห์เพื่อหาแอททริบิวต์ต่าง ๆ ได้ แต่ข้อจำกัด คือ ซอฟต์แวร์แต่ละตัวจะมีวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่ซอฟต์แวร์เหล่านั้นเลือกใช้ ไม่สามารถเลือกใช้อัลกอริทึมอื่นหรือไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับความต้องการใช้งานในระดับสูง (Toma, Wickremesinghe, Arge, Chase, Vitter, Halpin, and Urban, 2001; Isioye, Enebeli, Alademomi, and Akomolafe, 2012)

**2.6.7.2 งานวิจัยทางด้าน การวิเคราะห์ภูมิประเทศซึ่งเน้นในด้านการวิเคราะห์การไหลและหาขอบเขตลุ่มน้ำ** จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีการนำไปประยุกต์ใช้โดยวัตถุประสงค์ที่ศึกษา ได้แก่ เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการไหล เปรียบเทียบเทคนิค เปรียบเทียบการเลือกใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยใช้ความละเอียดหลายระดับ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของซอฟต์แวร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความเร็วในการประมวลผลของแต่ละเทคนิค และสามารถสรุปผลลัพธ์ของการศึกษาดังกล่าว ดังนี้ ประเด็นแรก คือ เทคนิค D8 มีการนำไปใช้งานมากที่สุด ทั้งในส่วนของการซอฟต์แวร์สำเร็จรูป เช่น อาร์คจีไอเอส ควันตัม กราส ไอแอลวิส เป็นต้น และการนำไปพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ ประเด็นที่ 2 การใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขความละเอียดหลายระดับส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกัน ความละเอียดสูงจะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่าแต่ข้อเสียคือ ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลนาน (Toma et al., 2001; Al-Muqdadadi and Merkel, 2011; Metz, Mitasova, and Harmon, 2011) ประเด็นที่ 3 การใช้เทคนิคสตรีมเบิร์นนิ่งร่วมกับเทคนิคในการวิเคราะห์ทำให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องและสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น และจากงานวิจัยดังกล่าวสามารถสรุปข้อดีข้อเสียได้ดังต่อไปนี้

มีการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิค D8 และ D $\infty$  พบว่า D $\infty$  ให้ผลลัพธ์ในการหาทิศทาง การไหลที่มีความราบเรียบ (Smooth) มากกว่าเทคนิค D8 (Tarboton, 2003; Al-Muqdadadi and

Merkel, 2011) โดยผลลัพธ์ไม่มีเซลล์ที่มีความขัดแย้งภายในกริดที่เป็นทิศทางการไหล และข้อเสียของเทคนิค D8 คือ มักจะเกิดความไม่ต่อเนื่องของทิศทางการไหล

กองและเซน (Gong and Jibo, 2009; Chen and Hu, 2013) ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิค D8 และ MFD พบว่าเทคนิค MFD ให้ผลลัพธ์ในการหาบริเวณเส้นทางน้ำได้ตรงกับความเป็นจริงมากกว่าเทคนิค D8 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการสำรวจพื้นที่จริง เพราะผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิค D8 มีความขัดแย้งกับความเป็นจริง เช่น เส้นทางน้ำขาดหายไป ดังนั้นควรเลือกใช้การวิเคราะห์แบบหลายทิศทางเหมาะสมมากกว่าในการหาบริเวณที่เป็นเส้นทางน้ำ

คิส (Kiss, 2004) ศึกษาการใช้เทคนิค D8 พบข้อจำกัด 2 ประการ ได้แก่ กระบวนการทำงานใช้ 8 ทิศทางในการวิเคราะห์เท่านั้น ส่งผลให้ทิศทางที่ได้ไม่ตรงกับกริดจริง และมีความไม่ต่อเนื่องในพื้นที่ราบเนื่องจากค่าระดับข้อมูลในแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีความใกล้เคียงกันมาก ทำให้มีปัญหาในการประมวลผล และเกิดความไม่ต่อเนื่องกรณีที่มีข้อมูลในแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีลักษณะเป็นหลุม สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ ที่พบปัญหาจากการใช้เทคนิค D8 ได้แก่ ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง (บรรเจิด จิระนันท์, ไชยยัน ศรีสม, และอานนท์ เก่งสาริกานต์, 2554; Al-Muqdad and Merkel, 2011) อีกทั้งทิศทางการไหลที่ได้ถูกต้องน้อยลงกรณีที่มีความละเอียดของแบบจำลองความสูงละเอียดต่ำ (Chen and Xie, 2008) วิธีแก้ปัญหของงานวิจัยดังกล่าวใช้เทคนิคสตรีมเบิร์นนิ่งในการแก้ไขปัญหานั้น ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น นอกจากนี้มีการใช้เทคนิคเบิร์นนิ่งข้อมูลถนนเพิ่มเติมทำให้เส้นทางน้ำมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพราะจากเดิมเส้นทางน้ำจะตัดข้ามถนน แต่เบิร์นนิ่งข้อมูลถนนเป็นการกำหนดแนวถนนที่ขวางการไหลของน้ำ เมื่อใช้กระบวนการดังกล่าวเส้นทางน้ำที่ได้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

**2.6.7.3 งานวิจัยทางการนำหรือพัฒนาทิศทางการไหลไปใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าและจำลองการเกิดอุทกภัย** จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีการนำทิศทางการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านภูมิสารสนเทศไปใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่าเพื่อนำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้มีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2009; Domnita, Craciun, Haidu, and Magyari, 2010) และจากการศึกษาเปรียบเทียบการนำการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำโดยใช้เทคนิค D8 และ D $\infty$  ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า ผลการศึกษาพบว่าเทคนิค D $\infty$  ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดมากกว่าการใช้เทคนิค D8 ทั้งในส่วนการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าตามเหตุการณ์ รายวัน และรายเดือน (Nourani, Roushani, and Gebremichael, 2011) อีกทั้งมีการนำทิศทางการไหลและการไหลสะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านภูมิสารสนเทศไปใช้ในการจำลองการไหลของ

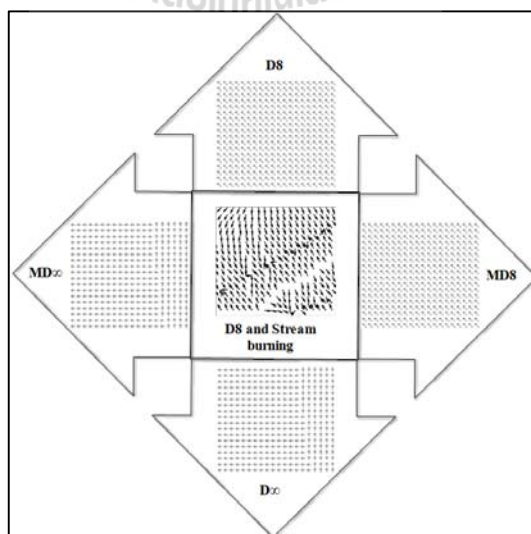
น้ำผิวดิน ผลการศึกษาพบว่าสามารถนำไปใช้ในการจำลองการไหลของน้ำทำได้ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์ และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, 2550) นอกจากนี้มีการนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำโดยใช้เทคนิคต้นไม้แบบหลายกิ่ง (Multi-branch Tree) ร่วมกับเทคนิคสตริมเบิร์นิง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการใช้เทคนิคดังกล่าวมีปริมาณน้ำท่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่ได้จากการตรวจวัด แต่ทั้งนี้ยังมีข้อผิดพลาดหรือปริมาณน้ำท่าในบางจุดที่ตรวจวัดไม่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการใช้เทคนิคดังกล่าว (Chen and Xie, 2008)

นอกจากนี้มีการใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค D8 ในการจำลองน้ำท่วมฉับพลัน (El-Magd, Hermas, and El Bastawesy, 2010; Elkharchy, 2015; Zhang et al., 2015; Zhang, Quan, He, and Wang, 2015) ผลการศึกษา พบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถจำลองน้ำท่วมฉับพลันได้อย่างถูกต้องผลการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่นำทิศทางการไหลไปใช้ในการจำลองหรือวิเคราะห์ความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัย ได้แก่ การใช้ทิศทางการไหลในการจำลองการเกิดอุทกภัยโดยใช้แบบจำลองทางอุทกภัย ได้แก่ เฮคราส ลิสฟัลด์ (Yahya, Devi, and Umrikar, 2010; Mohammadi, Ryu, and Costelloe, 2013) การใช้ทิศทางการไหลสำหรับการจำลองอุทกภัยด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Kia et al., 2012) และการนำทิศทางการไหลไปใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดอุทกภัย (El Hassan, Algarni, and Dalbough, 2014) จากการศึกษาพบว่า พื้นที่เสี่ยงตั้งอยู่ใกล้แม่น้ำหรือลำน้ำ และจากการวิเคราะห์งานวิจัยดังกล่าว พบว่า พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยดังกล่าวมีลักษณะทางกายภาพของแต่ละพื้นที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ไม่มีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ราบ แต่เมื่อนำไปใช้กับพื้นที่ราบ ทิศทางการไหลที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง เส้นทางการน้ำขาดหายไป เมื่อนำไปจำลองอุทกภัยทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้วิธีการสตริมเบิร์นิง (Chen and Xie, 2008; Zheng, Tachikawa, and Takara, 2008; Getirana, Bonnet, and Martinez, 2009; Zhao, Gao, Tian, and Tian, 2009; Zhang and Pan, 2014) อย่างไรก็ตามความถูกต้องของวิธีการสตริมเบิร์นิงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ความถูกต้องของเวกเตอร์แมพ (Turcotte et al., 2001; Kenny and Bryce, 2005)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่าการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภูมิประเทศมาใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ ส่วนใหญ่นิยมใช้อัลกอริทึม D8 ในการวิเคราะห์อัลกอริทึมดังกล่าวมีข้อจำกัด ได้แก่ ผลลัพธ์ที่ได้มักจะเกิดความไม่ต่อเนื่องทิศทางการไหลที่ต้องการน้อยลงกรณีที่มีความละเอียดของแบบจำลองความสูงละเอียดต่ำ และเส้นทางการน้ำขาดหายไป อีกทั้งผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง และไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในพื้นที่ขนาดใหญ่ รวมถึงพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ราบ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบการใช้อัลกอริทึมแต่ละ

เทคนิค พบว่า การใช้เทคนิคการวิเคราะห์การไหลแบบหลายทิศทางให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบทิศทางเดียว แต่ความถูกต้องขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ดังนั้นบางอัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงในบางพื้นที่ และมีการนำทิศทางการไหลของน้ำไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า ซึ่งมีทั้งการใช้เทคนิคมาตรฐานที่มีอยู่ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านภูมิสารสนเทศ และเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ผลการศึกษา พบว่า ความถูกต้องขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลข และเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาและวิจัยโดยการนำแบบจำลองความสูงเชิงเลขของจังหวัดปทุมธานีไปวิเคราะห์โดยใช้อัลกอริทึม D8 MD8 D∞ และ MD∞ พบว่า ทิศทางการไหลที่ได้ในแต่ละวิธี มีลักษณะการไหลอยู่ในลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน และพบปัญหา คือ ทิศทางการไหลที่ได้ไม่สามารถระบุขอบเขตลุ่มน้ำหรือแม่น้ำ รวมถึงทิศทางการไหลไม่สอดคล้องกับบริเวณแนวลำน้ำ (สุพัตรา พุฒินาวรัตน์, ประเมศวร์ ห่อแก้ว, คณิต ไข่มุกด์, และวีรพงษ์ พลนิกกรกิจ, 2558) แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลดังรูปที่ 2.10 งานวิจัยนี้จึงนำการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์มาใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลร่วมกับวิธีการ D8 เพียงวิธีการเดียว เพราะผลลัพธ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันและไม่สามารถแก้ไขปัญหาลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบได้ อย่างไรก็ตามสามารถนำการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ไปใช้ร่วมกับวิธีการอื่น ๆ ได้ กรณีที่ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ไม่ได้เป็นพื้นที่ราบ

งานวิจัยนี้นำเทคนิคการวิเคราะห์ภูมิประเทศมาใช้ในการสกัดข้อมูลแอททริบิวต์ภูมิประเทศ ได้แก่ ทิศทางการไหล และทิศทางการไหลสะสม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำสำหรับจำลองการเกิดอุทกภัย โดยใช้งานร่วมกับเทคนิคการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขและการประมวลผลภาพในการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลเพื่อลดข้อจำกัดของวิธีการที่มีอยู่



รูปที่ 2.10 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธี D8 MD8 D∞ MD∞ และ Stream burning



## 2.7 การหลอมรวมข้อมูล

การหลอมรวมข้อมูล เป็นการนำเอาข้อมูลที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน (Different Sources) และมีลักษณะหลากหลาย (Multi) มารวมกัน เพื่อสร้างเป็นข้อมูลใหม่หรือเพื่อให้ได้ข้อมูลตัวแทน (Representative Data) (Merchant and Narumalani, 2009; Zhang, 2010) โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงคุณภาพข้อมูลให้มีคุณภาพดีขึ้น ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน สามารถใช้งานร่วมกันได้ เพิ่มมุมมองของข้อมูลหลากหลายมากยิ่งขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งาน เช่น ช่วยเพิ่มความถูกต้อง ช่วยเพิ่มรายละเอียดหรือความชัดเจน เป็นต้น ทั้งนี้มีคำศัพท์หลายคำที่ถูกนำมาใช้แทนหรือมีความหมายใกล้เคียงกันหลายคำ ได้แก่ การผสม (Merging) การรวมกัน (Combination) การบูรณาการ (Integration) และการหลอมรวม (Fusion)

### 2.7.1 ปัญหาของการหลอมรวมข้อมูล

ปัญหาของการหลอมรวมข้อมูลภูมิสารสนเทศหรือข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลมีหลายประการ (Ware, 2001; Butenuth, and Heipke, 2003; Lu, Mannen, Sakamoto, Uchida, and Doihara, 2004; Zhang, 2010) เช่น ความหลากหลายเชิงคลื่นหรือความถี่ (Multi-Spectral/Multi-Frequency) ความหลากหลายเชิงเวลา (Multi-Temporal) ความหลากหลายของโพลาไรซ์ (Multi-Polarization) ความแตกต่างของประเภทข้อมูล (Different Data Type) ความหลากหลายเชิงมาตราส่วน (Multi-Scale) และความหลากหลายของข้อมูลเชิงพื้นที่อื่น (Multi of the other sources of spatial data) แต่ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้อง 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

**2.7.1.1 ความแตกต่างของประเภทข้อมูล** ข้อมูลภูมิสารสนเทศประกอบด้วย 2 ชนิด ได้แก่ ข้อมูลประเภทกริดหรือแรสเตอร์ เช่น ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข เป็นต้น ข้อมูลเชิงเส้นหรือเวกเตอร์ เช่น ข้อมูลขอบเขตการปกครอง ข้อมูลที่ตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝน เป็นต้น (Butenuth and Heipke, 2003; Lu, Mannen, Sakamoto, Uchida, and Doihara, 2004) เมื่อนำข้อมูลทั้งสองประเภทมาใช้งานร่วมกันต้องมีการแปลงข้อมูลให้เป็นประเภทเดียวกัน

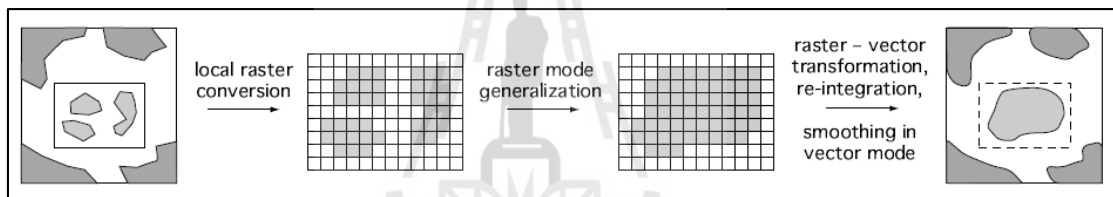
**2.7.1.2 ความหลากหลายเชิงมาตราส่วน** เป็นความหลากหลายของมาตราส่วนและความละเอียดของข้อมูลการสำรวจจากระยะไกล (Mathias, 1998; Ware, 2001) ในการนำข้อมูลที่มีความแตกต่างนี้มาใช้ร่วมกันนั้นต้องมีการปรับพิคคภาพให้ตรงกันเพื่อให้สามารถใช้งานข้อมูลที่มีมาตราส่วนต่างกันได้อย่างถูกต้อง

**2.7.1.3 ความหลากหลายของข้อมูลเชิงพื้นที่** คือ ความหลากหลายของข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ร่วมกันของข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Zhang, 2010) เช่น ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน ข้อมูลระดับความสูง ข้อมูลลักษณะพื้นที่ ข้อมูลอุณหภูมิจ ฯลฯ ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้

ศึกษาร่วมกันได้ โดยการบูรณาการข้อมูลดังกล่าวข้อมูลต้องอยู่ในรูปดิจิทัล เช่น ในรูปแบบของชั้นข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

## 2.7.2 เทคนิคการแก้ไข้ปัญหา

**2.7.2.1 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริด (Rasterization)** เป็นขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในรูปแบบข้อมูลเชิงเส้น ได้แก่ จุด เส้น และรูปหลายเหลี่ยม เพื่อให้สามารถใช้งานข้อมูลร่วมกับข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบกริดหรือแรสเตอร์ ข้อได้เปรียบของข้อมูลกริดคือ มีประสิทธิภาพดีกว่าข้อมูลเชิงเส้น เพราะสามารถวิเคราะห์และประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในการแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นข้อมูลกริดสามารถลดรายละเอียดโดยวิธีเจเนอรัลไลเซชัน (Generalization) ก่อนแปลงข้อมูลกลับเป็นข้อมูลเชิงเส้น (Peter and Weibel, 1999; Huang and Jiang, 2002; Mathias, 1998; Lu, Mannen, Sakamoto, Uchida, and Doihara, 2004)



รูปที่ 2.11 การแปลงประเภทของข้อมูลระหว่างข้อมูลเชิงเส้นและข้อมูลกริด

(ที่มา: Peter and Weibel, 1999)

**2.7.2.2 การหลอมรวมข้อมูลระดับพิกเซล (Pixel Level Fusion)** เป็นการหลอมรวมข้อมูลระหว่างข้อมูลที่มาจากหลายแหล่งโดยมีระดับความละเอียด (Resolution) ต่างกันให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ (Peter and Weibel, 1999; Zhang, 2010)

## 2.7.3 งานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการหลอมรวมข้อมูล

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่พบว่า การนำข้อมูลภูมิสารสนเทศไปใช้งานประสบปัญหาหลายประการ ได้แก่ ความหลากหลายเชิงคลื่นหรือความถี่ (Multi-Spectral/Multi-Frequency) ความหลากหลายเชิงเวลา (Multi-Temporal) ความหลากหลายของโพลาไรซ์ (Multi-Polarization) ความแตกต่างของประเภทข้อมูล (Different Data Type) ความหลากหลายเชิงมาตราส่วน (Multi-Scale) และความหลากหลายของข้อมูลเชิงพื้นที่ (Multi of The Other Sources of Spatial Data) (Mathias, 1998; Ware, 2001; Butenuth and Heipke, 2003; Lu, Mannen, Sakamoto,

Uchida, and Doihara, 2004; Zhang, 2010) ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องมาจากข้อมูลที่มาจกแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน (Different Sources) เช่น ข้อมูลชุดดินได้มาจากหน่วยงานหนึ่งมีมาตราส่วนเท่ากับ 1 ต่อ 10,000 แต่ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศได้มาจากอีกหน่วยงานมีมาตราส่วนเท่ากับ 1 ต่อ 100,000 เป็นต้น และมีลักษณะหลากหลาย (Multi) เช่น ข้อมูลชุดดินเป็นข้อมูลในรูปแบบเวกเตอร์หรือเชิงเส้น แต่แผนที่ภูมิประเทศอยู่ในรูปแบบแรสเตอร์หรือกริด เป็นต้น ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ร่วมกันจึงมีความจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาดังกล่าวเหล่านี้ก่อน เพื่อความถูกต้องของข้อมูล

การนำเทคนิคการหลอมรวมข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การอัปเดตและจัดทำแผนที่เพื่อตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้การหลอมรวมข้อมูลภูมิสารสนเทศประเภทเวกเตอร์กับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ผลการศึกษา พบว่า สามารถตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ (Weis, Müller, Liedtke, and Pahl, 2005) และมีการนำไปใช้งานในการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์การแพร่กระจายของไฟฟ้า ซึ่งแต่เดิมใช้วิธีการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่แบบจำลองคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถระบุตำแหน่งที่ตั้งของการเกิดได้อย่างชัดเจน จึงนำข้อมูลภูมิสารสนเทศมาใช้งานร่วมกับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งลักษณะข้อมูลแตกต่างกันต้องอาศัยการหลอมรวมข้อมูลเพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่แตกต่างกันไปใช้ร่วมกันได้ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองดังกล่าวมีความถูกต้องมากกว่าการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียว (Dumond, 2008) อีกทั้งมีการนำการหลอมรวมข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานกับการตรวจสอบการชะล้างพังทลายของดินโดยใช้การหลอมรวมระหว่างข้อมูลภูมิสารสนเทศประเภทเวกเตอร์และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ผลการศึกษา พบว่า สามารถนำข้อมูลทั้งสองประเภทไปใช้งานร่วมกันได้และสามารถตรวจสอบการชะล้างพังทลายของดินได้อย่างถูกต้อง (Butenuth and Heipke, 2003)

จากปัญหาของการใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า มีเทคนิคที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเหล่านี้แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหา ซึ่งสามารถสรุปแนวทางการแก้ไขได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ กรณีแรก คือ เมื่อต้องการใช้งานข้อมูลภูมิสารสนเทศที่มีรูปแบบเวกเตอร์ร่วมกับแรสเตอร์ มี 3 เทคนิคที่สามารถเลือกใช้ได้ ได้แก่ เทคนิคการแปลงข้อมูลเวกเตอร์หรือเชิงเส้นเป็นข้อมูลประเภทแรสเตอร์ เทคนิคการแปลงข้อมูลแรสเตอร์เป็นเวกเตอร์ และแปลงข้อมูลทั้งสองประเภทให้เป็นแอสกี (Lu, Mannen, Sakamoto, Uchida, and Doihara, 2004; Peter and Weibel, 1999; Mathias, 1998) กรณีที่สองข้อมูลอยู่ในรูปแบบเดียวกันแต่ระดับความละเอียด (Resolution) หรือมาตราส่วนต่างกันต้องมีการปรับพิคต์ให้ตรงกันโดยใช้การหลอมรวมข้อมูลในระดับพิกเซลเพื่อหลอมรวมข้อมูลให้อยู่ในมาตราส่วนหรือความละเอียดเดียวกัน (Peter and Weibel, 1999; Zhang, 2010) กรณีที่สามข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายดาวเทียม

มีแนวคิดต่างกันต้องมีการหลอมรวมให้อยู่ในแนวคิดเดียวกันก่อนนำไปใช้งานซึ่งสามารถใช้เทคนิคการหลอมรวมข้อมูลระดับพิกเซลได้เช่นกัน (Zhang, 2010)

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่า มีการนำเทคนิคการหลอมรวมข้อมูลไปใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดจาก ข้อมูลต่างประเภท หลายมาตราส่วน เนื่องจากแหล่งที่มาของข้อมูลแตกต่างกัน วิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าวเพื่อให้สามารถใช้งานข้อมูลร่วมกันได้ ได้แก่ การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริด การแปลงข้อมูลกริดเป็นข้อมูลเชิงเส้น การแปลงระดับพิกเซล และการแปลงให้อยู่ในรูปแบบแอสกีไฟล์ สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ ข้อมูลในรูปแบบเวกเตอร์ แรสเตอร์ และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ อีกทั้งข้อมูลดังกล่าวมีมาตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องอาศัยเทคนิคการหลอมรวมข้อมูลเพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ต่างกันไปใช้ร่วมกันได้

## 2.8 แบบจำลองอุทกภัย

แบบจำลองอุทกภัยเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจำลองหรือเป็นตัวแทนของระบบที่เป็นจริง (Real System) จากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อแสดงขอบเขตการเกิดอุทกภัยและจำลองการไหลของน้ำ ซึ่งแบบจำลองอุทกภัยสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทโดยมีรายละเอียด ดังนี้

### 2.8.1 ประเภทของแบบจำลองอุทกภัย

**2.8.1.1 แบบจำลองอุทกภัย 1 มิติ** เป็นแบบจำลองสำหรับการคำนวณอัตราการไหลและระดับน้ำในแม่น้ำ (Jin and Fread, 1999; Gilles and Moore, 2010) โดยใช้สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการ โมเมนตัม (Momentum Equation) เป็นสมการของเซนต์เวแนนท์ (Saint-Venant) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) สมการความต่อเนื่อง 1 มิติ

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2.17)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการไหล

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล

$x$  คือ ความยาวของช่วงลำน้ำที่พิจารณา

$t$  คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา

$q$  คือ อัตราการไหลเข้าทางด้านข้าง

2) สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial x} = \left[ \frac{\beta Q^2}{A} \right] + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2.18)$$

เมื่อ  $S_f = \frac{Q|Q|}{K^2}$

โดย  $H =$  เสดการไหล

$\beta =$  สัมประสิทธิ์โมเมนตัม

$g =$  อัตราการเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$S_f =$  ความลาดชันเสียดทาน

โดย  $K$  คือ ดัชนีความจุของหน้าตัด ซึ่งคำนวณได้จากสมการของ

แมนนิง ได้ดังนี้

$$K^2 = \frac{A^2 R_3^4}{n^2} \quad (2.19)$$

เมื่อ  $R = \frac{A}{P}$

โดย  $R =$  รัศมีชลศาสตร์

$P =$  ความยาวขอบเปียก

$N =$  สัมประสิทธิ์ความขรุขระ

ซึ่งสมการความต่อเนื่องนำมาใช้เพื่อปรับคุณภาพระหว่างอัตราการไหลเข้าและไหลออกของพื้นที่ที่พิจารณา ส่วนสมการโมเมนตัมใช้เพื่อปรับคุณภาพของแรงที่กระทำต่อมวลของน้ำที่เกิดจากแรงเฉื่อย แรงกระจายตัว แรงดึงดูดของโลก และแรงเสียดทาน

**2.8.1.2 แบบจำลองอุทกภัย 2 มิติ** เป็นแบบจำลองสำหรับการจำลองสภาพของพื้นที่เกิดอุทกภัยในกรณีปริมาณน้ำไหลล้นจากแม่น้ำเข้าท่วมพื้นที่ ใช้หลักการเฉลี่ยค่าความสูงตามระดับพื้นดิน แบบจำลองแบบ 2 มิติ (Gilles and Moore, 2010) ใช้สมการ ได้แก่ สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ซึ่งเป็นสมการของนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) สมการความต่อเนื่อง 2 มิติ

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (2.20)$$

เมื่อ  $u$  คือ ความเร็วกระแสน้ำในทิศทาง  $x$

$v$  คือ ความเร็วกระแสน้ำในทิศทาง  $y$

$\zeta$  คือ ระดับน้ำเหนือระดับอ้างอิง

$d$  คือ ความลึกน้ำซึ่งต่ำกว่าระดับอ้างอิง

$h$  คือ ความลึกทั้งหมด

$x$  คือ ระยะตามแนวคลอง

2) สมการโมเมนตัม 2 มิติ

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gu|V|}{C^2 h} + au|u| = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + y \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gv|V|}{C^2h} + av|v| = 0 \quad (2.22)$$

เมื่อ  $V$  คือ กระแสน้ำรวม

$C$  คือ สัมประสิทธิ์

$a$  คือ แรงเสียดทาน

**2.8.1.3 แบบจำลองอุทกภัย 3 มิติ** เป็นแบบจำลองที่มีความคล้ายคลึงกับแบบจำลอง 2 มิติ ยกเว้นสมการที่ใช้สมการคำนวณค่าเฉลี่ยความลึกจะแตกต่างกัน (David, Rick, and Jiang, 2002) นอกจากนี้ใน 2 มิติพิจารณาเฉพาะในแนวนอน ( $x$  และ  $y$ ) แต่เมื่อเป็น 3 มิติจะมีการพิจารณา มิติในแนวตั้งด้วย ( $z$ ) ข้อดีของแบบจำลอง 3 มิติ คือ สามารถจำลองการกระจายหรือการไหลของน้ำ ในแนวตั้งได้อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลอง 3 มิติทำให้การคำนวณใช้เวลานานขึ้นและต้องการ คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง แบบจำลองที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลองใน รูปแบบ 1 หรือ 2 มิติมากกว่า

## 2.8.2 แบบจำลองอุทกภัยอื่น ๆ

**2.8.2.1 แบบจำลองเฮคราส (HEC-RAS)** เป็นแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาแบบ 1 มิติ ซึ่งคิดค้นโดยองค์กรทางด้านอุทกวิทยาของประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้สำหรับการวิเคราะห์การ ไหลของน้ำแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Unsteady Flow) โดยใช้สมการเซนต์เวเนนที่เป็นพื้นฐานใน การสร้างแบบจำลอง (Brunner, 2010) สามารถประยุกต์ใช้กับเงื่อนไขขอบเขตภายในและภายนอก ของแบบจำลอง เช่น ระดับน้ำ ระดับของบานประตูระบายน้ำ สะพาน ท่อลอด เป็นต้น สำหรับการ แสดงผลในรูปแบบภูมิสารสนเทศเพื่อแสดงพื้นที่น้ำท่วมต้องอาศัยโปรแกรมอาร์คจีไอเอส (ArcGIS) โดยผ่านแบบจำลองเฮคจีโอราส (Hec-GeoRas) ข้อมูลนำเข้าสำหรับใช้งานแบบจำลอง ประกอบด้วย ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขคณิตโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ เส้นลำน้ำ รูป ตัดลำน้ำ ทิศทางการไหล (Flow Direction) ซึ่งสร้างจากโปรแกรมอาร์คจีไอเอส โดยความถูกต้อง ของแบบจำลองขึ้นอยู่กับข้อมูลนำเข้า

**2.8.2.2 แบบจำลองลิสฟลัด (LISFLOOD)** เป็นแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาแบบ 1 มิติ ซึ่งคิดค้นโดยประเทศอังกฤษ (Van Der Knijff, Younis, and De Roo, 2010) ใช้สำหรับ พยากรณ์ปริมาณน้ำท่าและการไหลของน้ำ ปัจจัยนำเข้าที่ใช้ประกอบด้วย ปัจจัยทางด้าน อุตุนิยมิวิทยา การละลายของหิมะ การระเหยของน้ำ และคุณสมบัติของดิน สำหรับการแสดงผลใน รูปแบบภูมิสารสนเทศเพื่อแสดงพื้นที่น้ำท่วม ต้องอาศัยโปรแกรมอาร์คจีไอเอสผ่านแบบจำลอง ลิสฟลัดเอฟพี (LISFLOOD-FP) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ

**2.8.2.3 แบบจำลองไมค์โอเลฟเวน (MIKE11)** เป็นแบบจำลองอุทกวิทยาแบบ 1 มิติ ซึ่งพัฒนาโดยประเทศเดนมาร์ก (Havnsø, Madsen, Dørgé, and Singh, 1995; DHI, 2013) ใช้สำหรับ

การวิเคราะห์การไหลของน้ำและจำลองลักษณะการไหลของน้ำที่เป็นการไหลแบบทิศทางเดียว (One Dimension Flow) และไม่คงที่ตามเวลา (Unsteady Flow) ใช้ข้อมูลรูปตัดลำน้ำเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ และข้อมูลสภาพภูมิประเทศและสภาพทุ่งน้ำท่วม (Topography of River and Flood Plain) ตลอดจนสภาพสิ่งก่อสร้าง และอาคารชลศาสตร์ต่าง ๆ ในลำน้ำ เช่น เขื่อน ฝาย และคลองระบายน้ำ เป็นต้น สำหรับการแสดงผลในรูปแบบภูมิสารสนเทศเพื่อแสดงพื้นที่น้ำท่วมต้องอาศัยโปรแกรมอาร์คจีไอเอส โดยผ่านแบบจำลองไมคัลเลฟเวนจีไอเอส (MIKE11-GIS) ข้อจำกัดของแบบจำลองดังกล่าว คือ ไม่สามารถนำไปใช้แบบต่างเวอร์ชันได้ เช่น ข้อมูลผลลัพธ์ของไมคัลเลฟเวนเวอร์ชัน 2002 ไม่สามารถนำไปใช้กับเวอร์ชัน 2003 ได้ ส่วนความถูกต้องของแบบจำลองขึ้นอยู่กับข้อมูลนำเข้า โดยเฉพาะข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ซึ่งความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับระดับความละเอียดของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่เลือกใช้

**2.8.2.4 แบบจำลองเวทสปา (WETSPA)** เป็นแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาแบบ 1 มิติ ซึ่งพัฒนาโดยประเทศเบลเยียม (Wang, Batelaan, and De Smedt, 1996) ใช้สำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าและการไหลของน้ำ ปัจจัยนำเข้าที่ใช้ประกอบด้วยปริมาณน้ำท่า การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดของดิน และแบบจำลองความสูงเชิงเลขซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ดังกล่าวต้องอยู่ในรูปแบบข้อมูลแบบกริดเท่านั้น

**2.8.2.5 แบบจำลองสาธารณสิทธิ์ (SWAT)** เป็นแบบจำลองเชิงบูรณาการของพื้นที่ซึ่งพัฒนาโดยประเทศสหรัฐอเมริกา (Arnold and Fohrer, 2005) มีการนำมาใช้ในประเทศไทยตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006 โดยประยุกต์ใช้กับการบูรณาการในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลา (PRACHAYASITTIKUL, 2006) ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานนำไปใช้งาน เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่รวมเอาลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน สภาพภูมิประเทศ ระดับความลาดชัน และลักษณะต่าง ๆ ของลุ่มน้ำเข้ามาทำนายอุทกภัยที่จะเกิดขึ้น สำหรับการแสดงผลในรูปแบบภูมิสารสนเทศเพื่อแสดงพื้นที่น้ำท่วมต้องอาศัยโปรแกรมอาร์คจีไอเอส ซึ่งความถูกต้องขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลและความเชี่ยวชาญของผู้ใช้แบบจำลอง

**2.8.2.6 แบบจำลองไอซิส (ISIS)** เป็นแบบจำลองอุทกวิทยา ซึ่งพัฒนาโดยประเทศอังกฤษ ใช้สำหรับจำลองสภาพการไหลของน้ำ และสามารถสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงน้ำฝนน้ำท่า (Hunter, Bates, Horritt, and Wilson, 2007) ปัจจัยที่ใช้สำหรับการจำลองอุทกภัย ได้แก่ โครงข่ายระบบระบายน้ำโดยใช้รูปตัดลำน้ำ ข้อมูลพื้นที่รับน้ำ ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลระดับน้ำที่จุดเข้าออก ความถูกต้องของแบบจำลองขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ให้จะทำให้ความถูกต้องสูงเมื่อมีข้อมูลเพียงพอต่อการจำลองพฤติกรรมของระบบ

**2.8.2.7 แบบจำลองโซเบ็ค (SOBEK)** เป็นแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยา ซึ่งพัฒนาโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ ใช้สำหรับจำลองสภาพการไหลของน้ำ รวมถึงการวิเคราะห์รูปแบบการ

เกิดอุทกภัย (Vis, Klijn, De Bruijn, and Van Buuren, 2003) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการจำลองพื้นที่ที่เกิดอุทกภัย ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ข้อมูลรูปตัดลำน้ำ ปริมาณน้ำท่า เส้นชั้นความสูง จุดระดับดิน แนวคลอง และแนวถนน ลักษณะการจำลองเหตุการณ์จำเป็นต้องให้ความสำคัญในการกำหนดเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างที่ใช้ในแบบจำลอง อันมีผลต่อเสถียรภาพหรือความน่าเชื่อถือของแบบจำลองต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

**2.8.2.8 แบบจำลองโอเพ่นไลเซ็ม (OpenLISEM)** เป็นแบบจำลองอุทกวิทยา ซึ่งเป็นโอเพ่นซอร์ส พัฒนาโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ ใช้สำหรับจำลองการเกิดอุทกภัย ปัจจัยนำเข้าของแบบจำลองรองรับข้อมูลประเภทเรสเตอร์เท่านั้น แบบจำลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกเพื่อวัตถุประสงค์ในการจำลองน้ำท่า และใช้ในการวิเคราะห์การชะล้างพังทลายของดิน (De Roo, Wesseling, and Ritsema, 1996) ต่อจากนั้นมีการนำมาใช้ในการจำลองอุทกภัย (Sliuzas, Flacke, and Jetten, 2013) โดยจำเป็นต้องใช้ปัจจัยนำเข้าเบื้องต้น ได้แก่ แบบจำลองความสูงเชิงเลข การใช้ประโยชน์ที่ดิน ซุดดิน ปริมาณน้ำฝน ความชัน และทิศทางกรไหล นอกจากนี้ยังรองรับให้ใช้ปัจจัยทางเลือกอื่น ๆ เพื่อให้การจำลองสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เช่น ถนน ลีงก่อสร้าง เป็นต้น แบบจำลองนี้แตกต่างจากแบบจำลองอื่น ๆ คือ ในการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของแบบจำลองนี้ไม่มีการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลอัตโนมัติในแบบจำลอง ดังนั้นจึงรองรับในการนำทิศทางกรไหลที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการจำลองอุทกภัยได้ แต่สำหรับบางแบบจำลองไม่รองรับในการเปลี่ยนทิศทางกรไหล เช่น แบบจำลองสาธารณสิทธิใช้วิธีการ D8 ในการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลอัตโนมัติในแบบจำลอง ดังนั้นจึงไม่สามารถแก้ไขปัญหากรณีทิศทางกรไหลที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงกรณีทีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เป็นพื้นที่ราบ

**2.8.2.9 แบบจำลองที่ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์** เป็นแบบจำลองที่นำเทคนิคต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียม ฟัชชันลอจิก เจเนติก อัลกอริทึม แผนผังการจัดระเบียบตัวเอง มาใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับทำนายหรือพยากรณ์การเกิดอุทกภัย โดยปัจจัยที่ใช้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนน้ำท่า และลักษณะทางกายภาพของแต่ละพื้นที่ แบบจำลองที่พบส่วนใหญ่ใช้ปริมาณน้ำฝนน้ำท่าเป็นปัจจัยนำเข้า (Chang, Liang, and Chen, 2001; Deshmukh and Ghatol, 2010; Lekkas et al., 2004; Feng and Lu, 2010) แต่มีบางงานวิจัยที่เลือกใช้ปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ด้วย (Radhika, 2012; Supattra Puttinaovarat et al., 2013)



### 2.8.3 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองอุทกภัย

แบบจำลองที่ใช้สำหรับการศึกษาการเกิดอุทกภัย ส่วนใหญ่มักเป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยา (Hydrological Model) ซึ่งมีทั้งแบบจำลองสำเร็จรูป เช่น ไมคัลเลฟเวน เฮ็คราส ลิสฟลัด เป็นต้น และแบบจำลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเองสำหรับใช้ในพื้นที่ที่สนใจ ทั้งนี้การศึกษาแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมสำหรับการประมาณขอบเขตพื้นที่เกิดอุทกภัยอย่างง่าย คือ การใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขประกอบกับข้อมูลความสูงของระดับน้ำสมมติจากระดับอ้างอิงของพื้นที่ค่าหนึ่ง ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาใช้วิเคราะห์การผันแปรของพื้นที่น้ำท่วมตามความสูงของระดับน้ำได้ และหากนำข้อมูลดังกล่าวมาซ้อนทับกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินทำให้สามารถประเมินความเสียหายในเบื้องต้นได้ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

เคทาลิน (Katalin, 2008) นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองในการวิเคราะห์และจัดการอุทกภัย ซึ่งชั้นข้อมูลนำเข้าประกอบด้วยพารามิเตอร์ของระดับความสูง (Elevation) เส้นทางที่น้ำไหลผ่าน และแบบจำลองความสูงเชิงเลขความละเอียดสูง เพื่อใช้สำหรับศึกษาผลกระทบของอุทกภัยที่เกิดจากอ่างเก็บน้ำ วิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดอุทกภัย และออกแบบระบบเตือนภัย ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถจำลองสภาพการเกิดอุทกภัยที่เกิดจากอ่างเก็บน้ำได้ แต่ไม่ได้มีการกล่าวถึงการประเมินเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองทำให้แบบจำลองดังกล่าวขาดความน่าเชื่อถือ

โดมินิตา (Dominita, 2012) นำเสนอการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองอุทกภัยแบบจับพัตน์สำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็กโดยใช้โปรแกรมอาร์คจีไอเอสร่วมกับโมเดลบิลเดอร์ (Model Builder) และภาษาไพธอน สำหรับจำลองการเกิดอุทกภัย ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ความลาดชัน ข้อมูลคุณสมบัติของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับการวิเคราะห์ทิศทางการไหลใช้โปรแกรมอาร์คจีไอเอสผ่านโมเดลบิลเดอร์ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถจำลองอุทกภัยได้สอดคล้องและใกล้เคียงกับผลการตรวจวัด ใช้ได้ดีกับลุ่มน้ำขนาดเล็กแต่ควรมีการพิจารณาและนำปัจจัยอื่น ๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเพื่อเพิ่มความถูกต้องของแบบจำลอง ข้อดีของแบบจำลองนี้ คือ สามารถใช้งานได้ดีในลุ่มน้ำขนาดเล็กซึ่งต่างจากแบบจำลองสำเร็จรูปที่พัฒนามาเพื่อใช้กับพื้นที่หรือลุ่มน้ำขนาดใหญ่

แอ็บดอลรีซา (Abdolreza, 2006) นำเสนอการตรวจสอบและการประเมินผลกระทบของการเกิดอุทกภัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การปลูกป่า โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแบบจำลองสำเร็จรูปเวทสปา โดยปัจจัยที่ใช้ ได้แก่ ปริมาณน้ำท่าแบบจำลองความสูงเชิงเลข คุณสมบัติของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการศึกษา พบว่าความถูกต้องของแบบจำลองดังกล่าวขึ้นอยู่กับข้อกำหนดคสทานการณ์ของผู้ใช้ ซึ่งในการศึกษานี้ กำหนดคสทานการณ์ 3 รูปแบบ ความถูกต้องของแบบจำลองเท่ากับ 80.3% 77.1% และ 74.9%

ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของหลิว ยงโบ (Liu Yongbo, 2007) ซึ่งนำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองเวทสปา ในการจำลองพื้นที่น้ำท่วม โดยใช้ปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า แบบจำลองความสูงเชิงเลข การใช้ประโยชน์ที่ดิน และคุณสมบัติของดิน โดยนำเสนอผลการจำลองพื้นที่อุทกภัยโดยใช้โปรแกรม ArcView ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองเวทสปามีข้อจำกัด ได้แก่ ผู้ใช้แบบจำลองต้องตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในกระบวนการเตรียมข้อมูล เพราะส่งผลต่อความถูกต้องของแบบจำลอง ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินถูกจัดกลุ่มบางประเภทมีความคลุมเครือ บางประเภทไม่มีการนำมาพิจารณาในแบบจำลอง และการกำหนดค่าของเรสเตอร์หรือกริดใด ๆ ใช้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ของแต่ละเซลล์ ทำให้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นควรกำหนดขนาดของกริดให้เล็กเพราะจะเป็นตัวแทนที่ดีกว่าในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ แต่ข้อเสีย คือ ต้องใช้หน่วยความจำและเวลาในการจำลองมาก

นอกจากนี้มีการนำเสนอการประเมินและเปรียบเทียบความเป็นไปได้ของการใช้ 2 วิธี ในการสร้างแบบจำลองแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ ในการประเมินความเสี่ยงของอุทกภัยในพื้นที่เมืองโดยใช้แบบจำลองไมค์โอเลฟเวน สำหรับการจำลองใน 1 มิติ และไมค์ทเวนเดิร์น สำหรับการจำลอง 2 มิติ ผลการศึกษาพบว่า สามารถจำลองอุทกภัยได้สอดคล้องกับผลการตรวจวัด โดยแบบจำลองแบบ 2 มิติ ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า แต่ทั้งนี้ควรมีการพิจารณาในเรื่องการบูรณาการแบบจำลอง 1 มิติและ 2 มิติ มาใช้งานร่วมกัน เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจำลองให้สามารถจำลองสถานการณ์อุทกภัยได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น และสามารถวิเคราะห์การไหลของน้ำได้ดีขึ้น (Kharat, 2009)

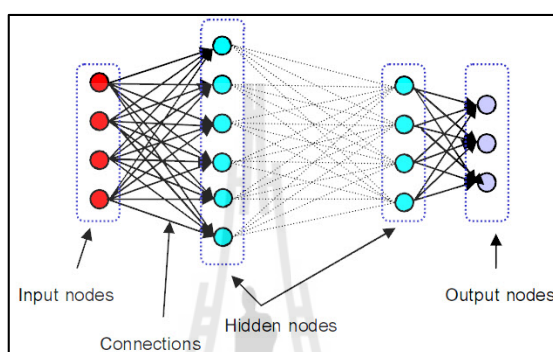
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่า แบบจำลองอุทกภัยที่พบในปัจจุบันมีปัจจัยนำเข้าที่นิยมใช้ 5 อันดับแรก ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน แบบจำลองความสูง ชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และขนาดลุ่มน้ำ ส่วนเทคนิคที่นำมาใช้งานในแบบจำลอง ได้แก่ ระบบภูมิสารสนเทศ การวิเคราะห์ภูมิประเทศ การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข การประมวลผลภาพ การคำนวณระดับความสำคัญของปัจจัย งานวิจัยนี้ศึกษาแบบจำลองอุทกภัยเพื่อวิเคราะห์หรือตรวจสอบข้อจำกัดของแบบจำลองอุทกภัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงหรือแก้ไขข้อจำกัดในเรื่องการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่ไม่ถูกต้องหรือสอดคล้องกับความเป็นจริง โดยในการจำลองอุทกภัยในงานวิจัยนี้ใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาแทนวิธีการเดิมซึ่งจะส่งผลให้การจำลองอุทกภัยในงานวิจัยนี้มีความถูกต้องมากขึ้น

## 2.9 เทคนิคปัญญาประดิษฐ์

### 2.9.1 ประเภทของเทคนิค

**2.9.1.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning)** เป็นการเรียนรู้จากลักษณะของตัวอย่างแล้วนำไปทำนายข้อมูลอื่นที่ไม่รู้คำตอบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เป็นการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ที่ประกอบด้วยเซลล์พิเศษจำนวนมากที่เรียกว่าเซลล์ประสาท (Neuron) การเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ของเครื่องคอมพิวเตอร์เริ่มจากกำหนดให้แต่ละโหนด (Node) เปรียบเสมือนเป็นเซลล์ประสาท และสร้างการเชื่อมต่อให้กับโหนดเหล่านั้นให้เป็นโครงข่าย (Network) แต่ละโครงข่ายประกอบด้วยโหนดที่ถูกจัดแบ่งเป็นชั้น ๆ เรียกว่า เลเยอร์ (Layer) แต่ละเลเยอร์มีหน้าที่การทำงานแตกต่างกันออกไป (Lippmann, 1987) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

สำหรับด้านการประยุกต์ใช้งานมีการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ทางด้านอุทกวิทยา (Feng and Lu, 2010; Radhika, 2012) นอกจากนี้มีการนำไปใช้งานในสาขาอื่น ๆ เช่น ด้านการประมวลผลภาพและระบบรู้จำ

2) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เป็นกระบวนการเรียนรู้แบบมีผู้สอน เพื่อให้สามารถสร้างตัวจัดประเภทข้อมูล (Classifier) ที่มีความทั่วไปสูง คือสามารถทำงานได้ดีกับตัวอย่างที่ไม่รู้จัก (Unknown Dataset) ด้วยกระบวนการปรับรูปแบบข้อมูลจากข้อมูลที่มีมิติต่ำ (Low Dimension Dataset) บนพื้นที่ข้อมูลนำเข้า (Input Space) ให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลที่มีมิติสูง (High Dimension Dataset) บนพื้นที่ข้อมูลคุณลักษณะ (Feature Space) โดยใช้ฟังก์ชันในการปรับรูปแบบข้อมูลที่เรียกว่าฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) ซึ่งความสามารถดังกล่าวช่วยให้การสร้างตัวจัดประเภทข้อมูลด้วยสมการกำลังสอง (Quadratic Equation) บนพื้นที่ข้อมูลคุณลักษณะเป็นไปได้ง่ายขึ้นและมีความชัดเจนในการจัดประเภทมากยิ่งขึ้นด้วย (Cortes and Vapnik, 1995) นอกจากนี้ ตัวจัดประเภทข้อมูลที่ตีควรมีโครงสร้างแบบเส้นตรง (Linear Classifier) และสามารถสร้างพื้นที่ระยะห่างระหว่างตัวจัดประเภทข้อมูลเองกับค่าที่ใกล้ที่สุดของแต่ละกลุ่มข้อมูลได้มากที่สุด เพื่อประสิทธิภาพในการแยกแยะประเภทของชุดข้อมูลแต่ละประเภทออกจากกันอย่างชัดเจน ในกระบวนการจำแนกซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนใช้ระนาบเกินที่เหมาะสมที่สุด

(Optimal Hyperplane) ในการแบ่งกลุ่มเพื่อเพิ่มความสามารถให้จำแนกข้อมูลได้ดีขึ้น ในการสร้างระนาบเกินที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลสามารถสร้างได้หลายแบบ อย่างไรก็ตามจะมีเพียงระนาบเกินที่เหมาะสมที่สุดเพียงระนาบเดียวเท่านั้น โดยในการหาระนาบเกินที่เหมาะสมที่สุดของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนนั้น ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจะหาตำแหน่งของซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลทั้งคู่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการแบ่งกลุ่มโดยหลักการ คือ จะใช้ระนาบเกินที่เป็นระยะห่างที่สุดระหว่างข้อมูล 2 กลุ่ม ที่อยู่ใกล้กันมากที่สุด เพียงระนาบเดียวเท่านั้น การแบ่งแยกคลาสโดยใช้ระนาบแบ่งแยกหลายมิติที่เหมาะสมที่สุด มี 2 แบบ ได้แก่ แบบเชิงเส้น (Linear) และแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear)

กำหนดให้ข้อมูลที่ใช้สอนประกอบด้วยเวกเตอร์จำนวน  $n$  ตัว แทนด้วย  $\{(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n\}$  และเป้าหมายหรือคำตอบแทนด้วย  $y_i \in (-1, 1)$  ซึ่งสัมพันธ์กับเวกเตอร์ที่ใช้สอนแต่ละตัว โดยที่  $n$  เป็นจำนวนข้อมูลที่ใช้สอน โดยการแบ่งแยกคลาสโดยใช้ระนาบแบ่งแยกหลายมิติที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบเชิงเส้น ใช้สมการที่ 2.23

$$f_{w,b} = \text{sgn}(w \bullet x + b) \quad (2.23)$$

เมื่อ  $w$  แทนค่าน้ำหนัก  $b$  แทนค่าไบอัส โดยทั้ง 2 ตัวเป็นตัวแปรที่ใช้เพื่อเบี่ยงเบนของระนาบแบ่ง  $x$  เป็นเวกเตอร์ของจุดภาพที่ใช้ในการสอนและบางกรณีไม่สามารถแยกแยะข้อมูลได้ถูกต้อง ทำให้ต้องมีการกำหนดตัวแปรเพื่อยอมรับค่าความผิดพลาด โดยตัวแปรที่เพิ่มขึ้น คือ  $\xi$  (Slack variable) และสามารถคำนวณค่า ดังสมการที่ 2.24

$$\min_{w,b,\xi_1,\dots,\xi_k} \left[ \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^k \xi_i \right] \quad (2.24)$$

เมื่อ  $\xi_i \geq 0$  คือ ตัวแปรเพื่อยอมรับค่าความผิดพลาดซึ่งจะเป็นการวัดค่าความผิดพลาดที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่เหมาะสม  $C$  เป็นค่าคงที่ที่ใช้สำหรับกำหนดค่าความผิดพลาดในการแยกกลุ่มข้อมูล ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจะอาศัยหลักการของการแปลงข้อมูลจากพื้นที่ข้อมูลนำเข้า (Input Space) ให้เป็นพื้นที่คุณลักษณะ (Feature Space) ที่มีมิติสูงขึ้น ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแปลงข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้แบบไม่เป็นเชิงเส้นไปเป็นขนาดพื้นที่คุณลักษณะที่ใหญ่ขึ้นผ่านฟังก์ชันเคอร์เนล (kernel function  $K$  เป็น  $\Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j)$ ) ส่วนการแบ่งแยกคลาสโดยใช้ระนาบแบ่งแยกหลายมิติที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบไม่เป็นเชิงเส้น ใช้สมการที่ 2.25

$$f(x) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i K(x_i \bullet x_j) + b\right) \quad (2.25)$$

เมื่อ  $\text{sgn}$  หมายถึง ถ้าค่าที่ได้มากกว่า 0 จะเป็น +1 ถ้าน้อยกว่า 0 จะเป็น -1,  $K$  เป็นเคอร์เนล เป็นสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณ  $C$  เป็นค่าคงที่ที่ใช้สำหรับกำหนดค่าความ

ผิดพลาดในการแยกกลุ่มข้อมูล "." เป็นผลคูณเวกเตอร์ (Dot product) ระหว่าง 2 เวกเตอร์,  $b$  เป็นค่าไบอัส สำหรับเคอร์เนลของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนที่พบบ่อยในการใช้งาน มี 3 เคอร์เนลคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.26 ถึง 2.28 ได้แก่

เคอร์เนลแบบโพลีโนเมียล (Polynomial kernel)

$$K(x_i \bullet x_j) = (\gamma x_i \bullet x_j + b)^d \quad (2.26)$$

เคอร์เนลแบบอาร์บีเอฟ (Radial Basis Function (RBF) kernel)

$$K(x_i \bullet x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2) \quad (2.27)$$

เคอร์เนลแบบซิกมอยด์ (Sigmoid kernel)

$$K(x_i \bullet x_j) = \tanh[\gamma(x_i \bullet x_j) + b] \quad (2.28)$$

เมื่อ  $\gamma$ ,  $d$  และ  $b$  เป็นค่าคงที่ของพารามิเตอร์ของแต่ละเคอร์เนล

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า เคอร์เนลที่นิยมนำมาใช้เพราะ ค่าความถูกต้องสูง คือ เคอร์เนลแบบอาร์บีเอฟ (Ge, Ling, Qiong, Hui, and Zhang, 2008; Kuo, Ho, Li, Hung, and Taur, 2014; Sakthi and Nedunchezian, 2014; Shahkoeei, Arekhi, and Kani, 2014) อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้ในด้านกรจำแนกข้อมูลทางด้านการรับรู้ระยะไกล พบว่านิยมใช้เคอร์เนลแบบซิกมอยด์ (Hadi, Rikie, and Ram, 2010; Elmannai, Loghmari, and Naceur, 2013; Hannv, Qigang, and Jiang, 2013) เพราะให้ผลลัพธ์ในการจำแนกที่ถูกต้องสูง

**2.9.1.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning)** เป็นการเรียนรู้โดยไม่มีคำตอบไว้ล่วงหน้าซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) แผนผังการจัดระเบียบตัวเอง (Self Organizing Map: SOM) เป็นกระบวนการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน ซึ่งตั้งชื่อตามผู้คิดค้น (Kohonen, 1995) ซึ่งนิยมนำมาใช้ในงานรู้จำการวิเคราะห์ข้อมูล และยังใช้เป็นเครื่องมือในการทำให้เห็นภาพในการเรียนรู้ของแผนผังการจัดระเบียบตัวเอง เริ่มจากการสุ่มค่าน้ำหนักให้กับนิวรอนแต่ละตัว ซึ่งสุ่มจากค่าข้อมูลนำเข้า ในการเรียนรู้แต่ละรอบ ข้อมูลนำเข้าจะถูกสุ่มมาแล้วหาระยะห่างระหว่างข้อมูลกับค่าน้ำหนักของนิวรอนแต่ละตัว โดยที่นิวรอนที่มีค่าน้ำหนักที่ใกล้ที่สุด จะเรียกนิวรอนดังกล่าวว่าเป็นนิวรอนผู้ชนะ มีการนำมาใช้ในการพยากรณ์ราคาหุ้น (พร้อมพงษ์ สุกกันสี, 2552) และใช้ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์น้ำท่า (Chang, Chang, and Wang, 2007)

2) เคมีน (K-Means) เป็นกระบวนการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนที่ง่ายที่สุด โดยอัลกอริทึมเคมีนตัดแบ่งวัตถุออกเป็น  $K$  กลุ่ม โดยแทนแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ซึ่งใช้เป็นจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของกลุ่มในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน (Alsabti, Ranka, and

Singh, 1997) ในขั้นแรกของการจัดกลุ่มโดยการหาค่าเฉลี่ยแบบเคย์ต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม (K) ที่ต้องการ และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นจำนวน K จุด ขั้นตอนที่ต่อไป คือ สร้างกลุ่มข้อมูลและความสัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางที่ใกล้มากที่สุด โดยแต่ละจุดถูกกำหนดไปยังจุดศูนย์กลางที่ใกล้เคียงที่สุดจนครบหมดทุกจุด และคำนวณจุดศูนย์กลางใหม่ โดยการหาค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม หากจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มถูกเปลี่ยนตำแหน่ง จะได้จุดที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มใหม่และใกล้กับจุดศูนย์กลางใหม่ ทำซ้ำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ พบว่าผลลัพธ์จากการทำซ้ำแบบนี้ทำให้จุดศูนย์กลางเปลี่ยนตำแหน่งทุกรอบ จนกระทั่งจุดศูนย์กลางจำนวน K จุดไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงสิ้นสุดกระบวนการ

3) ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิถีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซี่ลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) (Sugeno and Yasukawa, 1993) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น นิยมนำไปประยุกต์ใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจ การพยากรณ์ สำหรับการประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์อุทกภัย ได้แก่ การนำแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก โครงข่ายประสาทเทียม และเจเนติก อัลกอริทึมมาผสมผสานให้มีการทำงานร่วมกัน เพื่อใช้ในการพยากรณ์ระดับน้ำให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น (ยุพา ชิดทอง และเสรี สุภราทิพย์, 2550; Thongwan and Homwuttiwong, 2011)

4) ชาโดวส์ซีมีน (Shadow C-mean) เป็นกระบวนการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Mitra, Pedrycz, and Barman, 2010) ซึ่งพัฒนาต่อยอดมาจากฟัซซี่ซีมีน (Fuzzy C-mean) หลักการทำงานของเทคนิคนี้ประกอบด้วยการกำหนดจำนวนกลุ่มเริ่มต้นในชุดข้อมูล (C) การกำหนดระดับค่าความเป็นสมาชิกในกลุ่มข้อมูลทุกตัวจะถูกนำมาคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิก ( $u_{ik}$ ) ในการหาตัวแทนกลุ่มแต่ละกลุ่มที่มีลักษณะสำคัญของกลุ่ม ( $V_i$ ) จากนั้นเป็นขั้นตอนการจัดข้อมูลเข้ากลุ่มแล้วค่อยมาปรับค่าความเป็นสมาชิกของสมาชิกทุกตัวในแต่ละกลุ่มและการปรับค่าตัวแทนจนกระทั่งตัวแทนปรับค่าศูนย์กลางของกลุ่มได้และค่าดัชนีที่วัดความผิดพลาดของการจัดการกลุ่มมีค่าน้อยลงจนถึงจุดที่แสดงว่าการจัดกลุ่มข้อมูลถูกต้อง สามารถอธิบายการทำงานได้โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ในการคำนวณค่าความเป็นสมาชิก ( $u_{ik}$ ) คำนวณค่าระยะทางระหว่างพิกเซล  $x_k$  และ  $V_i$  โดยใช้สมการ 2.29

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (d_{ik}/d_{jk})^{2/(M-1)}} \quad (2.29)$$

คำนวณค่า threshold ของแต่ละกลุ่ม โดยใช้สมการ 2.30

$$o(\lambda_i) = \left| \sum_{x_k | u_{ik} \leq \lambda_i} u_{ik} + \sum_{x_k | u_{ik} \geq u_{i_{max}} - \lambda_i} (u_{i_{max}} - u_{ik}) - \text{card}\{x_k | \lambda_i < u_{ik} < (u_{i_{max}} - \lambda_i)\} \right| \quad (2.30)$$

โดยความเป็นไปได้ของค่า threshold แต่ละกลุ่มจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าความเป็นสมาชิกที่น้อยที่สุดกับค่าความเป็นสมาชิกน้อยที่สุดบวกค่าความเป็นสมาชิกมากที่สุดหารด้วยสอง  $(u_{i_{min}}, (u_{i_{min}} + u_{i_{max}})/2)$ .

อัปเดตค่าจุดศูนย์กลางโดยใช้สมการ 2.31

$$v_i = \frac{A+B+C}{\emptyset_i + n_i + \psi_i} \quad (2.31)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } A &= \sum_{x_k | u_{ik} \geq u_{i_{max}} - \lambda_i} x_k & B &= \sum_{x_k | \lambda_i < u_{ik} < (u_{i_{max}} - \lambda_i)} (u_{ik})^m x_k \\ C &= \sum_{x_k | u_{ik} \leq \lambda_i} (u_{ik})^{m^m} x_k & \emptyset_i &= \text{card}\{x_k | u_{ik} \geq (u_{i_{max}} - \lambda_i)\}, \\ n_i &= \sum_{x_k | \lambda_i < u_{ik} < (u_{i_{max}} - \lambda_i)} (u_{ik})^m & \psi_i &= \sum_{x_k | u_{ik} \leq \lambda_i} (u_{ik})^{m^m} \end{aligned}$$

$x_k$  ใน A หมายถึง ค่า Gray ของพิกเซลที่จัดอยู่ในกลุ่ม Core Zone โดยที่พิจารณา ค่าความเป็นสมาชิกจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดลบด้วย Threshold ถ้าพิกเซลใดตรงตามเงื่อนไขดังกล่าวจะถูกรับรวมอยู่ใน A

$x_k$  ใน B หมายถึง ค่า Gray ของพิกเซลที่จัดอยู่ในกลุ่ม Shodow Zone โดยที่พิจารณาค่าความเป็นสมาชิกจะต้องมากกว่าค่า Threshold และน้อยกว่าค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดลบด้วย Threshold ถ้าพิกเซลใดตรงตามเงื่อนไขดังกล่าวจะถูกรับรวมอยู่ใน B โดยนำ  $(u_{ik})^m$  คูณด้วย  $x_k$

$x_k$  ใน C หมายถึง ค่า Gray ของพิกเซลที่จัดอยู่ในกลุ่ม Exclusion Zone โดยที่พิจารณาค่าความเป็นสมาชิกจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ถ้าพิกเซลใดตรงตามเงื่อนไขดังกล่าวจะถูกรับรวมอยู่ใน C

$\lambda_i$  เป็นค่าเทรชโฮลด์ของ  $i^{\text{th}}$

$\psi$  ถ้าค่าความเป็นสมาชิกน้อยกว่า threshold ให้หาผลรวม  $(u_{ik})^{m^m}$

$n_i$  ถ้าค่าความเป็นสมาชิกมากกว่า threshold และน้อยกว่าค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดลบด้วย threshold ให้หาผลรวม  $(u_{ik})^m$

$\emptyset_i$  ถ้าค่าความเป็นสมาชิกมากกว่าหรือเท่ากับค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดลบด้วย threshold ให้เพิ่มค่าขึ้นอีกครั้งละ 1

## 2.9.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการด้านอุทกภัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ พบว่า มีการนำเทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการพยากรณ์อุทกภัย รวมถึงนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย ได้แก่ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม เจเนติกอัลกอริทึม และ ฟัชชีลอจิก แบบจำลองประเภทนี้ได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลอินพุตที่ไม่ยุ่งยากเหมือนกับแบบจำลองทางอุทกวิทยา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ใช้เฉพาะปัจจัยน้ำฝนน้ำท่า และกลุ่มที่ใช้ปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**2.9.2.1 การนำเทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการพยากรณ์น้ำท่วมโดยใช้ปริมาณน้ำฝนน้ำท่า** ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้ มีการนำเสนอการนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นและแบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชันมาใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า บริเวณพื้นที่ตอนบนของประเทศอินเดีย (Deshmukh and Ghatol, 2010) แบบจำลองนี้พัฒนาขึ้นมาโดยใช้การประมวลผลข้อมูลออนไลน์ โดยการนำเสนอวิธีการและเทคนิค ประกอบด้วย 2 แบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในระยะสั้น ผลการพยากรณ์ของวิธีเรเดียลเบสิสฟังก์ชันพบว่ามีประสิทธิภาพน่าพึงพอใจ สามารถพยากรณ์น้ำได้ล่วงหน้าเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวิธีเรเดียลเบสิสฟังก์ชันเหมาะสมมากกว่าวิธีเพอร์เซปตรอนหลายชั้น และสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการพยากรณ์น้ำท่วมในระยะสั้นได้เช่นเดียวกับการศึกษาที่นำเสนอการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำในที่เกิดเก็บน้ำของประเทศกรีซ (Lekkaset al., 2004) ผลการศึกษาพบว่า สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำได้ล่วงหน้า 7 ชั่วโมง ความถูกต้องแม่นยำค่อนข้างสูง และการศึกษาโดยนำเสนอการนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชันมาใช้ในการพัฒนาโมเดลเพื่อพยากรณ์น้ำฝน-น้ำท่า สามารถพยากรณ์ล่วงหน้าได้ 3 ชั่วโมง ผลการศึกษา พบว่า สามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชันสามารถพยากรณ์น้ำท่วมได้อย่างถูกต้องเช่นเดียวกัน (Chang, Liang, and Chen, 2001)

นอกจากนี้มีการใช้เทคนิคทฤษฎีฟัชชีลอจิกในการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนและประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการตรวจสอบฟัชชีโมเดล (Thongwan and Homwuttiwong, 2011) ปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และรังสีจากดวงอาทิตย์ โมเดลที่นำเสนอใช้ในการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนบริเวณแม่น้ำชี โดยใช้ข้อมูลในอดีตซึ่งบันทึกไว้ทุก 5 นาที โดยแสดงผลที่ได้จากโมเดลเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่มีการบันทึกไว้จริง นอกจากนี้ยังนำเสนอผลการตรวจสอบโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมอีกด้วย ซึ่งการใช้ฟัชชีลอจิกและเจเนติกอัลกอริทึม สามารถประมาณค่าปริมาณน้ำฝนโดยใช้ปัจจัยพื้นฐานทางด้านอุทกวิทยา ประกอบด้วย 4 ตัวแปร ที่สามารถประมาณค่าปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ



**2.9.2.2 การนำเทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการพยากรณ์น้ำท่วมโดยใช้ปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ** (Kia, Pirasteh, Pradhan, Mahmud, Sulaiman, and Moradi, 2012) โดยนำเสนอการพัฒนาแบบจำลองน้ำท่วมโดยใช้หลาย ๆ ปัจจัย ผ่านเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำลองพื้นที่น้ำท่วมในบริเวณทางใต้ของคาบสมุทรมาเลเซีย ซึ่งใช้ 7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน ความสูง ทิศทางการไหล ปริมาณการไหลสะสม คุณสมบัติของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และธรณีวิทยา ข้อมูลแต่ละปัจจัยสร้างโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าสามารถจำลองน้ำท่วมได้อย่างถูกต้องและสามารถนำไปใช้ช่วยในท้องถิ่น และรัฐบาลในประเทศในการวางแผนในอนาคต เพื่อป้องกันชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน สอดคล้องกับการนำเสนอการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองและคาดการณ์การเกิดอุทกภัย (Napolitano, 2011) ปัจจัยที่ใช้ในการพยากรณ์ประกอบด้วยลักษณะทางธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณน้ำฝน พื้นที่กักเก็บน้ำ และข้อมูลระดับน้ำ ผลการศึกษาพบว่าสามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำได้ถูกต้อง และมีการนำเสนอการตรวจสอบการแพร่กระจายของพื้นที่น้ำท่วม โดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ และระบบภูมิสารสนเทศ (Chatrsimab, Nikmanesh, and Shaba, 2005) โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามีการพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่นอกเหนือ จากปริมาณน้ำฝนน้ำท่า ได้แก่ ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การระบายน้ำของดิน ธรณีวิทยา และความหนาของตะกอน ในประเทศอิหร่าน ผลการศึกษาพบว่า ฟิชชิลอจิกให้ผลที่ดีที่สุดในการตรวจสอบการแพร่กระจายของน้ำท่วม แต่ข้อเสียของแบบจำลองประเภทนี้ คือ ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเหตุผลที่แต่ละพื้นที่เกิดอุทกภัยนั้นมาจากสาเหตุใด

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่าการใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์เพื่อพยากรณ์อุทกภัย โดยมีปัจจัยนำเข้า 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน และปัจจัยทางกายภาพในแต่ละพื้นที่ ส่วนเทคนิคที่นิยมนำไปใช้ ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียม ฟิชชิลอจิก เจเนติกอัลกอริทึม และแผนผังการจัดระเบียบตัวเอง

## 2.10 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปและเปรียบเทียบกระบวนการวิจัยของงานวิจัยดังกล่าวกับงานวิจัยนี้ดังรายละเอียดตารางที่ 2.2 ถึง 2.4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

**2.10.1 ด้านการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ** แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.2 พบว่า วิธีการที่นิยมใช้และให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ การจำแนกแม่น้ำโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดปานกลาง โดยใช้เทคนิคดัชนีผลต่างความชื้นประเภทต่าง ๆ ในการจำแนก ข้อดีของวิธีการดังกล่าว

ได้แก่ ความละเอียดเชิงสเปกตรัมสูง ทำให้สามารถจำแนกสิ่งปกคลุมประเภทต่าง ๆ ได้ดี ทั้งในส่วนที่เป็นพืชพรรณและแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตาม พบว่ายังมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถตรวจสอบหรือจำแนกแม่น้ำสายย่อยหรือแม่น้ำขนาดเล็กได้ อีกทั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกยังมีสิ่งแปลกปลอม (Artifact) หรือยังคงเหลือพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ใช่แหล่งน้ำหลงเหลืออยู่ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเทคนิคการจำแนกแหล่งน้ำหรือแม่น้ำโดยใช้วิธีการหลอมรวมข้อมูลระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้ดัชนี 2 ประเภท ได้แก่ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ MNDWI ร่วมกับเทคนิคซอฟต์แวร์เคเตอร์แมชชีน และการจำแนกบริเวณแบบฟอนปรน ผลการศึกษาพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม สามารถจำแนกแม่น้ำสายย่อยได้ รวมถึงสามารถกำจัดพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ใช่แหล่งน้ำได้

**2.10.2 ด้านการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของน้ำ** พบว่า มีการคิดค้นอัลกอริทึมสำหรับวิเคราะห์ทิศทางกรไหลอย่างแพร่หลาย เช่น D8 MD8 DEMON D $\infty$  MD $\infty$  เป็นต้น โดยการใช้วิธีการคำนวณค่าความสูง ความลาดชัน จากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ซึ่งมีวิธีการคำนวณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละอัลกอริทึม โดยทิศทางกรไหลและการไหลสะสมที่นำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยส่วนใหญ่นิยมใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทางด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น อาร์คจีไอเอส ซึ่งใช้อัลกอริทึม D8 ในการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของน้ำ ข้อจำกัดของอัลกอริทึมดังกล่าว ได้แก่ ทิศทางกรไหลที่ได้จากการวิเคราะห์มักจะเกิดความไม่ต่อเนื่อง และเส้นทางน้ำขาดหายไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบ การใช้เทคนิคดังกล่าวส่งผลให้ทิศทางกรไหลและขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง ทำให้เมื่อนำข้อมูลทิศทางกรไหลของน้ำไปใช้งานร่วมกับข้อมูลแบบจำลองส่งผลต่อความถูกต้องในการจำลองอุทกภัย วิธีการแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ นำแบบจำลองความสูงไปปรับระดับด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งกับแผนที่ขอบเขตแม่น้ำในรูปแบบเวกเตอร์ หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางกรไหลของน้ำจากแบบจำลองความสูงที่ปรับระดับแล้ว ซึ่งข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ความถูกต้องขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ ความถูกต้องของเวกเตอร์แมพ นอกจากนี้การใช้เทคนิคนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวรทำให้มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์หาค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน (Slope) และอาจนำไปสู่ค่าความสูงที่ไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.3

**2.10.3 ด้านการพัฒนาหรือนำทิศทางกรไหลไปใช้สำหรับการจำลองอุทกภัย** จากการศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเด็นหลัก แสดงในตารางที่ 2.4 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**2.10.3.1 ระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System)** ในที่นี้หมายถึง การนำระบบภูมิสารสนเทศไปใช้ในการวิเคราะห์หรือแสดงผลทิศทางการไหลซึ่งในส่วนนี้ พบว่า งานวิจัยทั้งหมดจำเป็นต้องใช้ระบบภูมิสารสนเทศ เพราะระบบภูมิสารสนเทศมีความสามารถในการแสดงผลค่าพิกัดของแต่ละจุดหรือแต่ละพื้นที่ที่ทำให้ทราบตำแหน่งจริงบนพื้นโลกของทิศทางการไหลในแต่ละพื้นที่

**2.10.3.2 วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหล (Flow Direction Analysis Method)** แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังต่อไปนี้

1) การศึกษากรณีวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยวิธีการเดิม (Original Flow Direction) โดยส่วนใหญ่วิธีการนี้ใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทางด้านภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่มีอยู่ ได้แก่ D8 MD8 D $\infty$  MD $\infty$  ซึ่งทิศทางการไหลเหล่านี้จะพิจารณาเฉพาะความสูงต่ำของพื้นที่จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขเท่านั้น (Directions Based on DEM) จากผลการศึกษา พบว่า กรณีที่พื้นที่ศึกษามีลักษณะทางกายภาพไม่ใช่พื้นที่ราบ วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการจำลองอุทกภัยได้อย่างถูกต้อง แต่กรณีที่พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ราบผลลัพท์ที่ได้เกิดความผิดพลาด

2) การพัฒนาทิศทางการไหล (Flow Direction Development) ในส่วนนี้เป็นการพัฒนาวิธีการอื่น ๆ ซึ่งนอกเหนือจากวิธีการเดิมเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของวิธีการที่ใช้อยู่ ในส่วนนี้ พบว่า ยังไม่มีการพัฒนาทิศทางการไหลที่รองรับทั้งความสูงต่ำของพื้นที่และแหล่งน้ำเพื่อนำไปใช้สำหรับการปรับปรุงผลการจำลองอุทกภัย มีเฉพาะการพัฒนาเทคนิคที่คิดเฉพาะความสูงต่ำของพื้นที่เปรียบเทียบกับวิธีการที่พัฒนาก่อน ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2.3

3) การใช้เทคนิคสตรีมเบิร์นนิ่ง (Stream Burning Technique) เทคนิคนี้ใช้ในกรณีพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ราบหรือเกิดปัญหาที่ทิศทางการไหลที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง รวมทั้งไม่สามารถระบุขอบเขตลุ่มน้ำได้ ซึ่งเมื่อมีการใช้เทคนิคสตรีมเบิร์นนิ่งร่วมด้วยวิธีการดังกล่าวจะไม่ได้พิจารณาเพียงลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่จากแบบจำลองความสูงเชิงเลขเท่านั้น แต่พิจารณาเส้นทางน้ำหรือแม่น้ำร่วมด้วย โดยพิจารณาจากข้อมูลเวกเตอร์แมพซึ่งทำให้สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลขได้ อย่างไรก็ตาม พบว่า ยังมีข้อจำกัด ดังกล่าวข้างต้นในหัวข้อ 2.10.2

4) ทิศทางการไหลที่พิจารณาเฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Directions Based on DEM) โดยวิธีการนี้จะพิจารณาเฉพาะลักษณะความสูงต่ำของภูมิประเทศเท่านั้น ซึ่งทิศทางการไหลที่ใช้ในโปรแกรมสำเร็จรูปหรือทิศทางการไหลแบบเดิมจะพิจารณาเฉพาะความสูงต่ำของพื้นที่เท่านั้น

5) ทิศทางการไหลที่พิจารณาข้อมูลการรับรู้ระยะไกล (Directions Based on Remote Sensing Data) วิธีการนี้พิจารณาข้อมูลอื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อให้ทิศทางการไหลที่ได้มีความสอดคล้องกับแนวลำน้ำ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีเฉพาะวิธีการสตรีมเบิร์ตน์นึ่งเท่านั้นที่มีการพิจารณาข้อมูลเวกเตอร์แมพแม่น้ำประกอบการวิเคราะห์ทิศทางการไหลซึ่งจำเป็นต้องมีเวกเตอร์แมพแม่น้ำที่ได้จากการดิจิไทซ์

**2.10.3.3 วัตถุประสงค์ในการศึกษา (Objective)** ในที่นี้ หมายถึง งานวิจัยดังกล่าวพัฒนาหรือนำทิศทางการไหลไปใช้เพื่อ 3 วัตถุประสงค์ ได้แก่ เพื่อจำลองอุทกภัย (Flood Simulation) เพื่อจำลองภัยพิบัติอื่น ๆ (Other Simulation) และเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพหรือความถูกต้องของวิธีการเดิม (Improvement) จากการศึกษา พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการนำทิศทางการไหลไปใช้ในการจำลองอุทกภัย และมีบางส่วนนำไปใช้ในการจำลองภัยพิบัติอื่น ๆ ได้แก่ การชะล้างพังทลายของดิน ดินถล่ม

เมื่อเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่า มีทั้งส่วนที่เหมือนกัน และแตกต่างกัน ซึ่งส่วนที่เหมือนกัน ได้แก่ งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยพิจารณาความสูงต่ำของแต่ละพื้นที่ การใช้ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อระบุตำแหน่งพิกัดแต่ละพื้นที่เพื่อให้ทราบถึงทิศทางการไหลในแต่ละจุด ส่วนประเด็นที่แตกต่าง ได้แก่ ทิศทางการไหลที่พัฒนาในงานวิจัยนี้พิจารณาทั้งความสูงต่ำของแต่ละพื้นที่และขอบเขตแหล่งน้ำหรือแม่น้ำ โดยไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลที่ได้จากการดิจิไทซ์โดยวิธีการแมนนวล อีกทั้งจากการศึกษา พบว่า ยังไม่มีวิธีการใดที่นำการจำแนกแม่น้ำโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขมาใช้ร่วมกับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขในกระบวนการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ ดังนั้น งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพื่อใช้สำหรับการจำลองการเกิดอุทกภัย โดยใช้การประมวลผลรูปภาพเชิงเลข การประมวลผลภาพ และการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ รวมถึงการหลอมรวมข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อแก้ไขปัญหาหรือข้อจำกัดจากวิธีการเดิม

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการจำแนกหรือตรวจสอบบริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำ

No.	Reference	Method				Data						Result		
		Water Index	AI	Data Fusion	Other Method	High Res	Mid Res	SAR	Vector Map	Aerial	DSM	Main River	Branch/Small River	Remove Noise
1	Dillabaugh et al., (2002)				/(A*)	/						/	/	
2	Xu (2006)	/					/					/		
3	She et al., (2008)				/(Spectral Similarity)		/					/		
4	Xiao et al., (2008)				/(GVF)			/				/	/	/
5	Silveira and Heleno (2009)				/(Level Set)			/	/			/	/	/
6	Wang et al., (2009)				/(Gabor)	/						/		
7	Yue et al., (2010)	/	/				/					/		
8	Zhao et al., (2010)				/(Canny)		/					/		
9	Chao and Sheng (2011)	/					/					/		
10	Haibo et al., (2011)	/					/					/		

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการจำแนกหรือตรวจสอบบริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำ (ต่อ)

No.	Reference	Method				Data						Result		
		Water Index	AI	Data Fusion	Other Method	High Res	Mid Res	SAR	Vector Map	Aerial	DSM	Main River	Branch/Small River	Remove Noise
11	Subramaniam and Saxena (2011)	/	/				/					/		
12	Xiaoliang et al., (2011)			/				/				/		
13	Wang et al., (2013)	/			/ (K-T Transform)		/					/		
14	Li et al., (2013)	/					/					/		
15	Rokni et al., (2014)	/					/					/		
16	Jiang et al., (2014)	/					/					/		
*	2015	/	/	/			/				/	/	/	/

หมายเหตุ \* คือ งานวิจัยนี้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ

No.	Reference	Directions based on DEM					Directions based on DEM and RS Data		Direction Method		Result/Limitation
		D8	D∞	MD8	MD∞	DEMON	Stream burning	Automatic Method	GIS Software	Implemented Algorithms	
1	Tarboton (2003)	/	/							/	D8 ไม่เหมาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ D∞ ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากกว่า
2	Kiss (2004)	/							/		D8 ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง D∞ ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากกว่า
3	Erskine et al., (2006)	/	/	/	/	/					ผลที่ได้จากไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง วิธี DEMON มีความซับซ้อนและยากในการนำไปใช้
4	Boonklong et al., (2007)	/							/		ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริง

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของน้ำ (ต่อ)

No.	Reference	Directions based on DEM					Directions based on DEM and RS Data		Direction Method		Result/Limitation
		D8	D∞	MD8	MD∞	DEMON	Stream burning	Automatic Method	GIS Software	Implemented Algorithms	
5	Zhao et al., (2009)	/		/					/		MD8 ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากกว่า
6	Bartak (2009)	/	/	/	/						MD∞ ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากที่สุด
7	Getirana et al., (2009)	/					/				ต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แม่น้ำ
8	Al-Muqdadi and Merkel (2011)	/	/							/	D∞ ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากกว่า
9	Isared and Ekasit (2012)	/					/		/		ต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แม่น้ำที่ถูกต้อง



ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของน้ำ (ต่อ)

No.	Reference	Directions based on DEM					Directions based on DEM and RS Data		Direction Method		Result/Limitation
		D8	D $\infty$	MD8	MD $\infty$	DEMON	Stream burning	Automatic Method	GIS Software	Implemented Algorithms	
10	Isioye et al., (2012)	/							/		D8 ไม่เหมาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ อีกทั้งผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง
11	Chen et al., (2013)	/		/						/	MD8 ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากกว่า
12	Deilami et al., (2013)	/					/		/		ถ้าแบบจำลองความสูงเชิงเลขไม่มีความละเอียดสูงขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน
13	Mao et al., (2014)	/					/			/	ต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แม่ข่าย
*	-	/								/	

หมายเหตุ \* คือ งานวิจัยนี้

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาหรือนำทิศทางทางไกลไปใช้สำหรับการจำลองอุทกภัยและด้านอื่น ๆ

Method	Literature Review							
	1	2	3	4	5	6	7	*
<b>Geographic Information System</b>	/	/	/	/	/	/	/	/
<b>Flow Direction Analysis Method</b>								
Original flow direction	/	/	/	/	/	/	/	/
Develop flow direction								/
Stream burning					/			
Directions based on DEM	/	/	/	/	/	/	/	/
Directions based on RS Data					/			/
<b>Objective</b>								
Flood Simulation	/	/	/	/	/	/	/	/
Other Simulation								
Improvement								/
<b>Reference</b>	Elkhrachy (2015)	Zhang et al., (2015)	Zhang et al., (2015)	El Hassan et al., (2014)	Zhang and Pan (2014)	Duvvuri and Narasimhan (2013)	Mohammadi and Costelloe (2013)	

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาหรือนำทิศทางกรไหลไปใช้สำหรับการจำลองอุทกภัยและด้านอื่น ๆ (ต่อ)

Method	Literature Review							
	8	9	10	11	12	13	14	*
<b>Geographic Information System</b>	/	/	/	/	/	/	/	/
<b>Flow Direction Analysis Method</b>								
Original flow direction	/	/	/	/	/	/	/	/
Develop flow direction								/
Stream burning								
Directions based on DEM	/	/	/	/	/	/	/	/
Directions based on RS Data								/
<b>Objective</b>								
Flood Simulation	/	/	/	/	/	/	/	/
Other Simulation								
Improvement								/
<b>Reference</b>	Yahya and Narasimha (2013)	Dominita (2012)	Kia et al., (2012)	Nourani et al., (2011)	Kwak et al., (2011)	Dominita et al., (2010)	Dominita et al., (2010)	

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาหรือนำทิศทางทางไหลไปใช้สำหรับการจำลองอุทกภัยและด้านอื่น ๆ (ต่อ)

Method	Literature Review							
	15	16	17	18	19	20	21	*
<b>Geographic Information System</b>	/	/	/	/	/	/	/	/
<b>Flow Direction Analysis Method</b>								
Original flow direction	/	/	/	/	/	/	/	/
Develop flow direction								/
Stream burning					/	/	/	
Directions based on DEM	/	/	/	/	/	/	/	/
Directions based on RS Data					/	/	/	/
<b>Objective</b>								
Flood Simulation	/	/	/	/		/	/	/
Other Simulation								
Improvement					/	/		/
<b>Reference</b>	Wang et al., (2010)	El-Magd et al., (2010)	Yahya et al., (2010)	Dominita et al., (2009)	Getirana et al., (2009)	Zhao et al., (2009)	Chen and Xie (2008)	

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาหรือนำทิศทางกรไหลไปใช้สำหรับการจำลองอุทกภัยและด้านอื่น ๆ (ต่อ)

Method	Literature Review							
	22	23	24	25	26	27	28	*
<b>Geographic Information System</b>	/	/	/	/	/	/	/	/
<b>Flow Direction Analysis Method</b>								
Original flow direction	/	/	/	/	/	/	/	/
Develop flow direction								/
Stream burning	/							
Directions based on DEM	/	/	/	/	/	/	/	/
Directions based on RS Data	/							/
<b>Objective</b>								
Flood Simulation	/	/	/	/				/
Other Simulation					/	/	/	
Improvement								/
<b>Reference</b>	Zheng et al., (2008)	Sane and Huokuna (2008)	Zhu (2007)	Huggel et al., (2003)	Mohd Yusof and Rodziah (2014)	Park et al., (2013)	Wang and Esaki (2008)	

หมายเหตุ \* คือ งานวิจัยนี้

## 2.11 ข้อจำกัดและแนวทาง

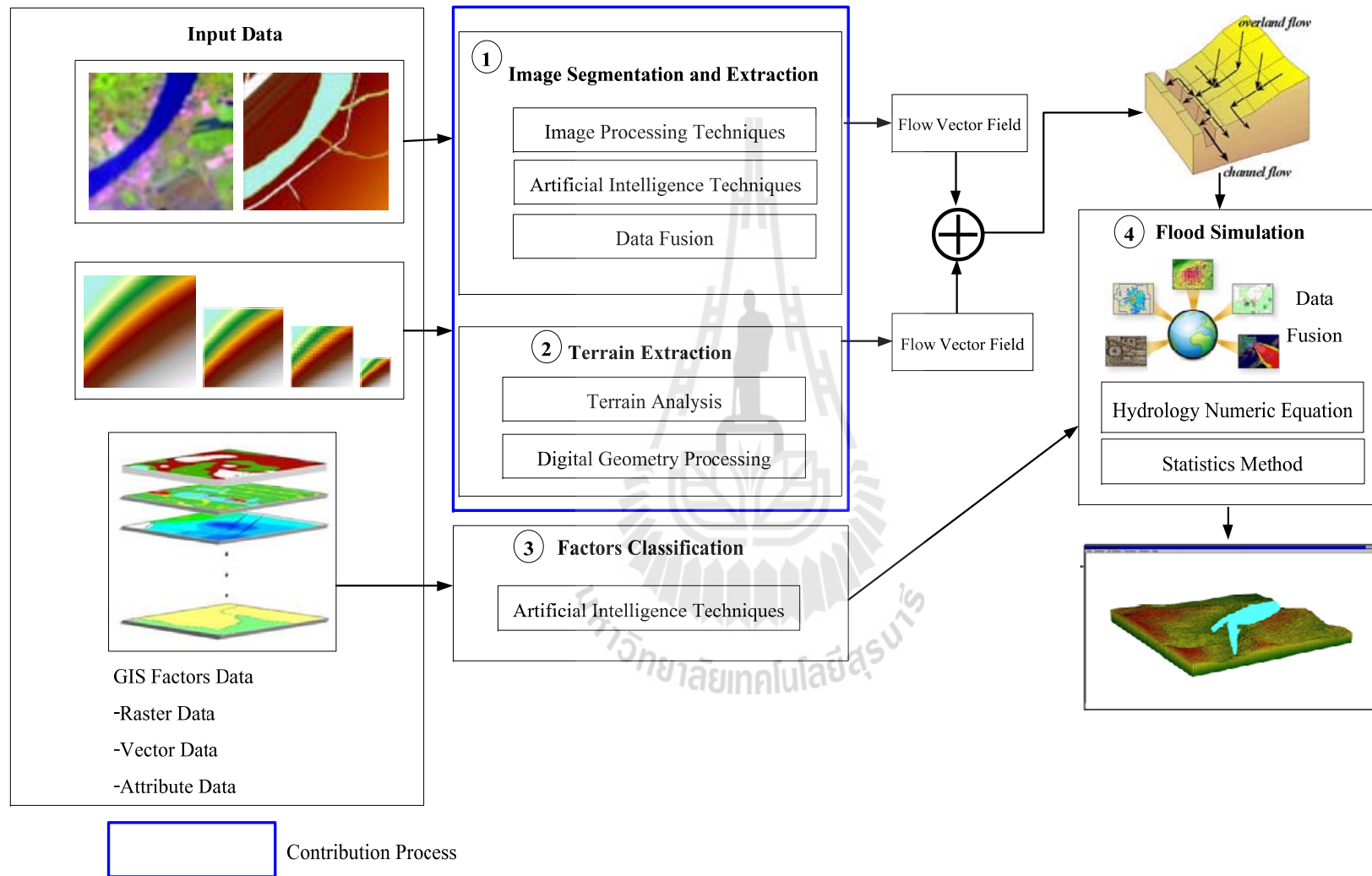
จากการทบทวนปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

**2.11.1 ความถูกต้องของแบบจำลองขึ้นอยู่กับความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลข** ซึ่งข้อจำกัดที่มี คือ ผู้ใช้แบบจำลองส่วนใหญ่ใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขหรือเส้นชั้นความสูงที่มีอยู่ เพราะข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีราคาแพงและหาได้ยากในระดับความละเอียดที่ต้องการ นอกจากนี้ผู้ใช้ไม่สามารถทราบได้ว่าควรใช้ความละเอียดระดับใดจึงจะมีความเหมาะสม เพราะระดับความละเอียดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับสภาพแต่ละพื้นที่ อีกทั้งการเตรียมข้อมูลดังกล่าวเพื่อให้ใช้ได้ทุกสถานการณ์มีขั้นตอนที่ยุ่งยาก ซับซ้อน

**2.11.2 ทิศทางการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึม D8 หรืออัลกอริทึมอื่น ๆ** การใช้อัลกอริทึมใดอัลกอริทึมหนึ่งเพียงวิธีเดียว ผลลัพธ์ที่ได้มักจะเกิดความไม่ต่อเนื่องและ เส้นทางน้ำขาดหายไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบการใช้เทคนิคดังกล่าวส่งผลให้ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง

**2.11.3 วิธีการแก้ไขข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ทิศทางการไหล การไหลสะสม และหาขอบเขตลุ่มน้ำ** มีการแก้ไขข้อผิดพลาดโดยใช้วิธีการนำแบบจำลองความสูงไปปรับระดับด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งกับแผนที่ขอบเขตแม่น้ำในรูปแบบเวกเตอร์ชนิดเส้นมีข้อจำกัด คือ ความถูกต้องขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ ความถูกต้องของเวกเตอร์แมพ เป็นต้น อีกทั้งถ้าไม่มีข้อมูลแผนที่ขอบเขตแม่น้ำในรูปแบบเวกเตอร์ชนิดเส้นไม่สามารถใช้วิธีการนี้ได้

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัยเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยใช้การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข การประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ รวมถึงการหลอมรวมข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยเพื่อแสดงขอบเขตการเกิดอุทกภัยในจังหวัดปทุมธานีโดยสามารถสรุปกรอบแนวคิดการวิจัยได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กรอบแนวคิดการวิจัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึง วิธีการวิจัยซึ่งประกอบด้วย การออกแบบและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและการไหลสะสมสำหรับจำลองอุทกภัย การประเมินประสิทธิภาพของการจำลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและการไหลสะสมสำหรับแบบจำลองอุทกภัย เพื่อใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยและแสดงขอบเขตการเกิดอุทกภัยในจังหวัดปทุมธานี โดยใช้การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข เทคนิคการประมวลผลภาพ และการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ รวมถึงการหลอมรวมข้อมูลภูมิสารสนเทศประเภทเวกเตอร์และแรสเตอร์ โดยมีขั้นตอนการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก มีรายละเอียดดังนี้

##### 3.1.1 การออกแบบและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำสำหรับการจำลองอุทกภัย

การออกแบบและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำสำหรับการจำลองอุทกภัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก (รูปที่ 3.1) ได้แก่ กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำ (Water Boundary Classification) การสกัดคุณลักษณะภูมิประเทศ (Terrain Extraction) การเลือกปัจจัยและระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย และการจำลองอุทกภัย ทั้งนี้เนื้อหาสรุปการพัฒนาและการทดลองที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วยแต่ละหัวข้อ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ส่วนแรก ได้แก่ กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เทคนิคการหลอมรวมข้อมูล และเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (Horkaew, Puttinaovarat and Khaimook, 2015; Puttinaovarat, Horkaew, Khaimook, and Polnigongit, 2015c; Puttinaovarat, Horkaew, Khaimook, and Polnigongit, 2015a) โดยส่วนนี้เป็นการจำแนกเพื่อให้ได้มาซึ่งขอบเขตแม่น้ำที่ถูกต้อง สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ทิศทางการไหลในส่วนที่สองเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการไหล



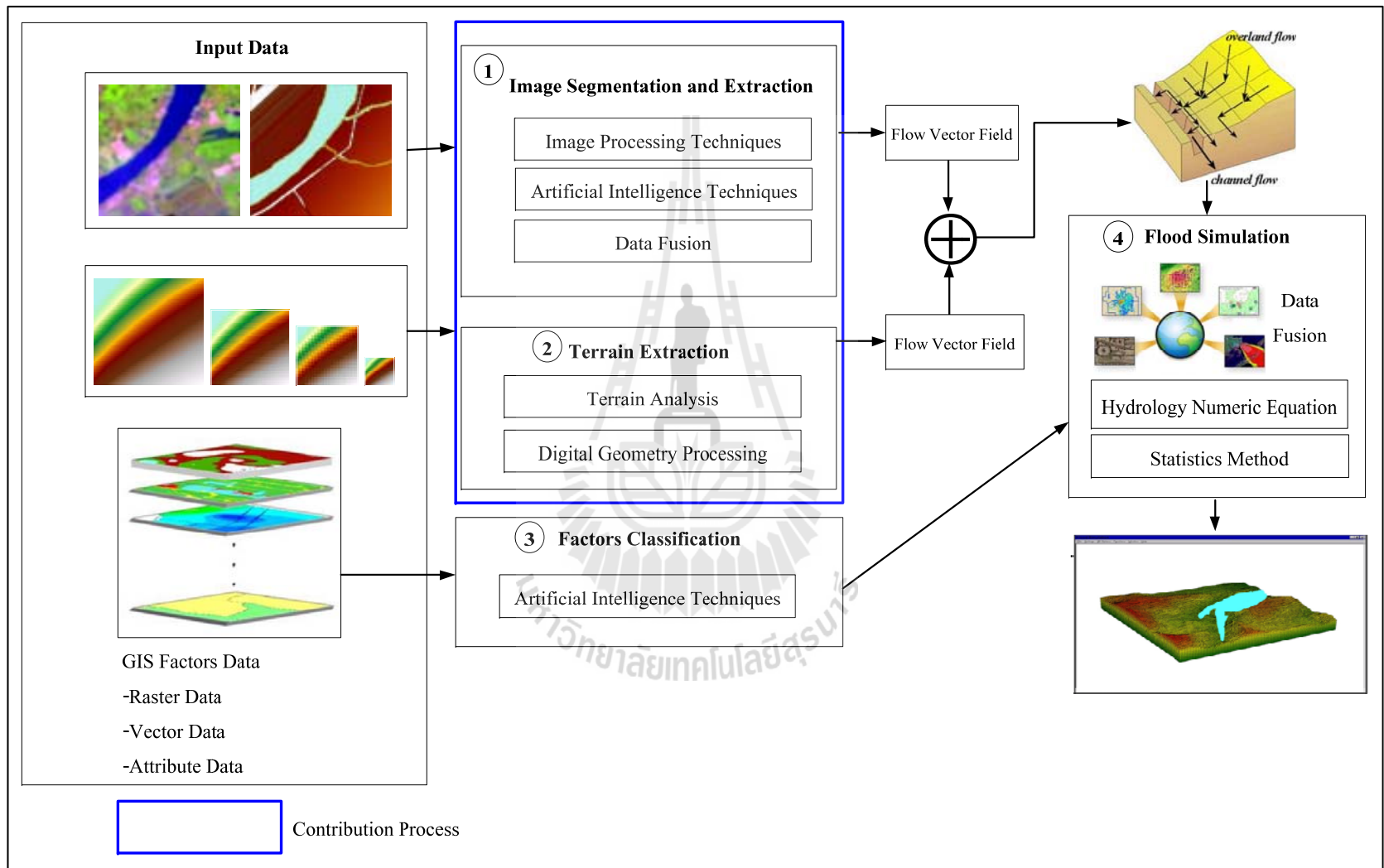
2) ส่วนที่สอง ได้แก่ การสกัดคุณลักษณะภูมิประเทศ โดยใช้การวิเคราะห์ ภูมิประเทศการประมวลผลเรขภาพเชิงเลข โดยสกัดจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ร่วมกับ ข้อมูลที่ได้จากการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ (สุพัตรา พุฒินาวรัตน์, ปรเมศวร์ ห่อแก้ว, คณิต ไช่มุคค์ และวีรพงษ์ พลนิกรกิจ, 2558; Puttinaovaratt, Horkaew, Khaimook, and Polnigongit, 2015b) ส่วนนี้เป็นกระบวนการในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยวิธีการที่พัฒนา เพื่อแก้ปัญหา ของวิธีการเดิมสำหรับการนำไปใช้ในการจำลองอุทกภัย

3) ส่วนที่สาม ได้แก่ การเลือกปัจจัยและระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการ เกิดอุทกภัย และส่วนสุดท้าย ได้แก่ การจำลองการเกิดอุทกภัย โดยนำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 3 ขั้นตอน ข้างต้น มาใช้ร่วมกับสมการทางอุทกวิทยา วิธีการทางสถิติ และเทคนิคการหลอมรวมข้อมูล เพื่อ วิเคราะห์และจำลองการเกิดอุทกภัย (Puttinaovaratt, Khechonrak, Khaimook, and Horkaew, 2013; Puttinaovaratt, Horkaew, and Khaimook, 2014) โดยส่วนนี้เป็น การนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ รวมทั้งทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนา ไปใช้ในการจำลองอุทกภัย

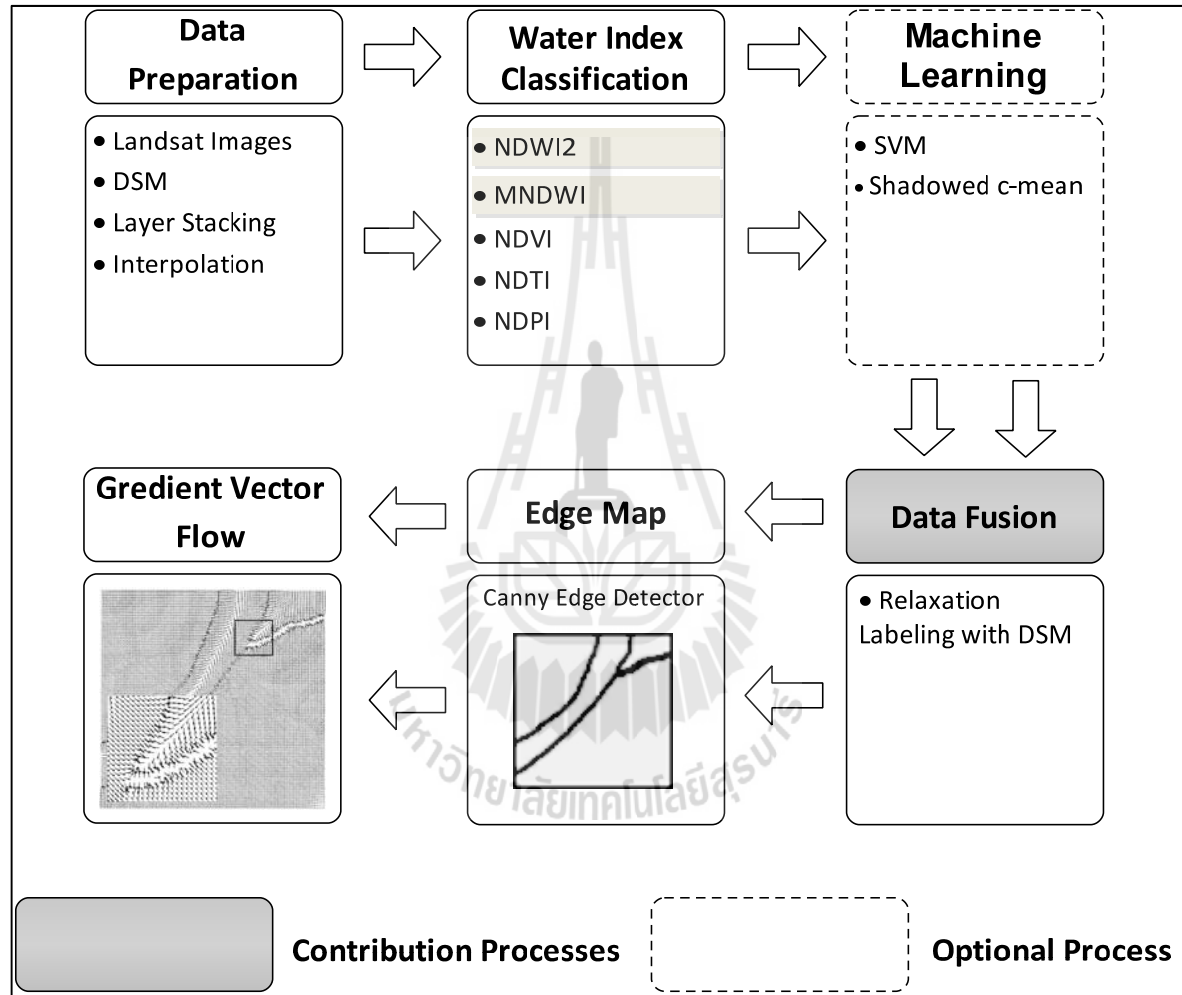
สำหรับขั้นตอนการพัฒนาประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**3.1.1.1 กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข** ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนย่อย แสดงดังรูปที่ 3.2 ได้แก่ การเตรียมข้อมูล การวิเคราะห์ดัชนีผลต่างความชื้น การเรียนรู้ของเครื่อง การหลอมรวม ข้อมูล การหาเส้นขอบภาพ และการไหลเวคเตอร์เกรเดียนต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับ แบ่งส่วนภาพเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 5 (อย่างไร ก็ตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 7 และ 8 ได้ แต่ใน งานวิจัยนี้เลือกใช้แลนด์แซท 5 เพราะต้องใช้ข้อมูลแม่น้ำก่อนเกิดอุทกภัย แต่ภาพถ่ายดาวเทียม แลนด์แซท 7 และ 8 ยังไม่มีการบันทึกข้อมูลในช่วงเวลานั้น งานวิจัยนี้จึงไม่สามารถใช้ภาพถ่าย ดาวเทียมแลนด์แซท 7 และ 8 ได้) โดยภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทที่ใช้ควรเลือกใช้ประเภท L1 ซึ่ง ประกอบด้วย 7 แบนด์ ก่อนนำภาพไปใช้งานต้องดำเนินการรวมทั้ง 7 แบนด์เข้าด้วยกันโดยใช้ กระบวนการ Layer Stacking สำหรับแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข มีความละเอียดเท่ากับ 5 เมตร แต่ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 5 มีความละเอียด 30 เมตร ดังนั้นในขั้นตอนการเตรียม ข้อมูลเพื่อให้สามารถนำข้อมูลทั้ง 2 ประเภทที่มีความละเอียดแตกต่างกันไปใช้ร่วมกันได้ จึงใช้ วิธีการประมาณค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 5 ให้มีความละเอียดเท่ากับ 5 เมตร โดยวิธีการ ประมาณค่าที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การประมาณค่าแบบไบลิเนียร์ (Bilinear Interpolation) เพราะ การประมาณค่าดังกล่าวให้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมากพอและมีความถูกต้องสูง อีกทั้งมีความ เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

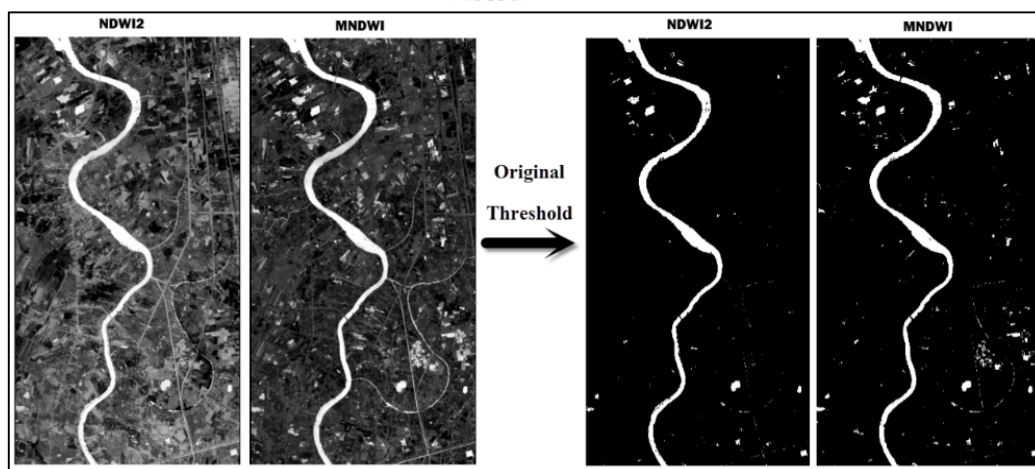


รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดของแบบจำลองอุทกภัย

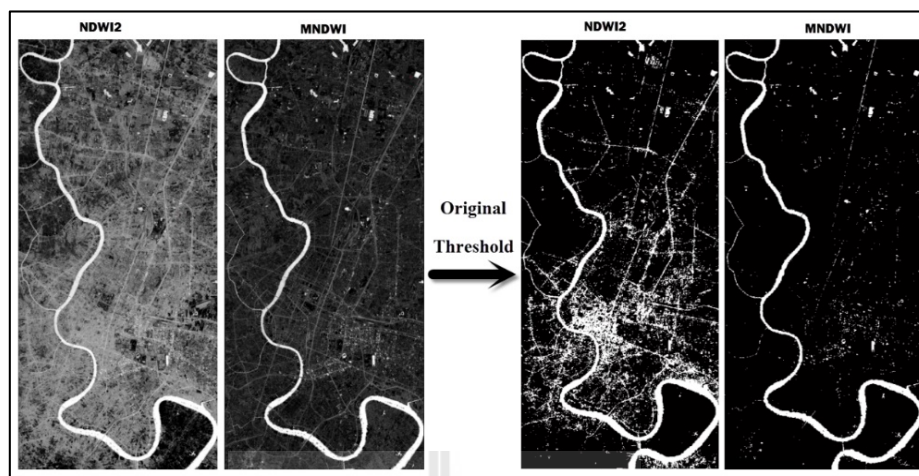


รูปที่ 3.2 กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำ

2) การวิเคราะห์ดัชนีผลต่างความชื้น (Water Indices Classification) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ดัชนีผลต่างความชื้น 2 ประเภท ได้แก่ แบบ NDWI2 และ แบบ MNDWI เพราะจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการทดสอบเบื้องต้นกับการจำแนกขอบเขตแม่น้ำเจ้าพระยาโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของปทุมธานี (รูปที่ 3.3) และกรุงเทพมหานคร (รูปที่ 3.4) คือ พื้นที่บริเวณที่เป็นแม่น้ำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่ามากกว่าศูนย์ พบว่า ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 เหมาะสำหรับพื้นที่ที่บริเวณโดยรอบแม่น้ำประกอบด้วยพืชพรรณ แต่ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ MNDWI เหมาะสำหรับพื้นที่ที่บริเวณโดยรอบแม่น้ำประกอบด้วยอาคาร สิ่งก่อสร้าง หรือพื้นที่ชุมชน จากภาพแสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการจำแนกขอบเขตแม่น้ำของจังหวัดปทุมธานี การใช้ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 เหมาะสมมากกว่าการใช้ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ MNDWI เพราะผลลัพธ์ที่ได้มีสัญญาณรบกวนน้อยกว่า ในทางกลับกันถ้าต้องการจำแนกขอบเขตแม่น้ำของจังหวัดกรุงเทพมหานครวิธีการ MNDWI ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมมากกว่า อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เลือกใช้ทั้ง 2 ดัชนี เพื่อให้รองรับกับการนำไปใช้งานได้ทั้งพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท นอกจากนี้จากผลลัพธ์ในภาพแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกยังมีปัญหา 2 ประการ ได้แก่ สิ่งแปลกปลอมหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกยังมีพื้นที่ประเภทอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำหลงเหลืออยู่ อีกทั้งยังไม่สามารถจำแนกแม่น้ำสายย่อยได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการจำแนกคุณลักษณะแม่น้ำจากแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข การกำจัดสิ่งแปลกปลอมโดยใช้การจำแนกบริเวณแบบฟ่อนปรน และการหลอมรวมข้อมูลที่ได้จากการจำแนก เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้ค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนแซท 5 ในช่วงแบนด์สีเขียวอินฟราเรดกลาง และอินฟราเรดใกล้ ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 3.3 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณจังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 3.4 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณจังหวัดกรุงเทพมหานคร

### 3) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

งานวิจัยนี้นำทฤษฎีการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอนและไม่มีผู้สอน 2 วิธี ได้แก่ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และชาโควส์ ซีมีน (Shadowed c-mean) มาใช้ในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำจากค่าดัชนีผลต่างความชื้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน งานวิจัยนี้ใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ในขั้นตอนการจำแนกบริเวณที่เป็นขอบเขตแม่น้ำและไม่ใช่อขอบเขตแม่น้ำจากค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI เหตุผลที่เลือกใช้เทคนิคนี้เพราะ ข้อมูลที่ใช้ในการจำแนกไม่จำเป็นต้องเป็นการกระจายแบบปกติ และถึงแม้จะใช้จำนวนข้อมูลสำหรับสอนน้อย แต่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่าวิธีการอื่น ๆ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการนำภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทที่ได้ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI มาฝึกสอน เรียนรู้ เพื่อสร้างเป็นโมเดล นำไปใช้ในการจำแนกหาขอบเขตแม่น้ำ โดยในขั้นตอนนี้นำค่าเวกเตอร์ของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีผลต่างความชื้นทั้ง 2 แบบ มาสอนให้ระบบเรียนรู้ โดยคลาสเป้าหมายประกอบด้วย 2 คลาส ได้แก่ ขอบเขตแม่น้ำ ไม่ใช่อขอบเขตแม่น้ำ ซึ่งภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการทดสอบ คือ ภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดปทุมธานี จำนวน 415 ภาพ ส่วนเคอร์เนลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จากการศึกษาและจากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า เคอร์เนลที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำจากค่าดัชนีผลต่างความชื้น ได้แก่ เคอร์เนลแบบอาร์บีเอฟ และแบบซิกมอยด์ (Horkaew, Puttinaovarat and Khaimook, 2015a) จากผลการทดลอง พบว่า ความถูกต้องในการจำแนกของเคอร์เนลแบบอาร์บีเอฟ และแบบซิกมอยด์ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณา

ภาพผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า เคอร์เนลแบบอาร์บีเอฟให้ภาพที่สมบูรณ์ครบถ้วน ขอบแม่น้ำไม่ขาดหาย หรือแห้ว (Puttinaovarut, Horkaew, Khaimook, and Polnigongit, 2015b) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เคอร์เนลแบบอาร์บีเอฟในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ

3.2) ซาโดวส์ ซีมีน งานวิจัยนี้ใช้ซาโดวส์ ซีมีนในขั้นตอนการจัดกลุ่มเพื่อจำแนกบริเวณที่เป็นขอบเขตแม่น้ำและไม่ใชขอบเขตแม่น้ำจากค่าดัชนีผลต่างความชื้น เหตุผลที่เลือกใช้เทคนิคนี้เพราะหลักการของซาโดวส์ ซีมีน แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการกรองวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปได้ สามารถสรุปขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม ดังรูปที่ 3.5 และสามารถอธิบายการทำงานได้โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. Initial mean for each of cluster centers were defined as  $V_i$ ,  $i = 1, \dots, C$ , where  $C$  was the number of classes, i.e., 2 for water and non-water. The fuzzification coefficient ( $m$  parameter) was fixed at 2 and the maximum iteration number was set to 100.
2. Compute membership  $u_{ik}$  for the  $i^{\text{th}}$  cluster (water and non-water) using equation (2.29).
3. Compute threshold  $\lambda_i$  for each cluster according to equation (9), whereby the range of feasible value of  $\lambda_i$  for the  $i^{\text{th}}$  class was within the open interval  $(u_{imin}, (u_{imin}+u_{imax})/2)$ .
4. Update the mean,  $V_i$  using equation (2.31).
5. Repeat step 2 to step 4, until the convergence of cluster centers.

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนของอัลกอริทึมซาโดวส์ ซีมีน

3.2.1) กำหนดจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่ม การกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Fuzzification Coefficient ( $m$  Parameter) เป็นจำนวนจริงที่มีผลต่อการควบคุมผลของค่าความเป็นสมาชิก (Weighting Factor) ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้  $m=2$  ในสมการที่ใช้  $m^m$  เพราะต้องการลดค่าความเป็นสมาชิกในกลุ่ม Exclusion Zone นอกจากนี้กำหนดจำนวนรอบสูงสุดที่ใช้ ( $t_{max}$ ) และกำหนดค่าจุดศูนย์กลางของกลุ่มข้อมูล

3.2.2) คำนวณค่าความเป็นสมาชิก ( $u_{ik}$ ) คำนวณค่าระยะทางระหว่างพิกเซล  $x_k$  และ  $V_i$  โดยใช้สมการ 2.29

3.2.3) คำนวณค่า Threshold ของแต่ละกลุ่ม โดยใช้สมการ 2.30

3.2.4) อัปเดตค่าจุดศูนย์กลาง โดยใช้สมการ 2.31

3.2.5) ทำซ้ำข้อ 2 ถึง 4 จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มหรือตามจำนวนรอบที่กำหนด

จากคำอธิบายข้างต้นจะได้จุดศูนย์กลางของทั้ง C กลุ่ม ออกมาจากนั้นจึงนำศูนย์กลางทั้งหมดที่ได้มาใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยการวัดระยะห่างระหว่างข้อมูลที่พิจารณา กับทุก ๆ จุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม หากระยะห่างระหว่างข้อมูลที่พิจารณากับจุดศูนย์กลางของกลุ่มใดมีค่าน้อยที่สุดก็สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลดังกล่าวถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มนั้น

#### 4) การหลอมรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้นำเสนอการนำแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมาใช้ในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการจำแนกแม่น้ำจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม แลนด์แซท 5 เพราะข้อจำกัดของข้อมูลดังกล่าว คือ ความละเอียดอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้นจึงไม่สามารถจำแนกแม่น้ำสายย่อย หรือคลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำได้ แต่แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีความละเอียดสูง ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องการจำแนกแม่น้ำสายย่อยหรือคลองส่งน้ำได้ แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขแสดงค่าความสูงบนพื้นผิวที่ปกคลุมพื้นผิวภูมิประเทศที่แท้จริง ซึ่งรวมค่าระดับความสูงของเรือนยอดของต้นไม้ หรือค่าระดับความสูงบนหลังคาบ้าน จึงมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้เพื่อจำแนกหาอาคาร สิ่งก่อสร้าง หรือแม้กระทั่งวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เกิดอุทกภัย หรือหาบริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำ แต่โดยทั่วไปการใช้ค่าความสูงจากแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขในการแยกระหว่างขอบเขตแม่น้ำ และบริเวณที่ไม่ใช่แม่น้ำ ไม่มีเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อย่างแน่ชัดว่าขอบเขตแม่น้ำมีระดับความสูงอยู่ในระดับใดหรือมากน้อยเพียงใด (แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละพื้นที่ภูมิประเทศ) แต่สามารถระบุได้เบื้องต้นว่า พื้นที่ที่มีความสูงต่ำ ๆ (กลุ่มที่มีค่าความสูงที่ต่ำที่สุดในภาพ) มีความน่าจะเป็นขอบเขตแม่น้ำสูง ส่วนพื้นที่ที่มีความสูงมากมีความน่าจะเป็นสิ่งปกคลุมหรือลักษณะภูมิประเทศ (Land Cover/Landform Type) ประเภทอื่น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงหลอมรวมข้อมูลระหว่างการจำแนกแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมกับข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิว จากข้อจำกัดของภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 5 คือ ความละเอียดอยู่ในระดับปานกลาง (15 ถึง 30 เมตร) จึงไม่สามารถจำแนกเพื่อหาแม่น้ำสายย่อยได้ ดังนั้นก่อนนำไปใช้ในการจำแนกเพื่อให้สามารถหลอมรวมข้อมูลเข้ากับแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขต้องประมาณค่าให้มีความละเอียดเท่ากับแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข คือ ความละเอียดที่ระดับ 5 เมตร โดยในขั้นตอนการหลอมรวมข้อมูล หลังจากจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทด้วยเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในแต่ละพิกเซล ขั้นตอนต่อไป คือ หาค่าความน่าจะเป็นเบื้องต้นของแต่ละพิกเซล โดยใช้สมการที่ 3.1 โดยเทอมแรกของสมการใช้งานสำหรับภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งผ่านการวิเคราะห์ด้วยดัชนีผลต่างความชื้นแบบ NDWI2 และ MNDWI หลังจากนั้นใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมาใช้จำแนกเพื่อระบุว่าแต่ละพิกเซลเป็นบริเวณแม่น้ำหรือไม่ใช่แม่น้ำ ส่วนค่าที่ได้จะนำมาใช้ในเทอมแรกของสมการ ส่วนเทอมที่สองของสมการใช้ข้อมูล

แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยปกติถ้าค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีค่าต่ำความน่าจะเป็นที่บริเวณนั้นจะเป็นบริเวณแม่น้ำก็ย่อมมีโอกาสสูง แต่ถ้าค่าความสูงมีค่าสูงความน่าจะเป็นที่บริเวณนั้นจะเป็นบริเวณแม่น้ำต่ำ

$$P(i) = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x(i)-\mu)^2}{2\sigma^2}} + (1 - DSM_i) \right] \quad (3.1)$$

เมื่อ  $P(i)$  เป็นค่าความน่าจะเป็นเบื้องต้นของพิกเซล  $ithx$  ( $i$ ) เป็นผลลัพธ์การจำแนกที่ได้จากการใช้ซอฟต์แวร์เวกเตอร์แมชชีน  $\mu$  เป็นค่าเฉลี่ย  $\sigma$  เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $DSM_i$  เป็นค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขของพิกเซล  $ith$  ซึ่งผ่านกระบวนการนอร์มัลไลซ์เซชันให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

เมื่อได้ค่าความน่าจะเป็นเบื้องต้น ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะมีสิ่งแปลกปลอมหรือบริเวณซึ่งไม่ใช่แม่น้ำหลงเหลืออยู่ ดังนั้นวิธีการกำจัดสิ่งแปลกปลอมหรือพื้นที่อื่น ๆ จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นโดยพิจารณาจากพิกเซลรอบข้าง งานวิจัยนี้ใช้วิธีการจำแนกบริเวณแบบพออนปรนมาใช้ในการกำจัดส่วนเกิน (เงาของอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง) ที่ได้จากการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำหรือแหล่งน้ำ โดยการจำแนกบริเวณแบบพออนปรนเป็นการเพิ่มความน่าจะเป็นให้กับแต่ละจุดภาพโดยพิจารณาจากจุดภาพรอบข้าง ว่าจุดภาพรอบข้างเป็นองค์ประกอบใดหรือเป็นพื้นที่บริเวณที่เป็นแหล่งน้ำหรือไม่ใช่แหล่งน้ำ โดยพิจารณาจากค่าความสว่างของพิกเซลรอบข้าง นอกจากนี้ยังพิจารณาจากค่าเกรเดียนต์ของพิกเซลรอบข้าง ซึ่งสามารถระบุหรือกำหนดค่าน้ำหนักได้ว่าต้องการให้ค่าความสว่างหรือค่าเกรเดียนต์มีความสำคัญมากกว่ากัน ดังนั้นถ้าบริเวณรอบข้างเป็นแหล่งน้ำ จุดที่พิจารณาจะมีความเป็นไปได้ว่าจะเป็นแหล่งน้ำเช่นเดียวกัน ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดจำนวนรอบที่ใช้ในการอัปเดตหรือเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นอยู่ที่ 20 รอบ โดยในการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นใช้สมการที่ 3.2 และ 3.3

$$q_i^k(\lambda) = \sum_j \sum_{\lambda'} r_{1ij}(\lambda, \lambda') p_i^k(\lambda')_{w_1} + \sum_j \sum_{\lambda'} r_{2ij}(\lambda, \lambda') p_i^k(\lambda')_{w_2} \quad (3.2)$$

$$p_i^{k+1}(\lambda) = p_i^k(\lambda) [1 + q_i^k(\lambda)] / \sum_{\lambda'} p_i^k(\lambda') [1 + q_i^k(\lambda')], \quad (3.3)$$

เมื่อ  $p_i^k(\lambda)$  เป็นค่าความน่าจะเป็นของพิกเซล  $i$  อยู่ในคลาส  $\lambda$

$q_i^k(\lambda)$  เป็นผลรวมของจำนวนพิกเซลรอบข้าง

$r_{1ij}(\lambda, \lambda')$  เป็นจำนวนพิกเซลรอบข้างของพิกเซล  $i$  ที่อยู่ในคลาส  $\lambda$

และ  $j$  ที่อยู่ในคลาส  $\lambda'$  (พิจารณาจากค่าความสว่างของแต่ละพิกเซล)

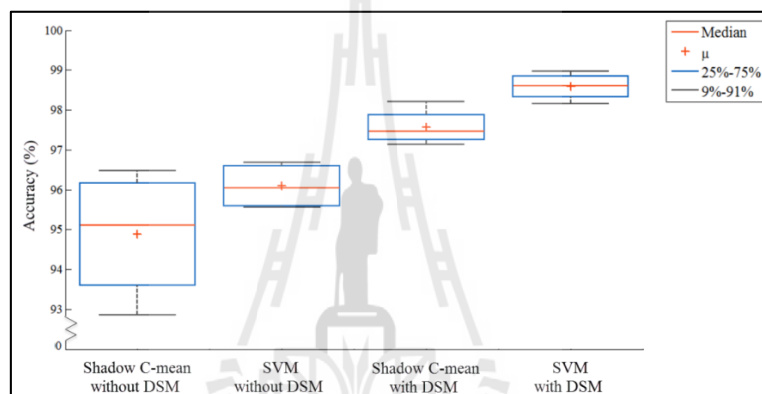
$r_{2ij}(\lambda, \lambda')$  เป็นจำนวนพิกเซลรอบข้างของพิกเซล  $i$  ที่อยู่ในคลาส  $\lambda$

และ  $j$  ที่อยู่ในคลาส  $\lambda'$  (พิจารณาจากค่าเกรเดียนต์ของแต่ละพิกเซล)



$w_1$  and  $w_2$  เป็นค่าน้ำหนักระหว่าง  $r_{1ij}(\lambda, \lambda')$  และ  $r_{2ij}(\lambda, \lambda')$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

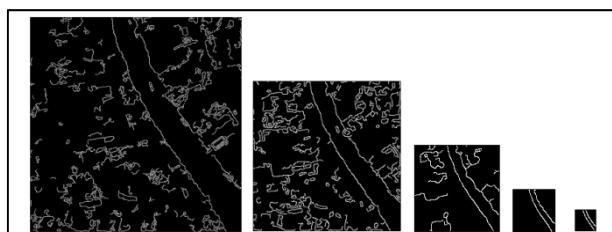
จากผลการจำแนกแม่น้ำโดยใช้เทคนิคทฤษฎีการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอนและไม่มีผู้สอน 2 วิธี ได้แก่ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และชาโดวส์ ซีมีน ร่วมกับการหลอมรวมข้อมูล ผลการศึกษาพบว่า เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนให้ผลลัพธ์ในการจำแนกซึ่งมีความถูกต้องมากกว่าเทคนิคชาโดวส์ ซีมีน แสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.6 ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนร่วมกับเทคนิคการหลอมรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำเพื่อนำไปใช้ต่อในขั้นตอนการหาเส้นขอบภาพและวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์



รูปที่ 3.6 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกแม่น้ำแต่ละวิธี

#### 5) การหาเส้นขอบภาพ

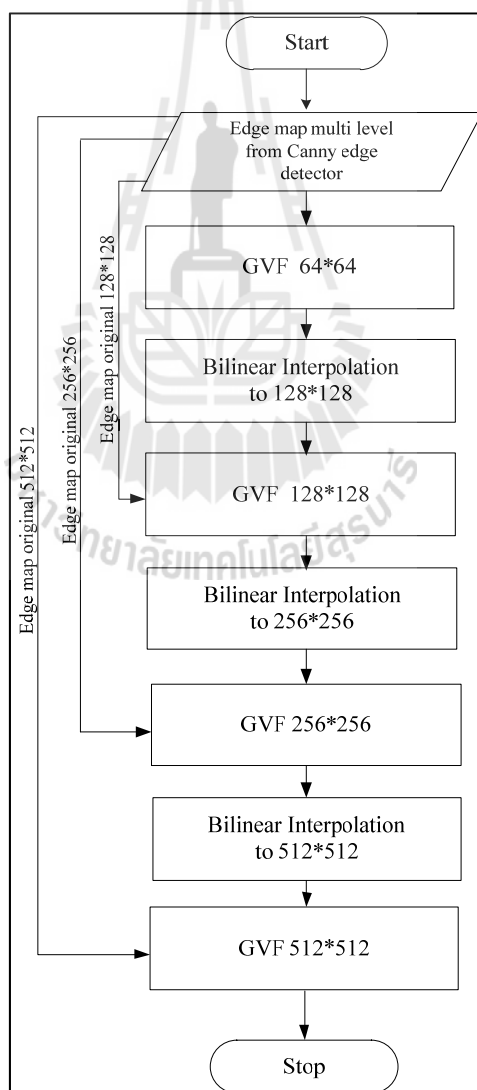
หลังจากได้ผลลัพธ์จากการจำแนกแหล่งน้ำ นำภาพดังกล่าวมาผ่านกระบวนการหาเส้นขอบภาพ เพื่อเตรียมขอบภาพไปใช้ต่อในกระบวนการหาทิศทางการไหลในขั้นตอนการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ โดยใช้เทคนิคการหาเส้นขอบโดยวิธีการแคนนี่ เพื่อหาเส้นขอบของแม่น้ำ คำนวณได้จากสมการที่ 2.12 ถึง 2.15 ตัวอย่างการหาเส้นขอบแสดงในรูปที่ 3.7



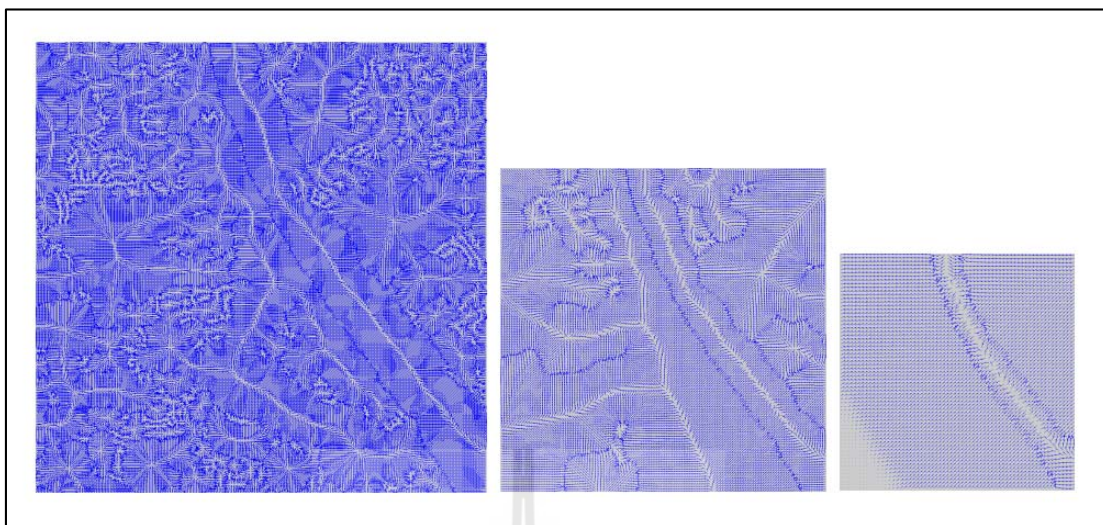
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการหาขอบภาพ

### 6) การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์

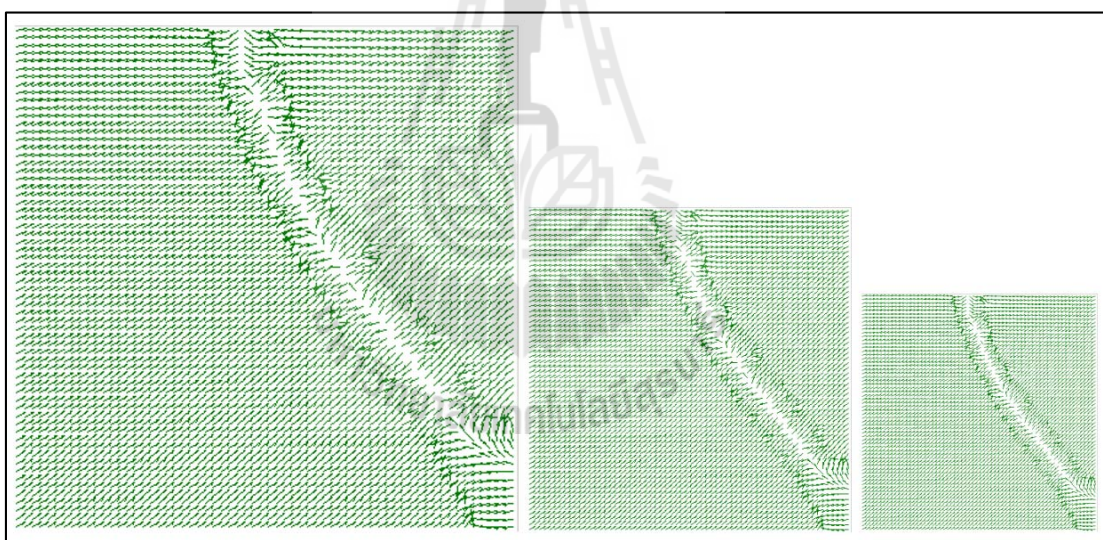
เมื่อได้ภาพจากการหาเส้นขอบภาพ มาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ด้วยการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์เพื่อหาทิศทางการไหลไปยังเส้นขอบแม่น้ำ บางกรณีภาพที่ได้ในแต่ละระดับความละเอียดนั้นยังมีส่วนเกินที่อยู่ในภาพ (รูปที่ 3.9) เนื่องจากภาพนั้นยังมีสิ่งแปลกปลอมซึ่งทำให้เวกเตอร์ทิศทางการไหลที่ได้เกิดความผิดพลาด วิธีการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากรูปภาพผลลัพธ์ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์แบบหลายความละเอียด มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.8 คือ นำเส้นขอบแต่ละระดับมาวิเคราะห์ด้วยการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ร่วมกับเวกเตอร์ที่ได้ในระดับก่อนหน้า ซึ่งผลที่ได้ทำให้เวกเตอร์ทิศทางการไหลที่ได้มีความถูกต้อง (รูปที่ 3.10) โดยสามารถคำนวณจากสมการ 2.9 2.10 และ 2.11



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์แบบหลายความละเอียด



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพจากการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างภาพจากการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์หลายความละเอียด

### 3.1.1.2 การสกัดคุณลักษณะภูมิประเทศ

การสกัดคุณลักษณะภูมิประเทศในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ร่วมกับการประมวลผลเรขภาพเชิงเลขโดยสกัดจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้ทราบถึงลักษณะภูมิประเทศ เช่น แอ่ง แม่น้ำ แนวร่องน้ำ เป็นต้น และใช้ในการสกัดแอททริบิวต์ภูมิประเทศ เช่น ความลาดชัน ทิศด้านลาด ความโค้งของพื้นผิวภูมิประเทศ เป็นต้น รวมถึงใช้ในการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยา (Hydrology Analysis) เพื่อหา

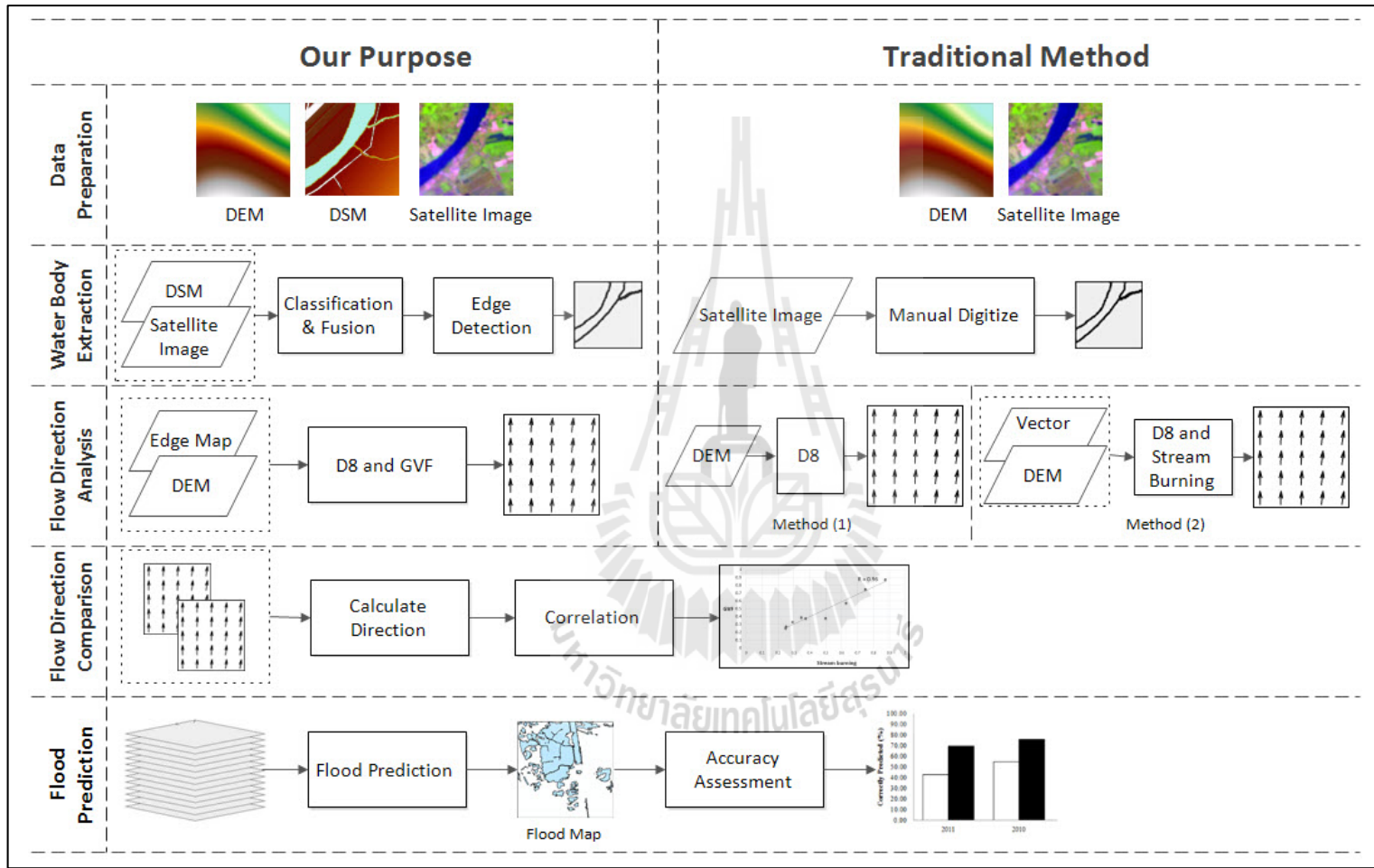
ทิศทางการไหล การไหลสะสม และการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการวิเคราะห์ภูมิประเทศ การประมวลผลเรขภาพเชิงเลข ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เพื่อใช้สำหรับการจำลองการเกิดอุทกภัยซึ่งมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.11 และมีรายละเอียดดังนี้

จากภาพด้านซ้ายมือเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ส่วนด้านขวามือเป็นวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและจำลองอุทกภัยแบบเดิม ข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์ทิศทางการไหลประกอบด้วยแบบจำลองความสูงเชิงเลข และภาพถ่ายดาวเทียม ขั้นตอนแรก กระบวนการเตรียมข้อมูล (Data Preparation) ทั้งวิธีการเดิมและวิธีการที่พัฒนามีสิ่งที่จะต้องดำเนินการเช่นเดียวกัน ได้แก่ การซ้อนทับภาพถ่ายดาวเทียมเข้าด้วยกัน (Stacking Operation) การประมาณค่าข้อมูล (Interpolation or Resample) เพื่อให้ข้อมูลที่มีความละเอียดต่างกันสามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้ การประทับจำภาพ (Image Registration) เพื่อให้ข้อมูลมีตำแหน่งพิกัดเดียวกันซ้อนทับกัน ไม่เกิดการเหลื่อมล้ำกัน ขั้นตอนที่สอง การจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ ส่วนนี้มีความแตกต่างกัน คือ วิธีการเดิมจำแนกขอบเขตแม่น้ำโดยใช้วิธีการดิจิทัล โดยใช้คนหรือผู้เชี่ยวชาญ เพื่อสร้างชั้นข้อมูลเวกเตอร์แม่น้ำ

ส่วนวิธีการที่พัฒนาใช้การจำแนกจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ การประมวลผลภาพ และการหลอมรวมข้อมูล ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้ คือ สามารถจำแนกแม่น้ำได้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย รวมถึงสามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมหรือพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งไม่ใช่แม่น้ำออกไปได้ อีกทั้งสามารถนำไปใช้ในการจำแนกแม่น้ำในพื้นที่อื่น ๆ ได้ ทำให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ขั้นตอนที่สาม การวิเคราะห์ทิศทางการไหล ในส่วนนี้วิธีการเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 2 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขเท่านั้น โดยพิจารณาเฉพาะความสูงต่ำของภูมิประเทศเท่านั้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ประสบปัญหาการฉีกขาดของพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ราบ ดังนั้น วิธีการที่ 2 จึงใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขร่วมกับเวกเตอร์แม่น้ำโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งและวิธีการ D8 หรือวิธีการอื่น ๆ ที่เลือกใช้ โดยปรับค่าระดับความสูงบริเวณแม่น้ำลง ซึ่งข้อจำกัดของวิธีการนี้ ได้แก่ ต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แม่น้ำเท่านั้นจึงจะใช้วิธีการนี้ได้ ความถูกต้องขึ้นอยู่กับความถูกต้องของเวกเตอร์แมพ ความถูกต้องขึ้นอยู่กับความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ยิ่งกว่านั้นวิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนค่าของแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวร ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดเมื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าอื่น ๆ สำหรับวิธีการที่พัฒนาไม่จำเป็นต้องมีเวกเตอร์แม่น้ำ เพราะข้อมูลแม่น้ำได้จากกระบวนการจำแนกจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยนำมาใช้งานร่วมกับการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ วิธีการ D8 และรองรับวิธีการแบบอื่น ๆ แต่ในงานวิจัยนี้ทดสอบเฉพาะวิธีการ D8 ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นในบทที่ 2 คือ จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่า ไม่ว่าจะเลือกใช้วิธีการใดก็ตาม

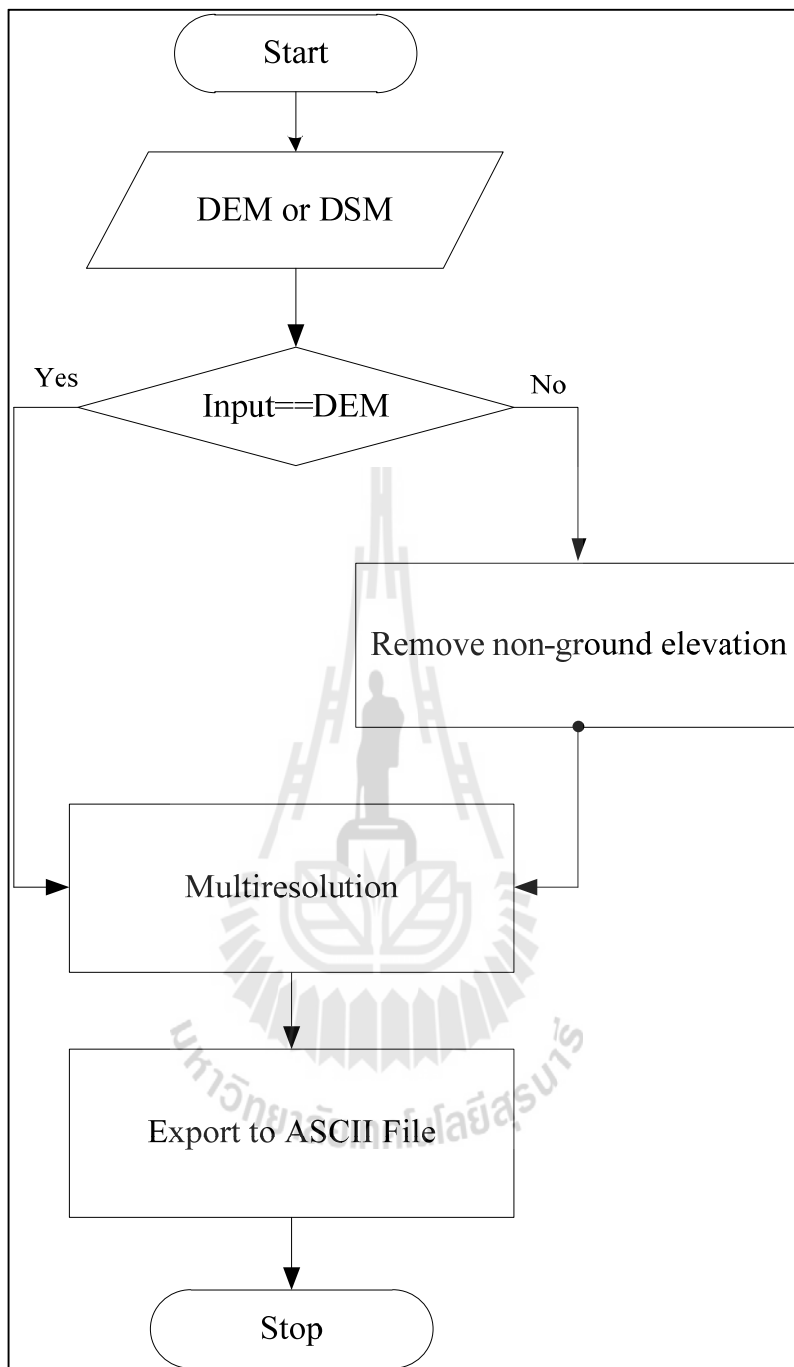
ผลลัพธ์ของทิศทางการไหลที่ได้ไม่แตกต่างกัน ประสบปัญหาทิศทางการไหลที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง ไม่สามารถระบุขอบเขตลุ่มน้ำหรือเส้นทางน้ำได้ หลังจากกระบวนการวิเคราะห์ทิศทางการไหล ขั้นตอนที่ดี คือ การเปรียบเทียบทิศทางการไหลที่ได้โดยเปรียบเทียบทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนากับวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง โดยใช้การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งผลที่ได้จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้าผลที่ได้มีค่า -1 แสดงว่า มีความสัมพันธ์ระดับสูงในทางลบ แต่ถ้าผลที่ได้เท่ากับ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในระดับสูงทางบวก นอกจากนี้ถ้าผลที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้วิเคราะห์ลักษณะการไหลโดยใช้เคิร์ล (Curl) และไดเวอร์เจนซ์ (Divergence) เพื่อวิเคราะห์ถึงความคล้ายคลึงเทียบกับวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งซึ่งถ้าค่าไดเวอร์เจนซ์ที่ได้มีค่าเป็นลบ พื้นที่ดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นพื้นที่รับน้ำ (Sink) ส่วนบริเวณที่มีค่าเป็นบวก พื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะเป็นพื้นที่ต้นน้ำหรือแหล่งจ่ายน้ำ (Source) และถ้าค่าที่ได้เท่ากับศูนย์ พื้นที่ดังกล่าวไม่เป็นทั้งพื้นที่ต้นน้ำและพื้นที่รับน้ำ สำหรับส่วนสุดท้าย คือ การจำลองหรือพยากรณ์การเกิดอุทกภัย ซึ่งในการจำลองใช้ทิศทางการไหลที่แตกต่างกัน ได้แก่ ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง และทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาในงานวิจัยนี้ ร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง ประเมินความถูกต้องเปรียบเทียบกับข้อมูลอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริงในอดีต

1) การเตรียมข้อมูลแบบจำลองความสูง (รูปที่ 3.12) แบบจำลองความสูงที่ใช้ในการจำลองอุทกภัยควรเป็นแบบจำลองความสูงที่มีเฉพาะค่าความสูงพื้นผิวดิน ดังนั้นถ้าใช้แบบจำลองความสูงชนิดแบบจำลองพื้นผิว ซึ่งจะรวมความสูงของวัตถุที่ปรากฏบนพื้นโลก รวมถึงความสูงของต้นไม้และสิ่งปลูกสร้าง จึงจำเป็นต้องมีการทอนค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศเป็นค่าความสูงพื้นผิวภูมิประเทศที่แท้จริงก่อน แต่ถ้าใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข ข้อมูลความสูงที่ได้อยู่ในรูปแบบความสูงพื้นผิวดินอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องตัดทอนค่า ซึ่งแสดงตัวอย่างแบบจำลองความสูงทั้ง 2 แบบในรูปที่ 3.13 หลังจากนั้นดำเนินการเตรียมแบบจำลองความสูงเชิงเลขในหลายความละเอียด (รูปที่ 3.14) โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบโพลีเนียร์ ซึ่งมีวิธีการคำนวณโดยนำเอาค่าความสูงของจุดภาพเดิม 4 จุดที่อยู่รอบ ๆ ตำแหน่งของจุดภาพใหม่มา เพื่อใช้คำนวณหาค่าความสูงใหม่ วิธีนี้ข้อมูลที่ได้หลังการประมาณค่าในช่วงจะมีความเรียบหรือมีความต่อเนื่องของข้อมูล

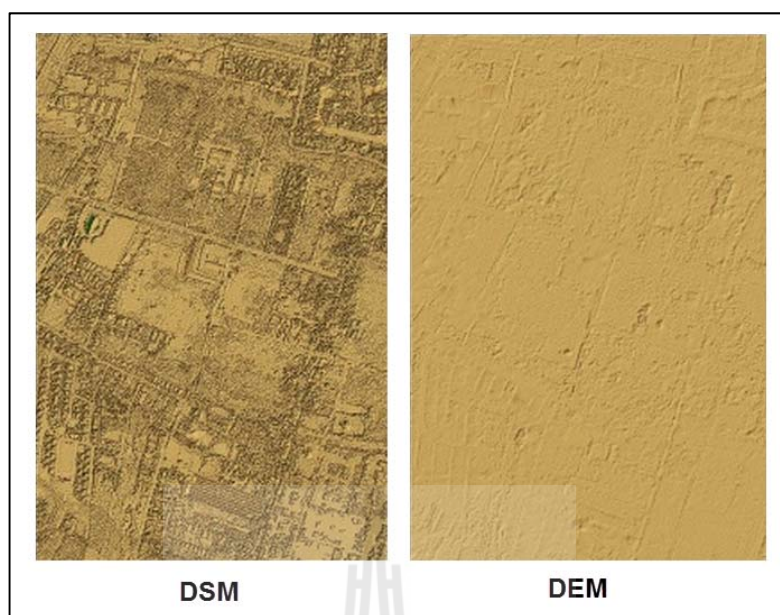


รูปที่ 3.11 กระบวนการวิเคราะห์ภูมิประเทศ

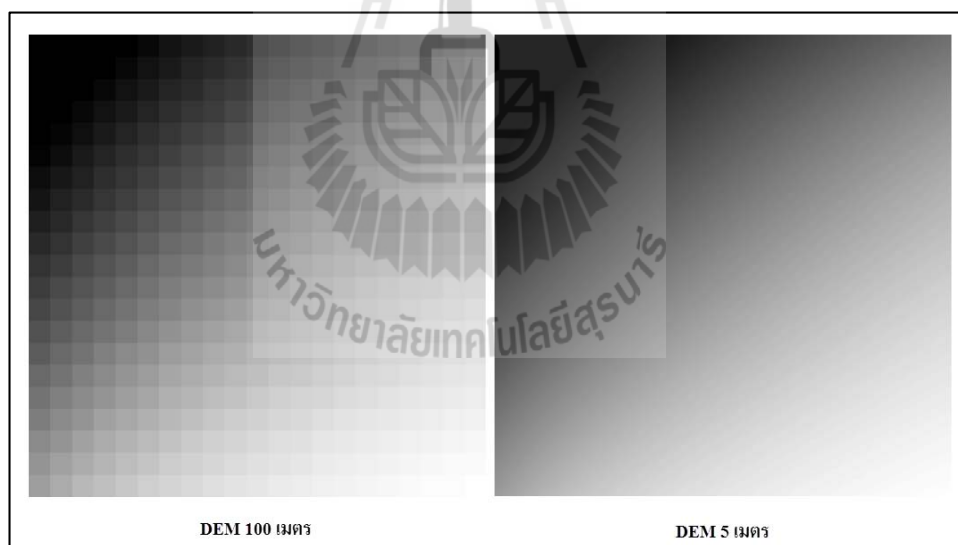




รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลแบบจำลองความสูง



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างแบบจำลองพื้นผิว (DSM) และแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM)

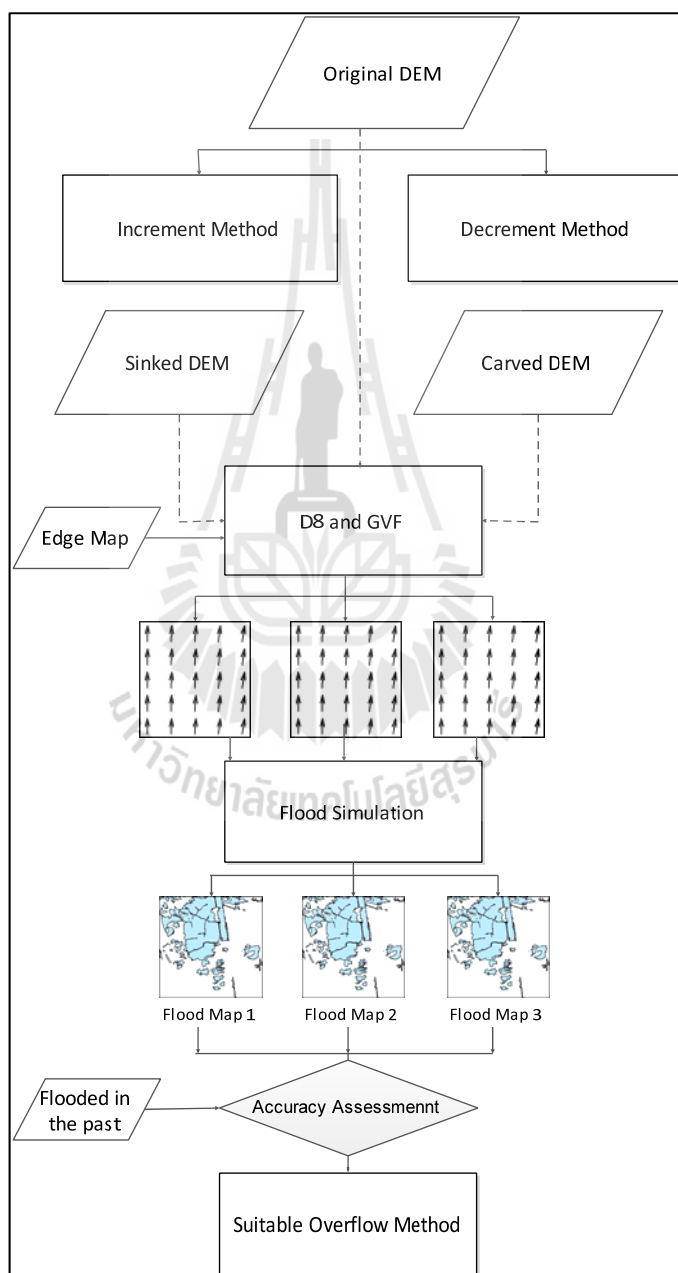


รูปที่ 3.14 ตัวอย่างความสูงเชิงเลขความละเอียด 100 เมตร และ 5 เมตร

2) การเตรียมข้อมูลแบบจำลองความสูงเพื่อให้รองรับการวิเคราะห์ทิศทางการไหลกรณีน้ำเอ่อ วิธีการเตรียมข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การเพิ่มค่าความสูง และการลดค่าความสูง ซึ่งทั้ง 2 วิธีมีข้อเสียที่ต่างกัน ได้แก่ วิธีการเพิ่มค่าความสูงอาจทำให้เกิดพื้นที่ราบมากขึ้น ลักษณะภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่ราบเกิดบริเวณพื้นที่ราบเป็นบริเวณกว้าง และทำให้เส้นทาง



น้ำซึ่งเดิมไม่ปรากฏหรือขาดหาย ผิดพลาดเพิ่มขึ้น ส่วนการลดค่าความสูง ไม่ได้ลดค่าความสูง เฉพาะบริเวณที่จะเกิดน้ำเอ่อ ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อความสูงบริเวณรอบข้างที่ถูกตัดทอนความสูงลง งานวิจัยนี้ทดสอบโดยใช้ 3 วิธี ได้แก่ ใช้แบบจำลองความสูงธรรมดา แบบจำลองความสูงแบบเพิ่มค่าความสูง และแบบจำลองความสูงแบบลดค่าความสูง เพื่อเปรียบเทียบวิเคราะห์ความเหมาะสมและความถูกต้องของการนำไปใช้งาน แสดงขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.15



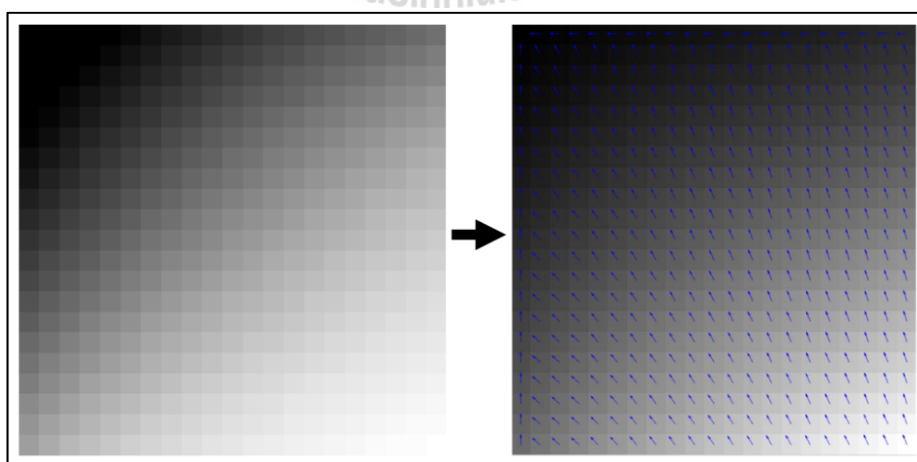
รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการทดสอบกรณีน้ำเอ่อ

3) การวิเคราะห์ทิศทางกรไหลคำนวณโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภูมิประเทศจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขซึ่งจะพิจารณาเลือกทิศทางที่มีความสูงต่ำกว่าเซลล์ที่กำลังพิจารณาจากเซลล์รอบข้างทั้ง 8 โดยทิศทางกรไหลแบ่งออกเป็น 8 ทิศทาง คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยสามารถวิเคราะห์ทิศทางกรไหล ดังสมการ 3.8 ซึ่งผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.16 จากภาพพื้นที่ที่เทอา่อน คือ พื้นที่ที่มีความสูงมากกว่าพื้นที่สี่เหลี่ยมหรือสี่ค่า ทิศทางการไหลที่ได้จึงมีทิศทางจากพื้นที่สูงไปยังพื้นที่ที่ต่ำกว่า แสดงตัวอย่างการคำนวณทิศทางกรไหลดังรูปที่ (3.17) ในที่นี้กำหนดความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับหนึ่ง ดังนั้น ถ้าคำนวณเพื่อหาทิศทางกรไหลจากภาพแสดงให้เห็นว่าเซลล์หรือกริดจากจตุรรอบข้างทั้ง 8 ที่มีความสูงน้อยกว่าเซลล์ปัจจุบัน โดยมี 3 กริด ซึ่งมีค่าความสูง 2 1 4 และ 3 การคำนวณเริ่มจากกริดแรก คือ 2 ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณของกริดดังกล่าว คือ  $(5-2)/1$  เท่ากับ 3 ส่วนกริดอื่น ๆ ผลการการคำนวณที่ได้ตามลำดับดังนี้  $(5-1)/1\sqrt{2}$  เท่ากับ 2.83  $(5-4)/1$  เท่ากับ 1 และ  $(5-3)/1\sqrt{2}$  เท่ากับ 1.41 เพราะฉะนั้นทิศทางกรไหลที่ได้ คือ จะไหลไปยังกริดที่มีค่าความสูงเท่ากับ 2 เพราะกริดดังกล่าวมีความชันมากที่สุดเมื่อเทียบกับ 8 กริดรอบข้าง

$$D_8 = \frac{Drop}{Run} \quad (3.8)$$

เมื่อ Drop คือ ผลต่างของค่าความสูงระหว่างกริดหรือเซลล์ปัจจุบันและกริดหรือเซลล์รอบข้างที่กำลังพิจารณา โดยกริดหรือเซลล์รอบข้างที่พิจารณาทั้งหมดใช้ 8 กริด

Run คือ ขนาดความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ คูณด้วยรากที่สอง สำหรับทิศทางในแนวทแยงมุม และคูณด้วยหนึ่งสำหรับทิศทางในแนวตรง

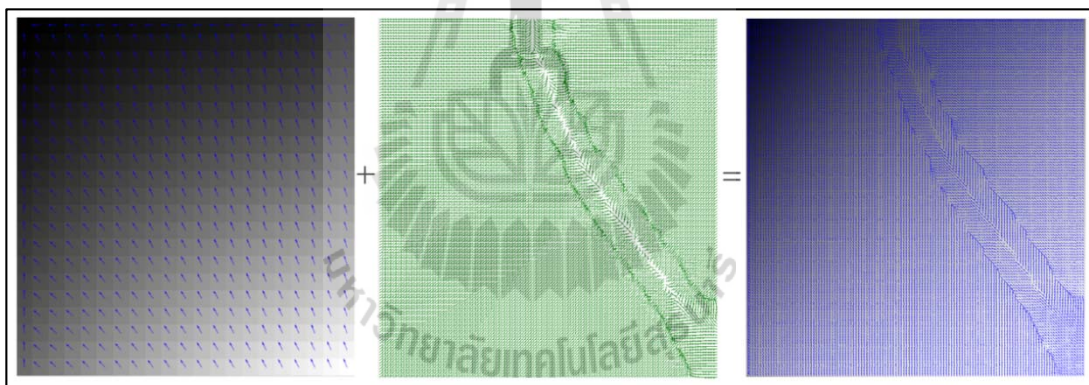


รูปที่ 3.16 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ทิศทางกรไหล

7	9	8
6	5	2 <sub>3</sub>
3 <sub>1.41</sub>	4 <sub>1</sub>	1 <sub>2.83</sub>

รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการคำนวณทิศทางกรไหล

4) การหลอมรวมทิศทางกรไหลและการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ ขั้นตอนนี้เป็นารรวมเวกเตอร์ทิศทางกรไหลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ภูมิประเทศจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข และเวกเตอร์ทิศทางกรไหลที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ในการหาทิศทางกรไหลไปยังขอบเขตแม่น้ำหรือลุ่มน้ำ เพื่อลดข้อจำกัดในการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลของวิธีการเดิมแสดงตัวอย่างการหลอมรวมในรูปที่ 3.18



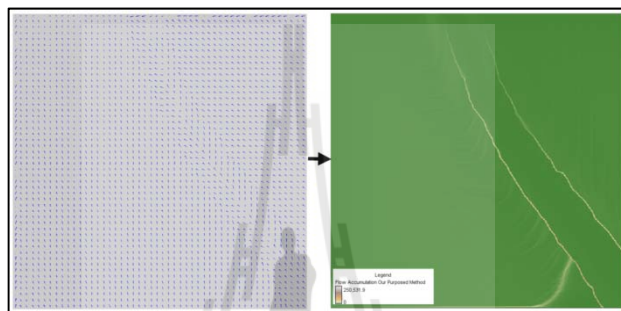
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างผลการหลอมรวมทิศทางกรไหลและการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์

5) การวิเคราะห์ทิศทางกรไหลสะสมเมื่อได้ทิศทางกรไหลจากขั้นตอนก่อนหน้าแล้วสามารถคำนวณหาค่าการไหลสะสมได้ โดยกำหนดให้แต่ละกริดมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อข้อมูลข้างเคียงมีทิศทางกรไหลไปยังกริดใด ให้บวกเพิ่มค่ากริดนั้น ทิศทางกรไหลเข้าที่ละ 1 เช่น กริดหนึ่งมีทิศทางกรไหลเข้า 3 กริด กริดนั้นจะมีค่าเท่ากับ 3 และเมื่อกริดที่ถูกเพิ่มค่านั้นไหลไปยังกริดใดให้บวกค่าของกริดนั้นไปยังกริดใหม่ด้วย เช่น กริดที่มีค่าเท่ากับ 3 ไหลไปยังกริดใหม่ กริดใหม่นั้นจะมีค่าเท่ากับ 4 เป็นต้น แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์การไหลสะสมในรูปที่ 3.19 และสามารถคำนวณทิศทางกรไหลสะสม ดังสมการที่ 3.9

$$FlowAcc_i = \left( \frac{\tan \beta}{\sum_{j=1}^8 (\tan \beta)} \right) \quad (3.9)$$

เมื่อ  $FlowAcc_i$  คือ ค่าทิศทางการไหลสะสม  
 $i, j$  คือ ทิศทางการไหล  
 $\tan \beta$  คือ ค่าความชันระหว่างเซลล์กึ่งกลางและเซลล์ที่กำลัง

พิจารณาทิศทางการไหล



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การไหลสะสม

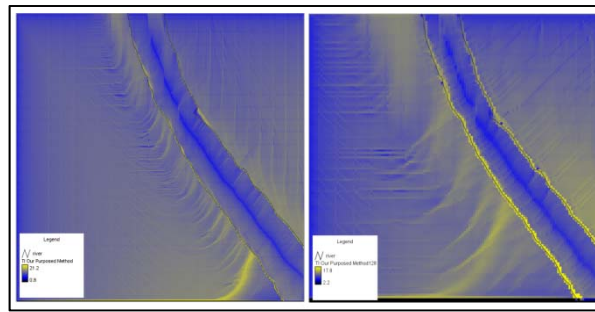
6) การวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศเมื่อได้ทิศทางการไหลสะสม สามารถคำนวณสัดส่วนระหว่างพื้นที่รับน้ำสะสมจากตอนบนกับค่าความลาดชันของพื้นที่ ณ จุดหนึ่ง ๆ ค่าที่ได้จากการคำนวณจะเป็นตัวชี้วัดในการระบุว่าพื้นที่ใดมีความสามารถในการระบายน้ำได้ในลักษณะใด เช่น พื้นที่ที่มีค่าดัชนีภูมิประเทศสูง บ่งบอกถึงแนวโน้มน้ำที่ดินจะถึงจุดอ้อมตัวด้วยน้ำก่อนพื้นที่นั้นจะมีน้ำสะสมมากแต่ระบายน้ำได้น้อย และมักเป็นกริดที่เป็นแนวเดียวกับแนวของแม่น้ำลำธารหรือบริเวณใกล้ลำน้ำ ในทางกลับกันพื้นที่ที่มีค่าดัชนีภูมิประเทศต่ำ พื้นที่นั้นจะมีน้ำสะสมน้อย และมีการเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่นมาก แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์การไหลสะสมในรูปที่ 3.20 สำหรับวิธีการคำนวณ เมื่อได้ทิศทางการไหลสะสม สามารถคำนวณสัดส่วนระหว่างพื้นที่รับน้ำสะสมจากตอนบนกับค่าความลาดชันของพื้นที่ ณ จุดหนึ่ง ๆ โดยสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.10

$$TI = \ln\left(\frac{a}{\tan \beta}\right) \quad (3.10)$$

เมื่อ  $TI$  คือ ค่าดัชนีภูมิประเทศ  
 $a$  คือ พื้นที่สะสมจากตอนบนซึ่งน้ำได้ไหลผ่านมาจนถึงกริดที่

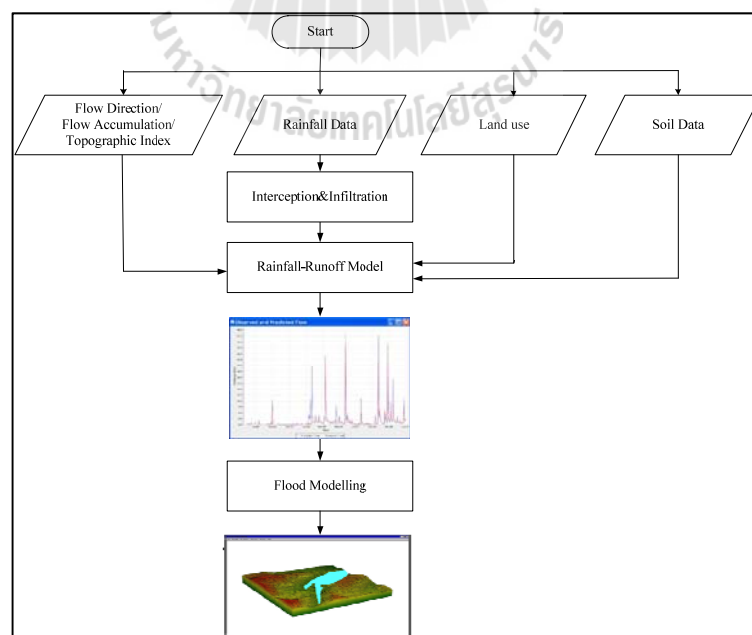
กำลังพิจารณาต่อระยะทาง (Flow Accumulation)

$\tan \beta$  คือ ความชัน



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศ

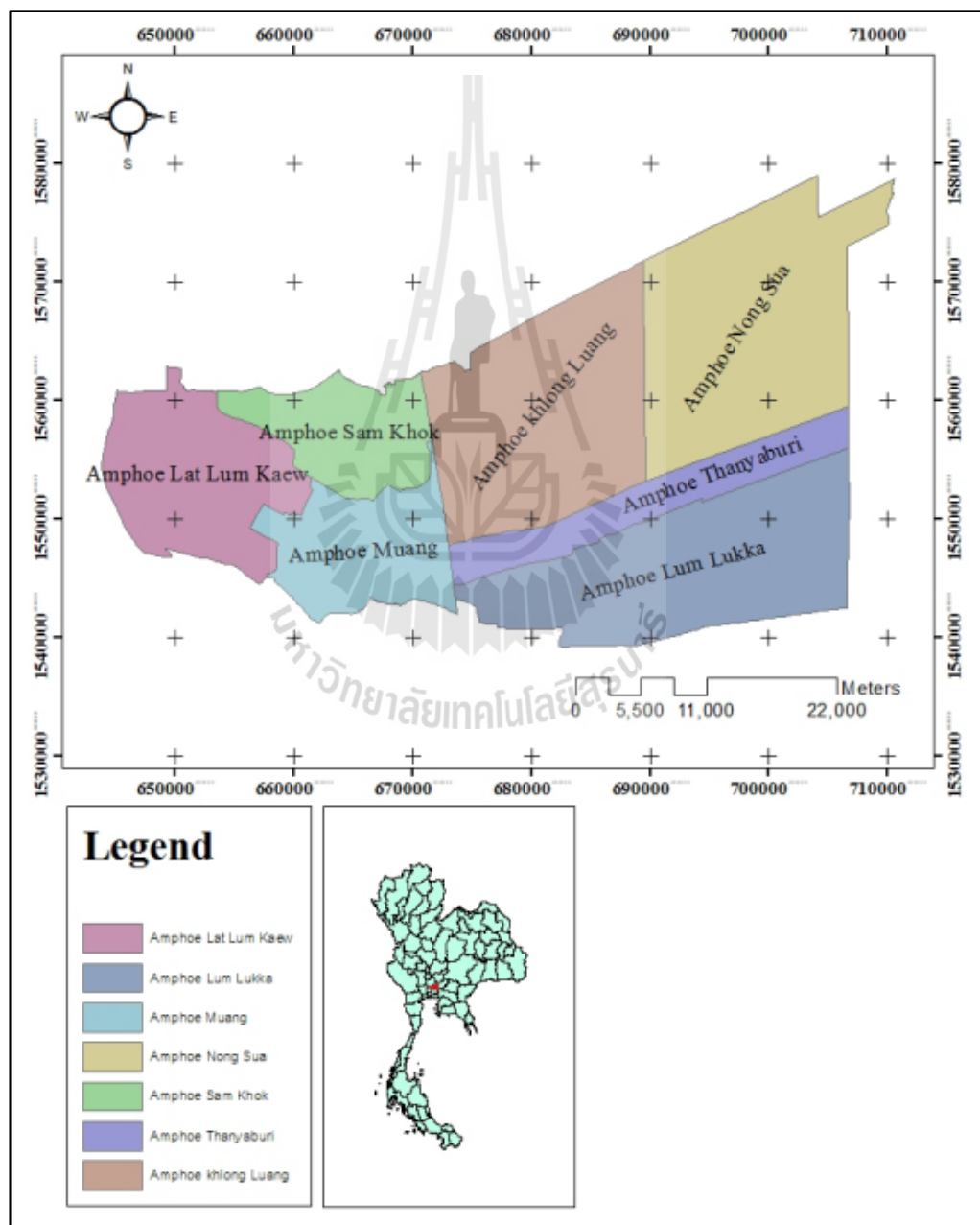
7) การนำทิศทางการไหล การไหลสะสม และดัชนีภูมิประเทศไปใช้ในแบบจำลองอุทกภัย ทิศทางการไหล การไหลสะสม และดัชนีภูมิประเทศที่ได้จากการวิเคราะห์นำไปใช้ในกระบวนการคำนวณปริมาณน้ำท่า ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของแบบจำลองอุทกภัย ในการคำนวณปริมาณน้ำท่ามีขั้นตอนการทำงาน (รูปที่ 3.21) คือ ใช้ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดหรือจากการพยากรณ์ มาวิเคราะห์เพื่อหาอัตราการระเหย การดูดซึม หลังจากนั้นนำไปคำนวณร่วมกับทิศทางการไหล การไหลสะสม ดัชนีภูมิประเทศ และข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา เพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำท่า ส่วนข้อมูลปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน เป็นต้น นำไปใช้ในแบบจำลองอุทกภัยร่วมกับปริมาณน้ำท่าเพื่อแสดงขอบเขตการเกิดอุทกภัย



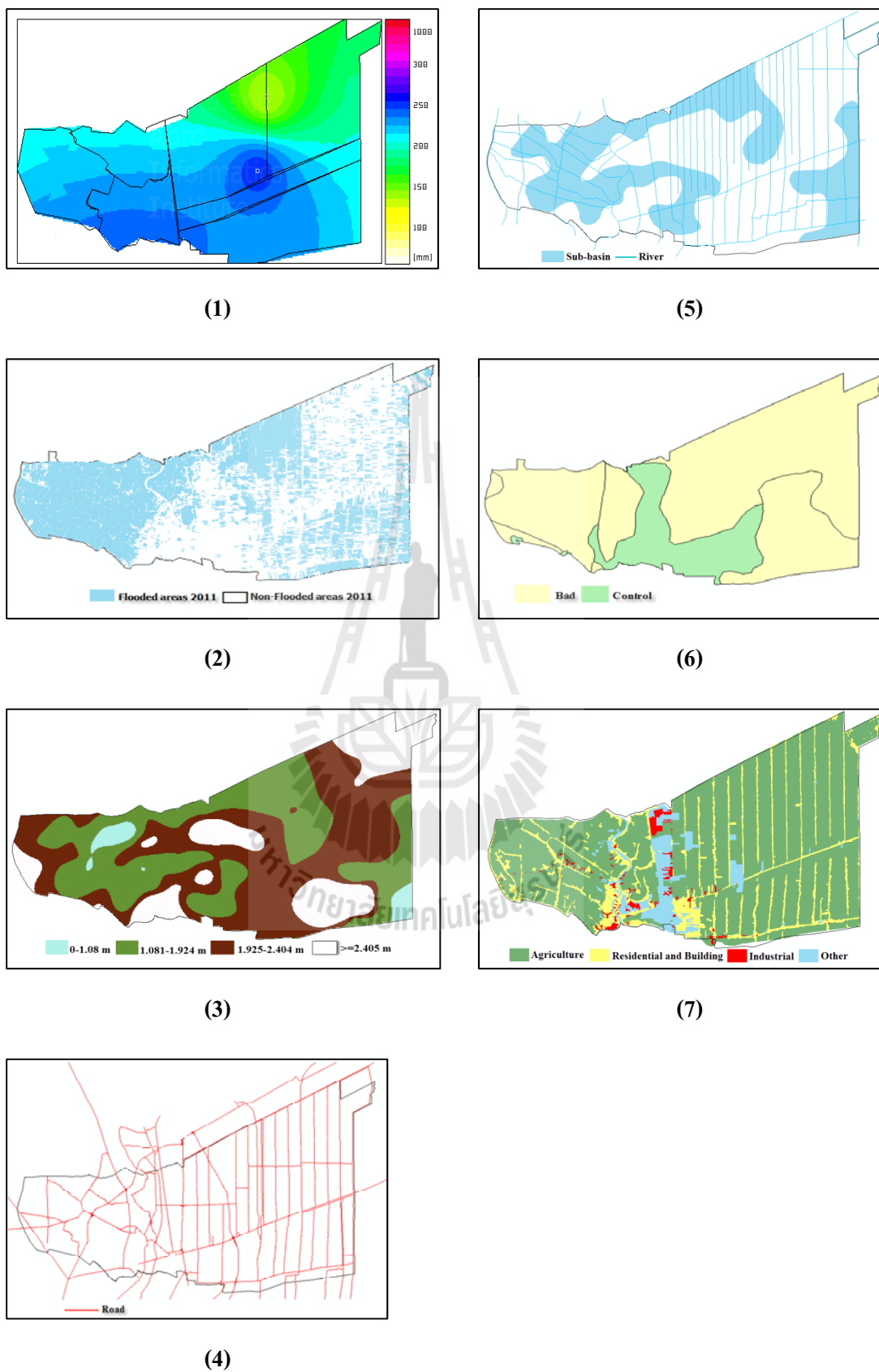
รูปที่ 3.21 ขั้นตอนการนำทิศทางการไหลการไหลสะสมและดัชนีภูมิประเทศไปใช้จำลองอุทกภัย

### 3.1.1.3 การเลือกปัจจัยและระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยโดยพื้นที่ศึกษา คือ บริเวณพื้นที่จังหวัดปทุมธานี (ภาพที่ 3.22) ประกอบด้วยปัจจัยด้านอุทุนิยมวิทยา และปัจจัยด้านกายภาพของพื้นที่ แสดงในภาพที่ 3.23 ได้แก่ (1) ปริมาณน้ำฝน (2) พื้นที่น้ำท่วมในอดีต (3) ความสูงจากระดับน้ำทะเล (4) สิ่งกีดขวางทางน้ำ (5) ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (6) ความสามารถในการระบายน้ำของดิน (7) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (รูปที่ 3.22) และความหนาแน่นทางน้ำ



รูปที่ 3.22 แผนที่พื้นที่ศึกษา จังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 3.23 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย



การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย พบว่า มีอยู่ 2 ส่วนหลัก คือ ปัจจัยทางตรง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน และปัจจัยทางกายภาพในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่น้ำท่วมในอดีต ความลาดชันของพื้นที่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความหนาแน่นทางน้ำของกลุ่มน้ำย่อย สิ่งกีดขวางทางน้ำ ขนาดของพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย ความสามารถในการระบายน้ำของดิน ลักษณะทางธรณีวิทยา และการใช้ประโยชน์ที่ดิน แต่ทั้งนี้มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เช่น ความลาดชันของพื้นที่ ไม่มีผลกับการเกิดอุทกภัยในจังหวัดปทุมธานี เพราะทุกพื้นที่ที่มีความลาดชันอยู่ในระดับเดียวกันทั้งหมด แต่เมื่อพิจารณากับพื้นที่อื่น ๆ เช่น จังหวัดภูเก็ต จังหวัดพังงา เป็นต้น ซึ่งความลาดชันมีหลายระดับ พบว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเกิดอุทกภัย ดังนั้นการนำปัจจัยที่มีความสำคัญต่อพื้นที่หนึ่ง ไปใช้กับพื้นที่อื่น ๆ อาจส่งผลให้มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย จึงให้ความสำคัญกับการหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยในแต่ละพื้นที่ โดยงานวิจัยนี้ศึกษาความสำคัญของแต่ละปัจจัยของจังหวัดปทุมธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการพยากรณ์การเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2011 ของจังหวัดปทุมธานี เปรียบเทียบกับเหตุการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง เพื่อเป็นการคัดกรองปัจจัยเบื้องต้นสำหรับนำไปใช้ในแบบจำลองอุทกภัยพบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญ 3 ลำดับแรก ได้แก่ พื้นที่น้ำท่วมในอดีต ความสามารถในการระบายน้ำของดิน และความหนาแน่นทางน้ำของกลุ่มน้ำย่อย

ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ที่มีบทบาทสำคัญในการพยากรณ์อุทกภัย ได้แก่ สิ่งกีดขวางทางน้ำ ปริมาณน้ำฝนรายปี และปริมาณน้ำฝนรายเดือน เพราะปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่ต้องนำเข้าไปทำให้ทราบระดับน้ำเพื่อใช้ในการจำลองการไหลของน้ำ อย่างไรก็ตามในการจำลองการเกิดอุทกภัยในงานวิจัยนี้ ไม่ได้นำปัจจัยพื้นที่น้ำท่วมในอดีตมาใช้ในการจำลอง ถึงแม้ว่าจากการศึกษาการพิจารณาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย พบว่า ปัจจัยดังกล่าวมีความสำคัญอยู่ในระดับสูงก็ตาม เพราะพื้นที่ใดเคยประสบอุทกภัยเป็นประจำ พื้นที่นั้นมีโอกาสที่จะเกิดอุทกภัยซ้ำค่อนข้างมาก แต่ปัจจัยน้ำท่วมในอดีตเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดอุทกภัยในแต่ละพื้นที่มากกว่าการนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการจำลองอุทกภัย ส่วนข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลเชิงคุณลักษณะทั่วไป ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข ของจังหวัดปทุมธานีซึ่งได้มาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ โยธาธิการและผังเมืองจังหวัดปทุมธานี กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมชลประทาน โดยมีรายละเอียดข้อมูลดังตารางที่ 3.1



ตารางที่ 3.1 ชั้นข้อมูลของพื้นที่ที่ศึกษา

ชั้นข้อมูล	ประเภทข้อมูล	แหล่งที่มา
ปริมาณน้ำฝน	เวกเตอร์/รูปหลายเหลี่ยม	สสนก. อด.
พื้นที่น้ำท่วมในอดีต	เวกเตอร์/รูปหลายเหลี่ยม	สตอก.
แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศเชิงเลข	แรสเตอร์	สตอก.
ขอบเขตการปกครอง	เวกเตอร์/รูปหลายเหลี่ยม	ยผ.
ตำแหน่งที่ตั้งหมู่บ้าน	เวกเตอร์/จุด	ยผ.
ชุดดิน	เวกเตอร์/รูปหลายเหลี่ยม	พด.
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	เวกเตอร์/รูปหลายเหลี่ยม	ยผ.
เส้นทางคมนาคม	เวกเตอร์/รูปหลายเหลี่ยม	สตอก.
พื้นที่ลุ่มน้ำ	เวกเตอร์/รูปหลายเหลี่ยม	ชล.
แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข	แรสเตอร์	สตอก.
ภาพถ่ายดาวเทียมเลนแซท	แรสเตอร์	สตอก.

สสนก. : สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร

อด. : กรมอุตุนิยมวิทยา

สตอก. : สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

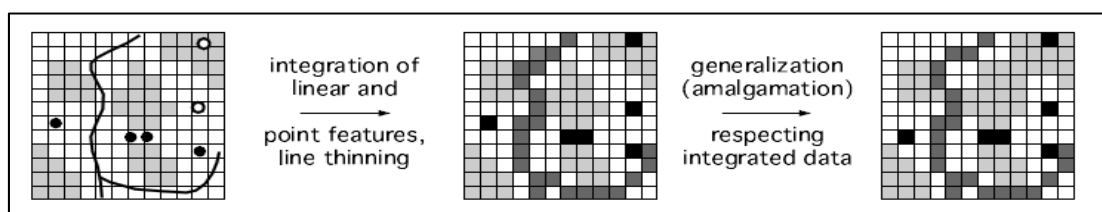
พด. : กรมพัฒนาที่ดิน

ยผ. : โยธาธิการและผังเมืองจังหวัดปทุมธานี

ชล. : กรมชลประทาน

#### 3.1.1.4 การจำลองการเกิดอุทกภัย

1) การหลอมรวมข้อมูลภูมิสารสนเทศประเภทเวกเตอร์และแรสเตอร์ ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ ข้อมูลภูมิสารสนเทศทั้ง 2 ประเภท ประกอบด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทเวกเตอร์ และข้อมูลประเภทแรสเตอร์ ดังนั้นในระบบการจำลองการเกิดอุทกภัยจำเป็นต้องมีการหลอมรวมข้อมูลเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลทั้ง 2 ประเภทร่วมกันได้ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการหลอมรวมใช้การแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นข้อมูลกริดก่อนนำไปประมวลผล (รูปที่ 3.24)



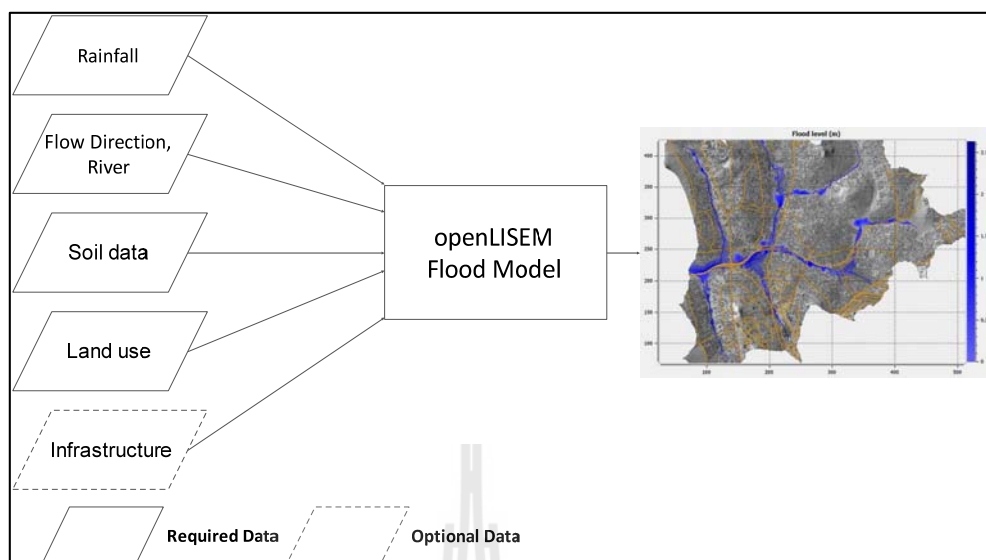
รูปที่ 3.24 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริด

2) การจำลองการเกิดอุทกภัยโดยใช้สมการทางอุทกวิทยา และการประมวลผลเรขภาพเชิงเลข เพื่อแสดงขอบเขตการเกิดอุทกภัยและทิศทางการไหลของน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณและจำลองการไหลแบบ 2 ทิศทางบนระบบกริดในพื้นที่ได้ นอกจากนี้ใช้ชั้นข้อมูลภูมิสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง เช่น ภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข แนวเส้นทางถนน เส้นแม่น้ำ ที่ตั้งอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง และขอบเขตตำบล เป็นต้น นอกจากนี้ใช้ทิศทางการไหลของน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์จากข้อมูลแบบจำลองความสูงและภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้เทคนิค D8 ร่วมกับการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ โดยได้กล่าวถึงในขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อใช้ในการคำนวณขอบเขตพื้นที่ประสบอุทกภัยในแบบจำลองในการจำลองการเกิดอุทกภัยใช้ปัจจัยเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน แบบจำลองความสูงเชิงเลข ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และทิศทางการไหลซึ่งได้จากการออกแบบและพัฒนาในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับทิศทางการไหลที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน งานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาโอเพินไลเซ็ม (openLISEM) กระบวนการเตรียมข้อมูลหรือปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ และข้อมูลเสริมหรือสนับสนุนอื่น ๆ สำหรับปัจจัยหรือข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ คือ ข้อมูลภูมิสารสนเทศซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ทิศทางการไหล ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองนี้ เช่น ข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางทางน้ำ (ถนน อาคารหรือสิ่งก่อสร้าง) แสดงดังรูปที่ 3.25 แบบจำลองนี้ใช้ทฤษฎีของ Green & Ampt ในการคำนวณอัตราการระเหยและอัตราการดูดซึมของแต่ละกริดเซลล์ เพื่อใช้ประกอบการจำลองการเกิดอุทกภัย ข้อมูลนำเข้าทุกปัจจัยก่อนนำไปใช้ในการจำลองอุทกภัยต้องเป็นแรสเตอร์เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการหลอมรวมข้อมูลโดยแปลงจากข้อมูลซึ่งจัดเก็บอยู่ในรูปแบบเวกเตอร์ให้เป็นข้อมูลแรสเตอร์

ในการจำลองอุทกภัยในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 7 รูปแบบที่แตกต่างกัน โดยอิงตามวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลซึ่งได้จากวิธีการเดิมและวิธีการที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ โดยปัจจัยนำเข้าที่เหมือนกันในการจำลองทั้ง 7 รูปแบบ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลสิ่งกีดขวางทางน้ำโดยปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พิจารณาโดยใช้ 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ การพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และปัจจัยที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการจำลองอุทกภัยโดยพิจารณาจากแบบจำลองโอเพินไลเซ็ม ส่วนปัจจัยที่แตกต่างกันในแต่ละการจำลอง คือ ทิศทางการไหลซึ่งได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละวิธีทั้ง 7 วิธี โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนแรกเป็นวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 3 วิธีการ ได้แก่ วิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขในการวิเคราะห์ทิศทางการไหล วิธีการสตรีมเบิรน์นิงโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก วิธีการสตรีมเบิรน์นิงโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย สำหรับวิธีการสตรีมเบิรน์นิงข้อมูลแหล่งน้ำหรือแม่น้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์

คือ เวกเตอร์เมพที่ได้จากการคิไอไพซ์โดยวิธีการแมนนวลโดยใช้คน ส่วนที่สองเป็นวิธีการที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 4 วิธีการ ได้แก่ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง

สำหรับวิธีการที่พัฒนา ข้อมูลแหล่งน้ำหรือแม่น้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ข้อมูลแม่น้ำที่ได้จากการจำแนกโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทและข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยที่สองวิธีการหลังใช้เพื่อทดสอบทิศทางการไหลกรณีน้ำเอ่อที่เกิดจากน้ำเอ่อจากลักษณะทางกายภาพความสูงต่ำของแต่ละพื้นที่ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากสถานีวัดฝนซึ่งมีการบันทึกข้อมูล โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วยสถานีวัดฝน จำนวน 7 สถานี ได้แก่ สถานีวัดฝนอำเภอลาดหลุมแก้ว สถานีวัดฝนอำเภอสามโคก สถานีวัดฝนอำเภอเมือง สถานีวัดฝนอำเภอลองหลวง สถานีวัดฝนอำเภอลำลูกกา สถานีวัดฝนอำเภอธัญบุรี และสถานีวัดฝนอำเภอหนองเสือ โดยนำเข้าข้อมูลในรูปแบบแอสกีไฟล์ หลังจากนั้นจะมีการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนของทั้งจังหวัดโดยใช้การประมาณค่าแบบ IDW (Inverse Distance Weight) งานวิจัยนี้ไม่ได้เน้นในกระบวนการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสม เพียงแต่ต้องการปริมาณน้ำฝนไปใช้ทดสอบการจำลองอุทกภัยด้วยทิศทางการไหลที่พัฒนาเปรียบเทียบกับทิศทางการไหลแบบเดิม งานวิจัยนี้จึงไม่ได้เปรียบเทียบการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนในแต่ละวิธี หลังจากนั้นใช้ปัจจัยนำเข้าตามที่กล่าวมาแล้วจำลองการเกิดอุทกภัยผ่านแบบจำลองโอเพ่นไลเซียม ซึ่งผลลัพธ์จากการจำลองจากแบบจำลองนี้สามารถจำลองได้ทั้งปริมาณน้ำท่า และแผนที่การเกิดอุทกภัย แต่งานวิจัยนี้นำเฉพาะผลการจำลองการเกิดอุทกภัยมาแสดงผลเท่านั้น งานวิจัยนี้ไม่ได้แสดงผลปริมาณน้ำท่า และไม่ได้ประเมินผลความถูกต้องของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการจำลอง เพราะสถานีวัดน้ำท่าในจังหวัดปทุมธานีมีการยกเลิกการใช้งานเกือบทุกสถานี และสถานีที่เหลืออยู่ไม่มีการบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำท่าไว้ ดังนั้นจึงไม่มีข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของปริมาณน้ำท่า ทำให้ไม่สามารถประเมินความถูกต้องของน้ำท่าได้ ดังนั้นในส่วนของการจำลองอุทกภัยในงานวิจัยนี้ประเมินเฉพาะผลที่ได้จากการจำลองอุทกภัยในรูปแบบแผนที่การเกิดอุทกภัย โดยประเมินเฉพาะการเกิดหรือไม่เกิดอุทกภัย ตรวจสอบกับข้อมูลอุทกภัยในอดีตในปี ค.ศ. 2011 2010 และ 2006



รูปที่ 3.25 ปัจจัยนำเข้าสำหรับการจำลองการเกิดอุทกภัยโดยใช้แบบจำลองโอเพ่นไลเซ็ม

### 3.1.2 การประเมินประสิทธิภาพ

กระบวนการประเมินของงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก (ดังรูปที่ 3.26) ได้แก่ การประเมินประสิทธิภาพของการจำแนกขอบเขตแม่น้ำ เปรียบเทียบกับขอบเขตแม่น้ำที่ได้จากการดิจิทัลโดยใช้คน ซึ่งใช้เกณฑ์การประเมินด้วยวิธีการคำนวณค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าอัตราการเรียนรู้จำ (F-measure) ส่วนการประเมินประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ทิศทางทางไหล เปรียบเทียบกับทิศทางทางไหลที่ได้จากวิธีการ D8 และสตรีมเบรินนิง โดยในการประเมินใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ว่าทิศทางทางไหลที่ได้ทั้งสองสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด รวมถึงพิจารณาทิศทางทางไหลโดยใช้เคิร์ล (Curl) และไดเวอร์เจนซ์ (Divergence) นอกจากนี้ประเมินโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาในการเปรียบเทียบค่าดัชนีภูมิประเทศซึ่งได้จากการนำทิศทางทางไหลที่ได้จากการพัฒนามาวิเคราะห์ อีกทั้งนำทิศทางทางไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนามาวิเคราะห์เพื่อหาแหล่งน้ำ (Stream) เปรียบเทียบกับข้อมูลแหล่งน้ำที่ได้จากเว็บไซต์ Google Map สำหรับการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ใช้เกณฑ์การประเมินด้วยวิธีการคำนวณ ค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าอัตราการเรียนรู้จำ สำหรับการคำนวณดังสมการที่ 3.11 3.12 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ โดยพิจารณาความสำคัญในการประเมินในเกณฑ์ด้านค่าความถูกต้องมากที่สุด โดยเปรียบเทียบกับอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{TN} + \text{FN}} \times 100 \quad (3.11)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \times 100 \quad (3.12)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (3.13)$$

$$\text{F - measure} = \frac{2 \times \text{Precision} + \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (3.14)$$

โดยที่  $TP$  = ทำนายว่าเกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัยจริง

$TN$  = ทำนายว่าไม่เกิดอุทกภัย และไม่เกิดอุทกภัย

$FP$  = ทำนายว่าเกิดอุทกภัย แต่ไม่เกิดอุทกภัย

$FN$  = ทำนายว่าไม่เกิดอุทกภัย แต่เกิดอุทกภัย

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### 3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

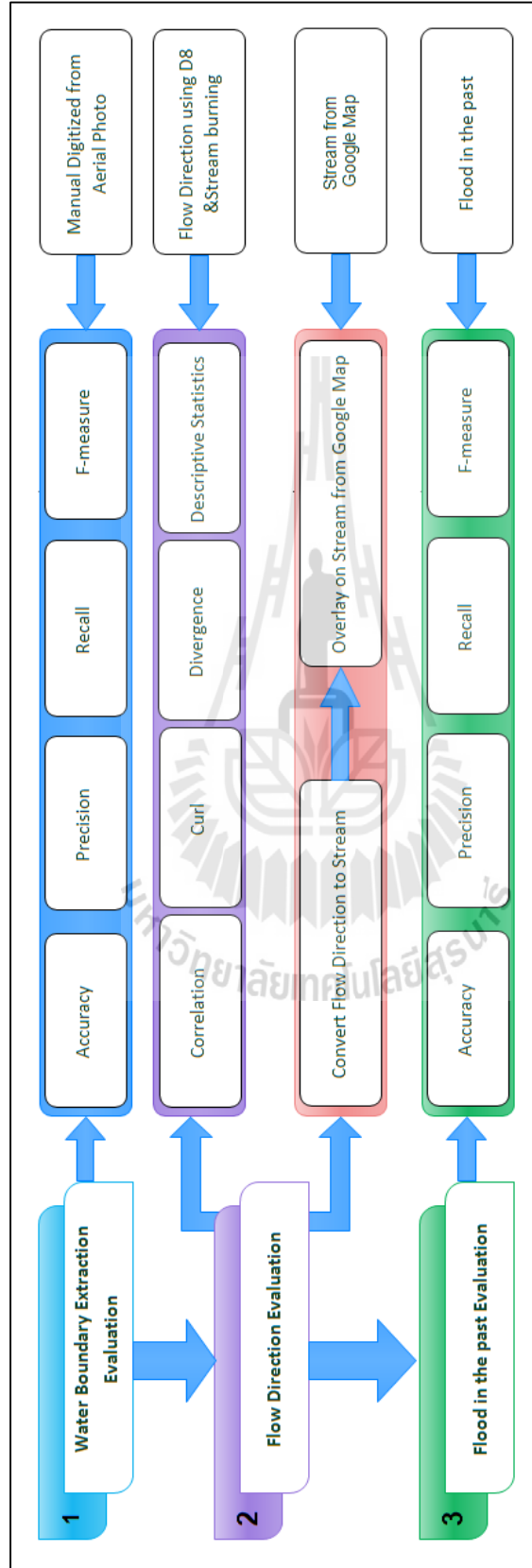
งานวิจัยนี้ออกแบบและพัฒนาโดยใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ดังต่อไปนี้

#### 3.2.1.1 ฮาร์ดแวร์

- เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาจำนวน 1 เครื่อง ประกอบด้วย
- หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel Core i7 2.4 GHz
- หน่วยความจำหลัก (RAM) ขนาด 8 GB
- อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Hard Disk) ขนาด 1 TB

#### 3.2.1.2 ซอฟต์แวร์

- MATLAB 2011b
- ArcGIS Desktop 10
- openLISEM
- PCRASTER
- NutShell



รูปที่ 3.26 การประเมินประสิทธิภาพ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้กล่าวถึง ผลการดำเนินการวิจัยของงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและการไหลสะสมสำหรับแบบจำลองอุทกภัย เพื่อใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยและแสดงขอบเขตการเกิดอุทกภัยในจังหวัดปทุมธานี ผลการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่ ผลการประเมินความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข ผลการประเมินการวิเคราะห์ทิศทางการไหล ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยโดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาการอภิปรายผล และผลการทดสอบสมมติฐาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

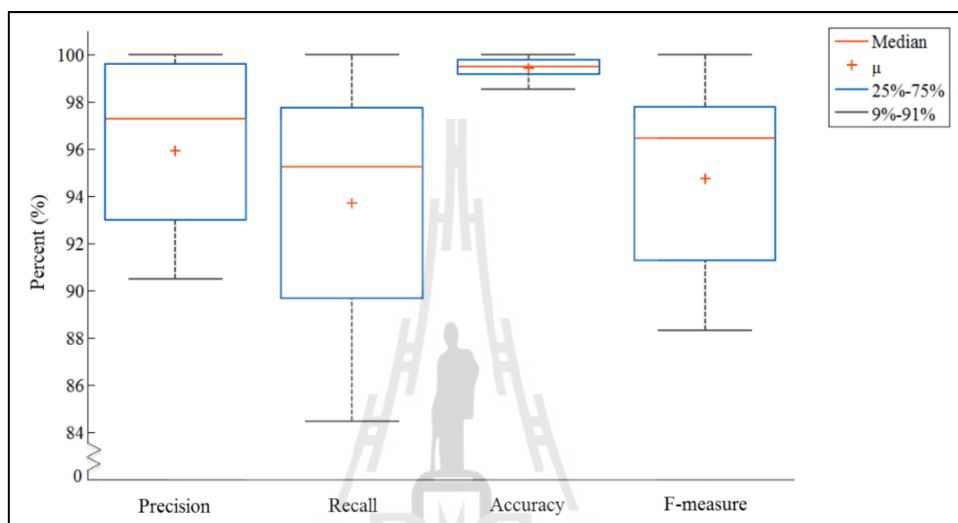
#### 4.1 ผลการประเมินความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำ

สำหรับการแบ่งส่วนภาพและจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ จากผลการทดลองพบว่า ผลที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แม่น้ำสายหลัก คือ แม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำที่เชื่อมกับแม่น้ำเจ้าพระยา สำหรับผลการประเมินแม่น้ำสายหลักแสดงในรูปที่ 4.1 และแสดงผลลัพธ์ในรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.5 แม่น้ำสายย่อยในงานวิจัยนี้ ได้แก่ คลองธรรมชาติ คลองชลประทาน และคลองส่งน้ำ สำหรับผลการประเมินแม่น้ำสายย่อยแสดงดังตารางที่ 4.1 และผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 4.6

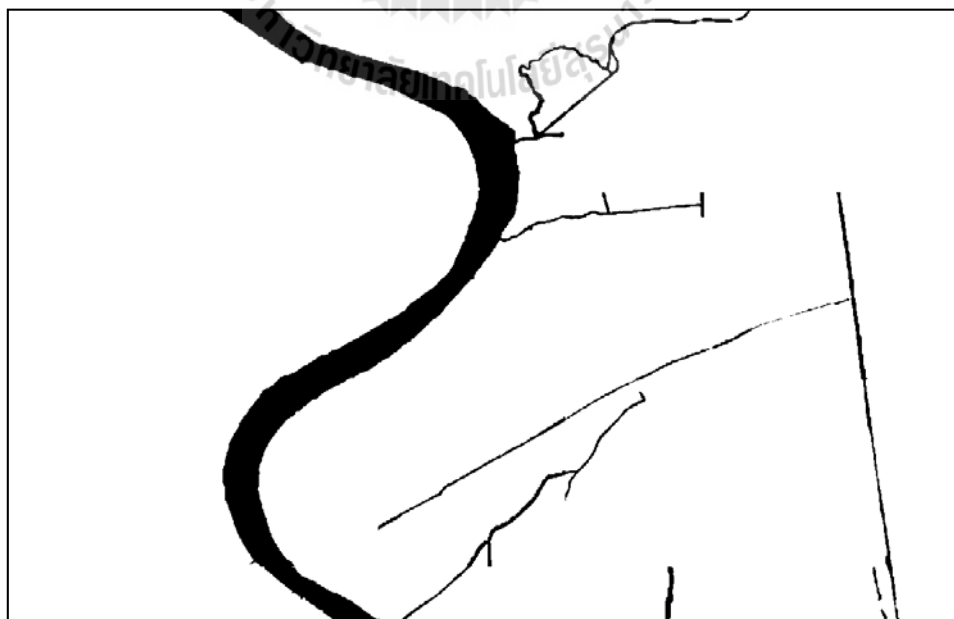
##### 4.1.1 ผลการประเมินความถูกต้องกรณีแม่น้ำสายหลัก

ผลการประเมินความถูกต้องในการจำแนกแม่น้ำสายหลักโดยใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอน ได้แก่ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มาใช้ในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ จากค่าดัชนีผลต่างความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ค่า NDWI2 และ MNDWI จากภาพถ่ายดาวเทียม และการวิเคราะห์คุณลักษณะของแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขและการจำแนกบริเวณแบบฟอนปรนร่วมกับการหลอมรวมข้อมูล จากการวิเคราะห์ผลการประเมินความถูกต้องของแม่น้ำสายหลักในจังหวัดปทุมธานีทั้งหมด จำนวน 40 ภาพ พบว่า กรณีจำแนกแม่น้ำสายหลัก ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 99.41% ค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 95.91% ค่าความระลึกละเอียดเท่ากับ 93.71% และค่าอัตราการรู้จำเฉลี่ยเท่ากับ 94.74% โดยในการประเมินความถูกต้องกำหนดค่า TP คือ ทำนายผลการจำแนกว่าพิคเซลที่พิจารณาเป็นขอบเขตแม่น้ำ และพิคเซลดังกล่าว คือ ขอบเขตแม่น้ำจริง TN คือ ผลการจำแนกว่าพิคเซลที่พิจารณาไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำ และพิคเซลดังกล่าวไม่ใช่

ขอบเขตแม่น้ำจริง ส่วน FP คือ ทำนายผลการจำแนกว่าฟิสิกส์ที่พิจารณาไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำ แต่ฟิสิกส์ดังกล่าวเป็นขอบเขตแม่น้ำ และ FN คือ ทำนายผลการจำแนกว่าฟิสิกส์ที่พิจารณาเป็นขอบเขตแม่น้ำ แต่ฟิสิกส์ดังกล่าวไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำ จากผลการประเมิน พบว่า ค่าความถูกต้องเฉลี่ยมีค่าสูงที่สุด เพราะพิจารณาทั้งความถูกต้องของการจำแนกทั้งในส่วนที่เป็นขอบเขตแม่น้ำ และไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำ ส่วนค่าความระลึกละเอียดและค่าความแม่นยำเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.1 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกแม่น้ำสายหลัก

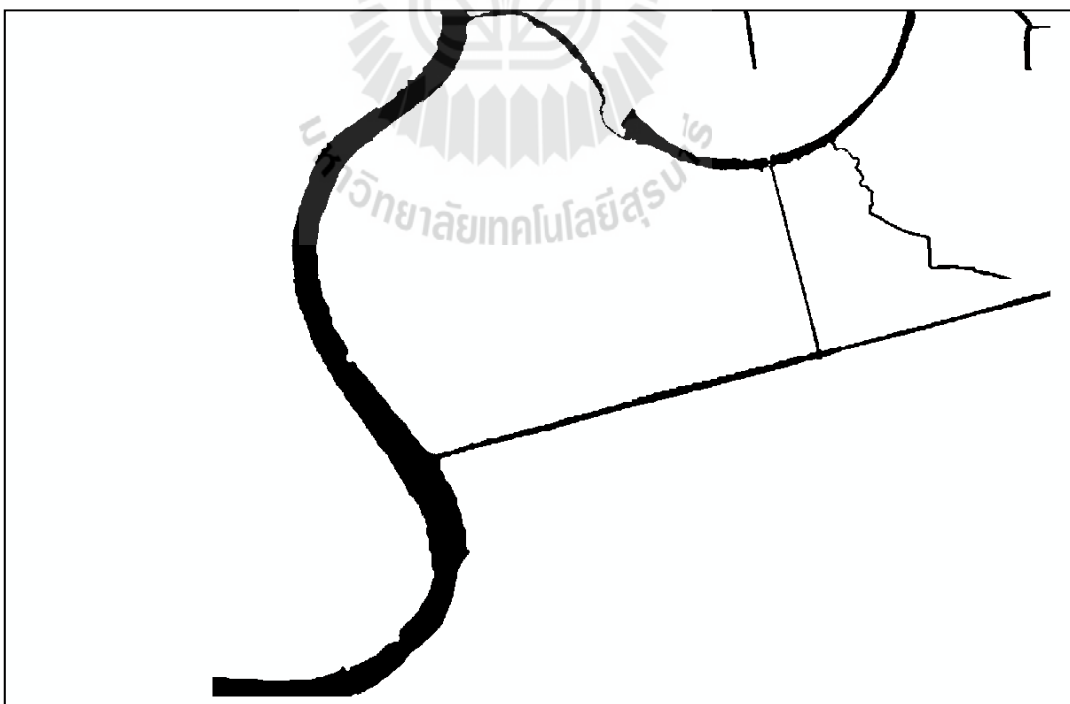


รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายหลักส่วนที่ 1



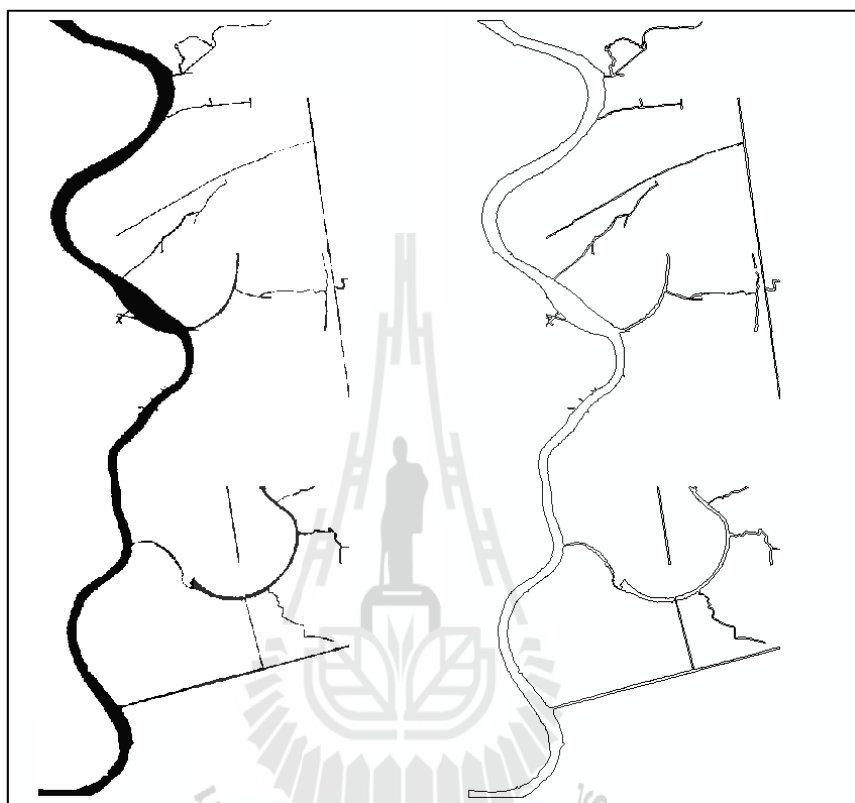


รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายหลักส่วนที่ 2



รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายหลักส่วนที่ 3

เมื่อได้ผลลัพธ์จากกระบวนการจำแนกแม่น้ำสายหลักผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5 ด้านซ้ายมือ หลังจากนั้นใช้กระบวนการหาเส้นขอบภาพ เพื่อนำขอบภาพแม่น้ำสายหลัก (รูปที่ 4.5 ด้านขวามือ) ไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลร่วมกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข



รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายหลักและเส้นขอบแม่น้ำ

#### 4.1.2 ผลการประเมินความถูกต้องกรณีแม่น้ำสายย่อย

จากการวิเคราะห์ผลการประเมินความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับแม่น้ำที่ได้จากการดิจิทัลโดยวิธีการแมนนวล กรณีจำแนกแม่น้ำสายย่อย จำนวน 375 ภาพ ซึ่งได้แก่ คลองธรรมชาติ คลองชลประทาน และคลองส่งน้ำ พบว่า ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 99.93% ค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 90.93% ค่าความระลึกละเอียดเฉลี่ยเท่ากับ 97.53% และค่าอัตราการรู้จำเฉลี่ยเท่ากับ 94.11% (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.6) จากผลการประเมิน พบว่า ค่าความถูกต้องเฉลี่ยมีค่าสูงที่สุด เพราะพิจารณาทั้งความถูกต้องของการจำแนกทั้งในส่วนที่เป็นขอบเขตแม่น้ำ และไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำซึ่ง TN มีค่าสูงมาก ดังนั้นค่าความถูกต้องที่ได้จึงมีค่าสูงกว่าค่าอื่น ๆ ส่วนค่าความระลึกละเอียดมีค่าสูงรองลงมา เพราะผลการจำแนก FN มีน้อย ส่วนค่าความแม่นยำมีค่าสูงแต่ต่างจากค่าความถูกต้องเฉลี่ยและค่าระลึกละเอียดประมาณ 7-10% เพราะ FP มีมาก ในการจำแนกแม่น้ำสายย่อย

พบว่ามีส่วนของขอบเขตแม่น้ำที่จำแนกผิดพลาด บริเวณดังกล่าวเป็นแม่น้ำ แต่ผลการจำแนกที่ได้เป็นไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำ ดังนั้นจึงพิจารณาค่าอัตราการรู้จำเฉลี่ย ซึ่งค่าอัตราการรู้จำเฉลี่ยมีค่าอยู่ในระดับสูง

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายย่อย

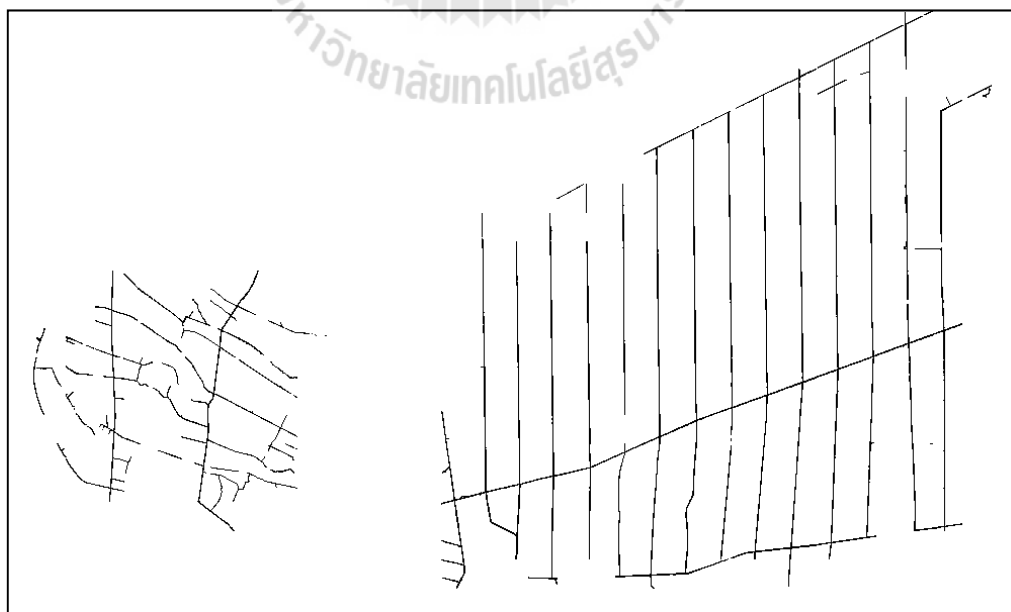
	Data Extracted	Data Not Extracted
River	TP =615798	FN = 15607
Non-River	FP =61406	TN =117358359

$$\text{Accuracy} = \frac{615798 + 117358359}{615798 + 61406 + 117358359 + 15607} \times 100 = 99.33\% \quad (4.1)$$

$$\text{Precision} = \frac{615798}{615798 + 61406} \times 100 = 90.93\% \quad (4.2)$$

$$\text{Recall} = \frac{615798}{615798 + 15607} \times 100 = 97.53\% \quad (4.3)$$

$$\text{F - measure} = \frac{2 \times 90.93 \times 97.53}{90.93 + 97.53} = 94.11\% \quad (4.4)$$

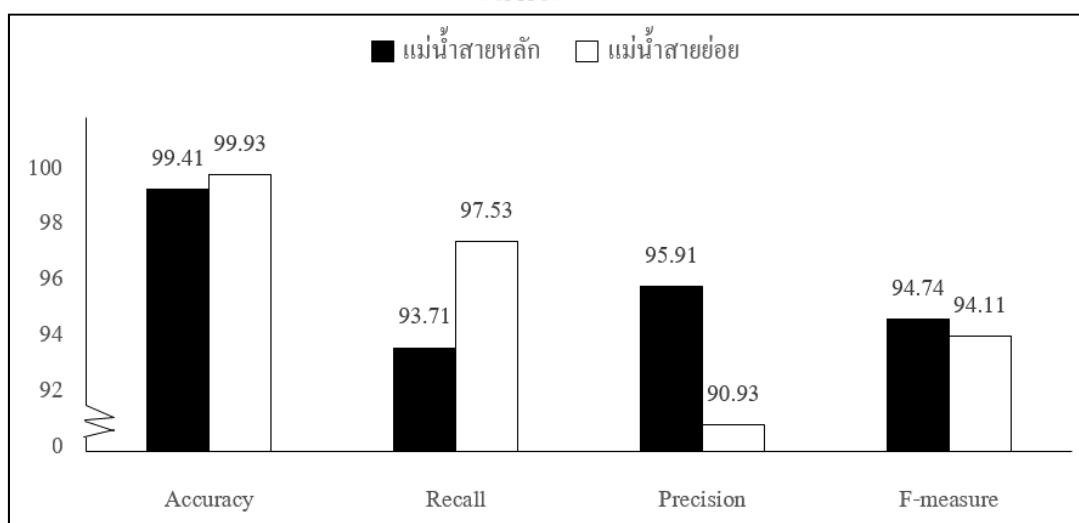


รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์ของการจำแนกกรณีแม่น้ำสายย่อยของจังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 4.7 เส้นขอบแม่น้ำสายหลักและสายย่อยจังหวัดปทุมธานี

จากผลลัพธ์ที่ได้ในการจำแนกแม่น้ำทั้งสายหลักและสายย่อยโดยใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ พบว่า สามารถจำแนกได้ทั้งแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสายย่อย รวมถึงสามารถกำจัดพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ใช่แหล่งน้ำได้ โดยมีค่าความถูกต้องของการจำแนกที่ใกล้เคียงกัน แสดงผลดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความถูกต้องของการจำแนกแม่น้ำสายหลักและสายย่อยโดยใช้วิธีการที่พัฒนา

## 4.2 ผลการประเมินการวิเคราะห์ทิศทางกาลไหล

โดยทั่วไปการประเมินความถูกต้องของทิศทางกาลไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ใช้อู่ในปัจจุบัน พบว่า ยังไม่มีวิธีการประเมินทิศทางกาลไหลโดยตรง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในส่วนของประเมินความถูกต้องของทิศทางกาลไหลของแต่ละพื้นที่ส่วนใหญ่ พบว่า นิยมใช้การประเมินทิศทางกาลไหลโดยเปรียบเทียบทิศทางกาลไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาหรือวิธีการที่ต้องการทดสอบกับการวิเคราะห์ทิศทางกาลไหลวิธีการอื่น ๆ ที่มีอยู่ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Ruhoff, Castro, and Risso, 2011; Mouton, 2005) เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางกาลไหลที่ได้ในแต่ละวิธีว่ามีความสอดคล้องมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้มีการใช้สถิติเชิงพรรณนามาวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศซึ่งได้มาจากการนำทิศทางกาลไหลมาวิเคราะห์ (Ruhoff, Castro, and Risso, 2011; Ma, Lin, Chen, and Yang, 2010) โดยแนวคิดในการประเมิน คือ ค่าดัชนีภูมิประเทศบริเวณแม่น้ำหรือแหล่งน้ำจะมีค่าสถิติเชิงพรรณนาสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ดังนั้นการประเมินดัชนีภูมิประเทศซึ่งได้มาจากทิศทางกาลไหลที่พัฒนาสามารถประเมินเบื้องต้นได้ว่าทิศทางกาลไหลมีความถูกต้องหรือผิดพลาด อีกทั้งเพื่อเป็นการพิสูจน์ความถูกต้องของทิศทางกาลไหลที่ได้อีกแนวทางหนึ่ง คือ การนำทิศทางกาลไหลที่ได้วิเคราะห์เพื่อหาแม่น้ำหรือแหล่งน้ำ (Stream) เปรียบเทียบกับขอบเขตแหล่งน้ำที่ได้จากฐานข้อมูลที่มีการจัดทำไว้ นอกจากนี้พบว่า มีการประเมินทิศทางกาลไหลโดยนำทิศทางกาลไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการจำลองปริมาณน้ำท่าและจำลองการเกิดอุทกภัย (Nourani et al., 2011; Zhao et al., 2009; Zheng et al., 2008) เพราะทิศทางกาลไหลที่ถูกต้องทำให้น้ำท่าหรือการเกิดอุทกภัยที่ได้จากการจำลองมีความถูกต้องและสอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ถึงแม้ว่าทิศทางกาลไหลไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่มีผลต่อความถูกต้องของปริมาณน้ำท่าหรือการเกิดอุทกภัยก็ตาม แต่ความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยที่เพิ่มขึ้นสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดเบื้องต้นว่าวิธีการวิเคราะห์ทิศทางกาลไหลดังกล่าวมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการจำลองอุทกภัยหรือไม่

สำหรับการประเมินทิศทางกาลไหลที่ได้จากการพัฒนาในงานวิจัยนี้ ก่อนนำไปใช้เพื่อจำลองผลการเกิดอุทกภัย ในเบื้องต้นประเมินโดยการเปรียบเทียบทิศทางกาลไหลที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง ซึ่งใช้ 4 วิธีการ ได้แก่ การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ การเปรียบเทียบทิศทางกาลไหลโดยใช้เคิร์ลและไดเวอร์เจนซ์ การวิเคราะห์ทิศทางกาลไหลสะสม และดัชนีภูมิประเทศโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา การเปรียบเทียบโดยใช้ทิศทางกาลไหลเพื่อหาแหล่งน้ำจากวิธีการที่พัฒนากับเว็บไซต์ Google Map และการวิเคราะห์ทิศทางกาลไหลกรณีที่เกิดปัญหาจากข้อมูลนำเข้า สำหรับรายละเอียดการประเมินแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

#### 4.2.1 ผลการเปรียบเทียบทิศทางการไหลโดยใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

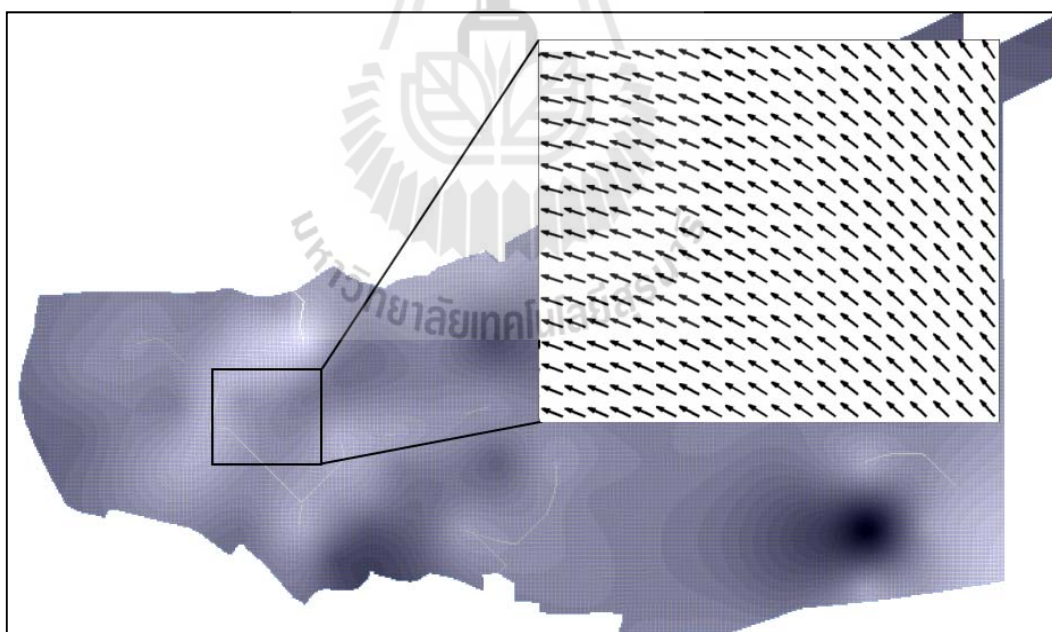
งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการประเมินทิศทางการไหลของน้ำที่ได้จากการพัฒนาเปรียบเทียบกับทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบิร์ตจนถึงแม้ว่าข้อจำกัดของการเปรียบเทียบดังกล่าว คือ ถ้าทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบิร์ตไม่ถูกต้องจะส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้ จึงไม่สามารถยืนยันความถูกต้องของวิธีการที่พัฒนาได้ในทุกพื้นที่ แต่ในงานวิจัยนี้มีการควบคุมปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อความถูกต้องของวิธีการสตรีมเบิร์ตก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์ตมีความถูกต้องสำหรับนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับวิธีการที่พัฒนาโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งได้แก่ มีการตรวจสอบเวกเตอร์แม่แม่น้ำที่นำมาใช้งานว่ามีความถูกต้องตรงกับสภาพจริง และความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้มีความละเอียดมากพอสำหรับใช้กับวิธีการสตรีมเบิร์ต อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบทิศทางการไหลโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเพียงวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการประเมินทิศทางการไหล นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังมีการประเมินโดยวิธีการอื่นอีก 3 วิธี ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องว่าการประเมินทั้ง 4 วิธีให้ผลลัพธ์การประเมินที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ ถ้าทิศทางการไหลที่ได้มีความถูกต้อง ผลลัพธ์ที่ได้ควรมีความสอดคล้องตรงกัน

สำหรับผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาและทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบิร์ตในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบ 2 กรณี ได้แก่ กรณีพิจารณาหรือใช้เฉพาะแม่น้ำสายหลัก และกรณีพิจารณาหรือใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสายย่อย โดยปกติผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสตรีมเบิร์ตกับสตรีมเบิร์ตเอง ผลที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่พัฒนา ผลที่ได้จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้าผลที่ได้มีค่า -1 แสดงว่า มีความสัมพันธ์ระดับสูงในทางลบ แต่ถ้าผลที่ได้เท่ากับ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในระดับสูงทางบวก นอกจากนี้ถ้าผลที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ พบว่า เมื่อพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.94 ส่วนกรณีพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสายย่อย ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.91 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ของวิธีการสตรีมเบิร์ตและวิธีการที่พัฒนามีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับสูงมาก ทั้งในกรณีพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก และพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย จากผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถพิสูจน์ได้ว่าวิธีการที่พัฒนาสามารถใช้ทดแทนวิธีการสตรีมเบิร์ตได้ (Viable Alternative)

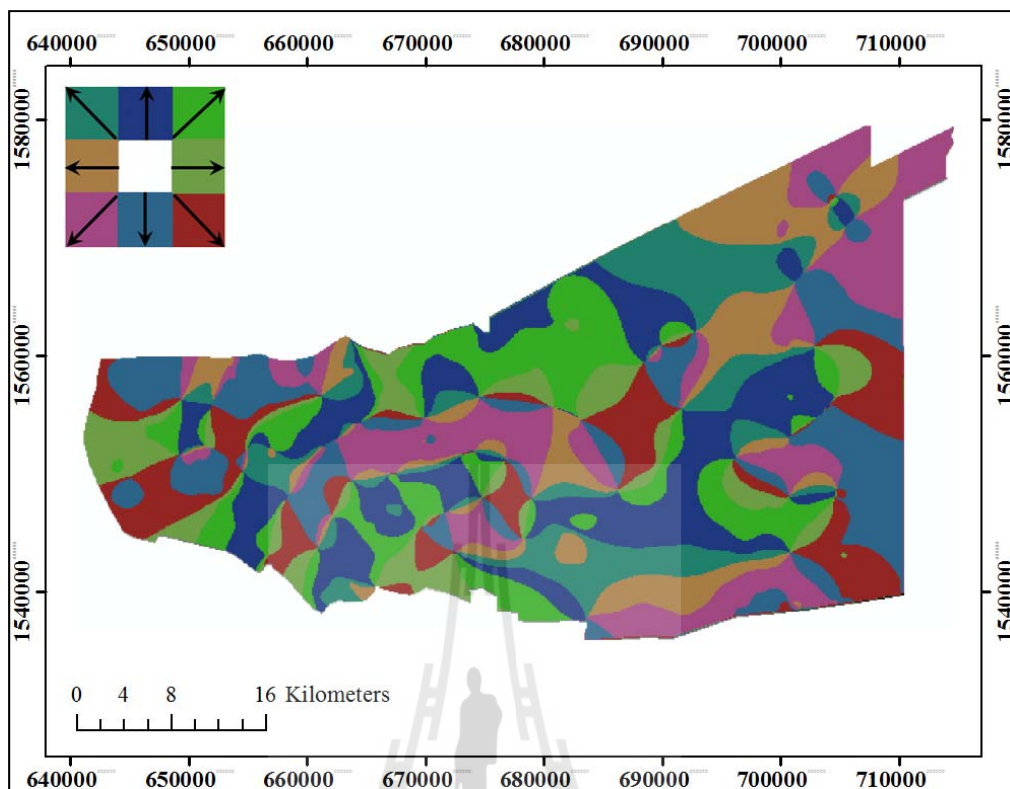
นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของแต่ละวิธี ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิมคือ ใช้เฉพาะข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข วิธีการสตรีมเบิร์ต และวิธีการที่พัฒนา โดยแสดงผลใน 2 รูปแบบ คือ โดยแทนทิศทางด้วยลูกศร และแทนทิศทางด้วยสี ซึ่งรายละเอียดของสีที่

ใช้ในการแสดงผล ได้แก่ ทิศตะวันออก (East: E) แทนด้วยสีเขียวอ่อน ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (North East: NE) แทนด้วยสีเขียว ทิศเหนือ N (North: N) แทนด้วยสีน้ำเงิน ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (North West: NW) แทนด้วยสีเขียวแก่ ทิศตะวันตก (West: W) แทนด้วยสีส้ม ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (South West: SW) แทนด้วยสีชมพู ทิศใต้ (South: S) แทนด้วยสีฟ้า และทิศตะวันออกเฉียงใต้ (South East: SE) แทนด้วยสีแดง ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.9 ถึง 4.22

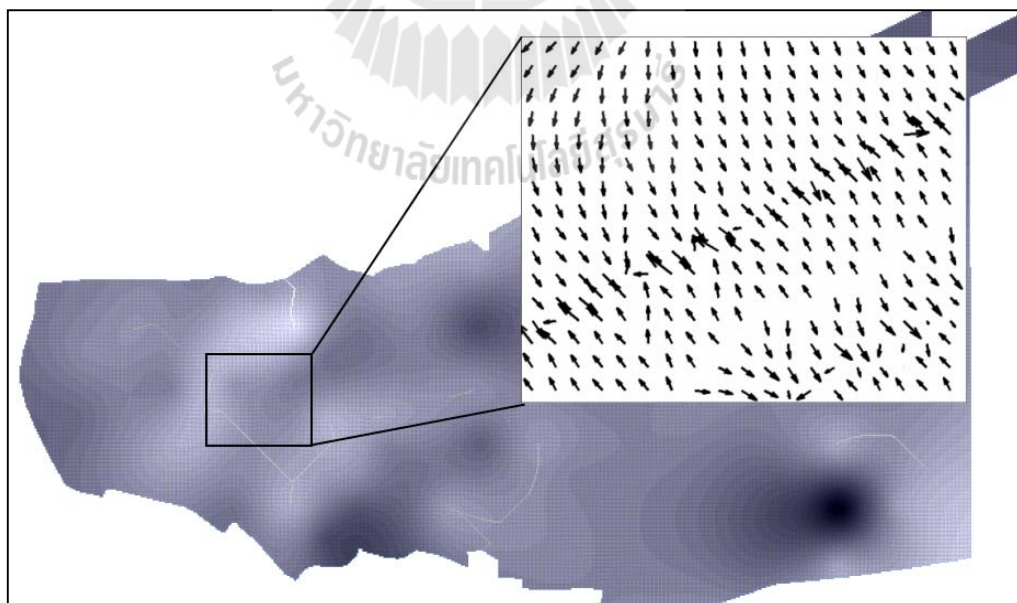
สำหรับผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลกรณีใช้วิธีการเดิม แสดงผลในรูปที่ 4.9 และ 4.10 จากภาพแสดงให้เห็นว่า ทิศทางการไหลที่ได้บริเวณแม่น้ำเส้นทางน้ำขาดหายไป ไม่สามารถระบุขอบเขตบริเวณแม่น้ำได้ ส่วนทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบิรน์นิง และทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนามีทิศทางการไหลของน้ำที่ใกล้เคียงกัน คือ บริเวณพื้นที่ใกล้แม่น้ำ ทิศทางการไหลวิ่งเข้าสู่แม่น้ำ แต่บริเวณอื่น ๆ ทิศทางการไหลขึ้นอยู่กับความสูงต่ำของพื้นที่ตามข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ทิศทางการไหลที่ได้จาก 2 วิธีดังกล่าวสามารถระบุขอบเขตบริเวณแม่น้ำได้ ทั้งกรณีที่พิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก และกรณีพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย แสดงดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.22



รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการเดิมโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร

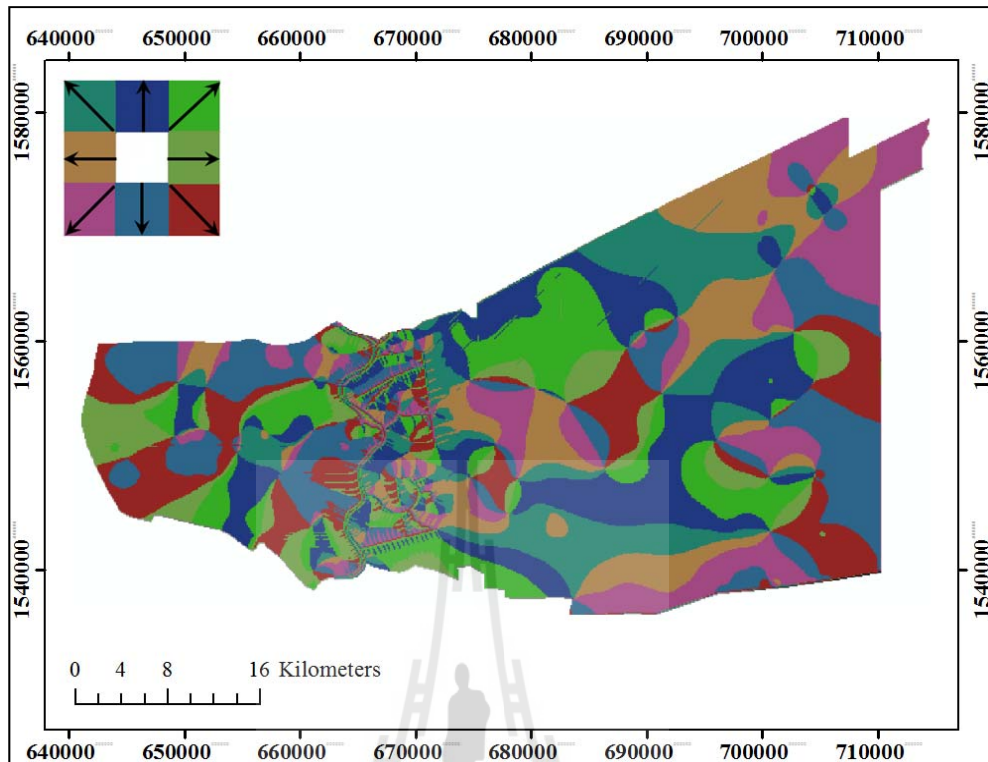


รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการเดิมโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยสี

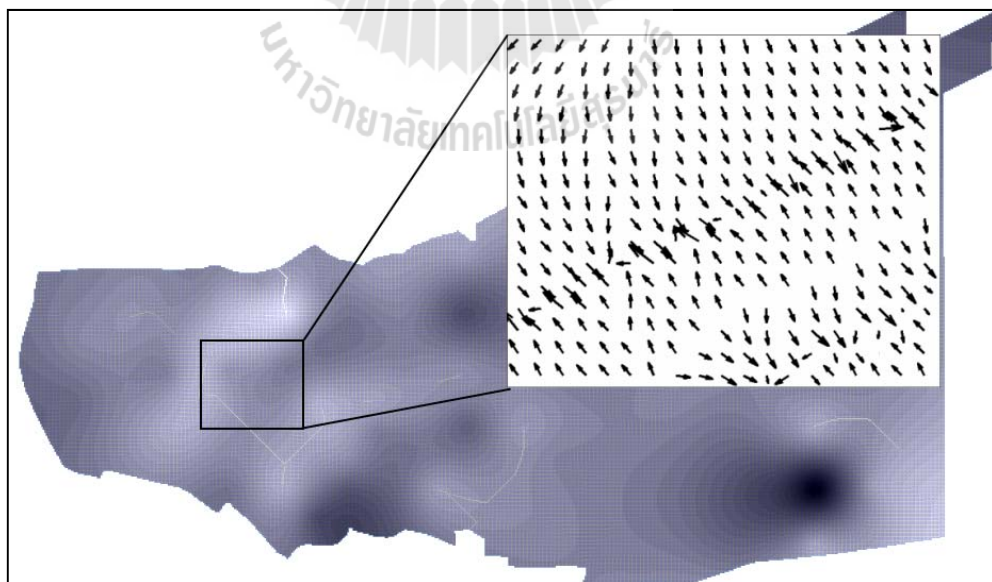


รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิรน์นิง จากแม่น้ำสายหลักโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร

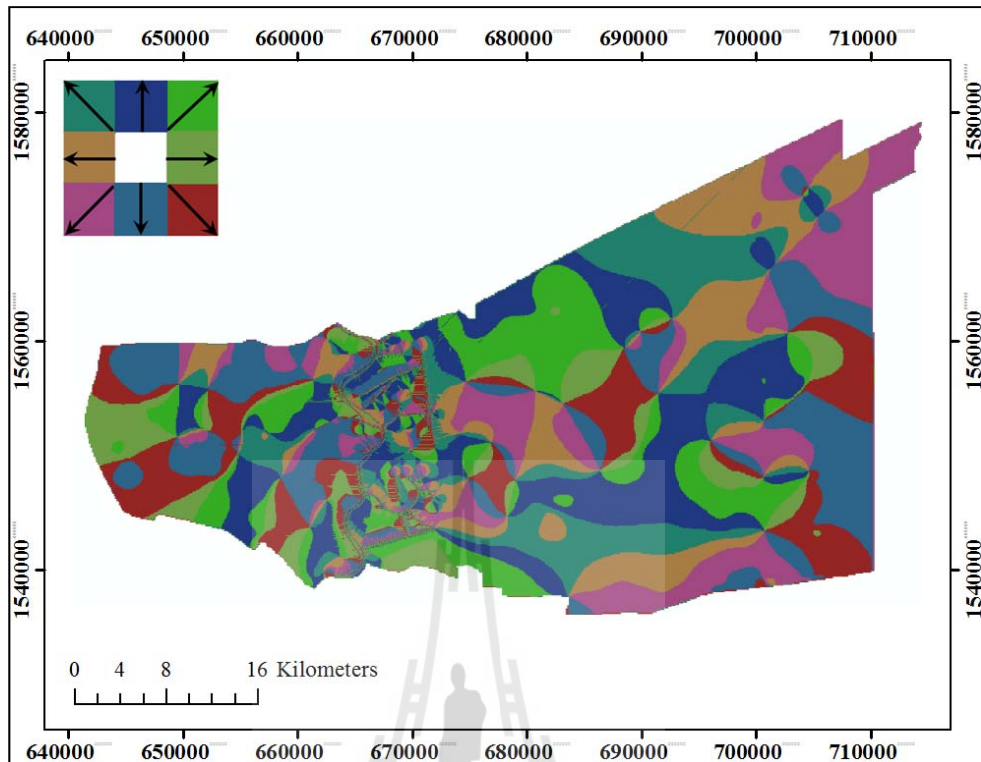




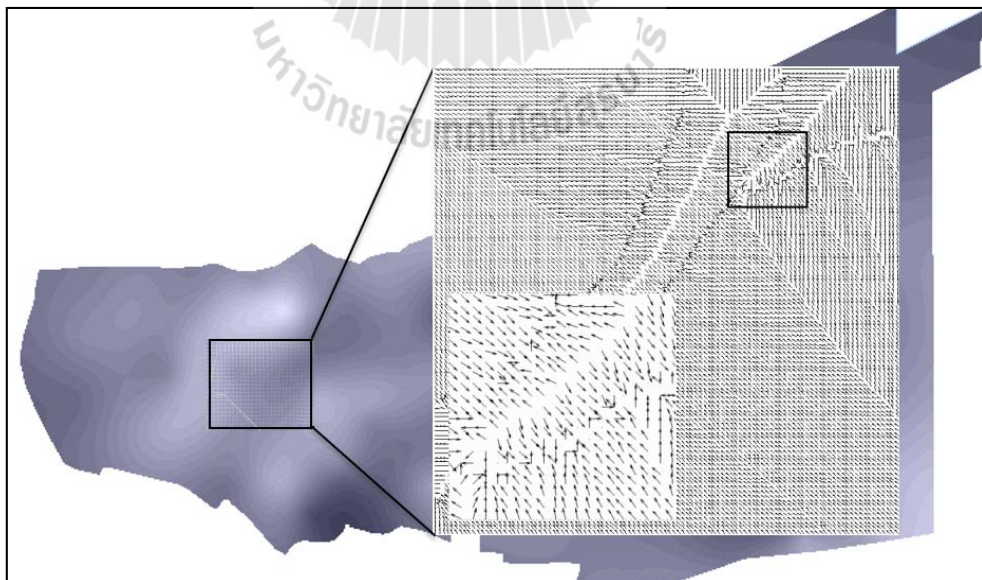
รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ทิศทางทางไหลโดยใช้วิธีการสตริมเบิร์นนิ่ง  
จากแม่น้ำสายหลักโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยสี



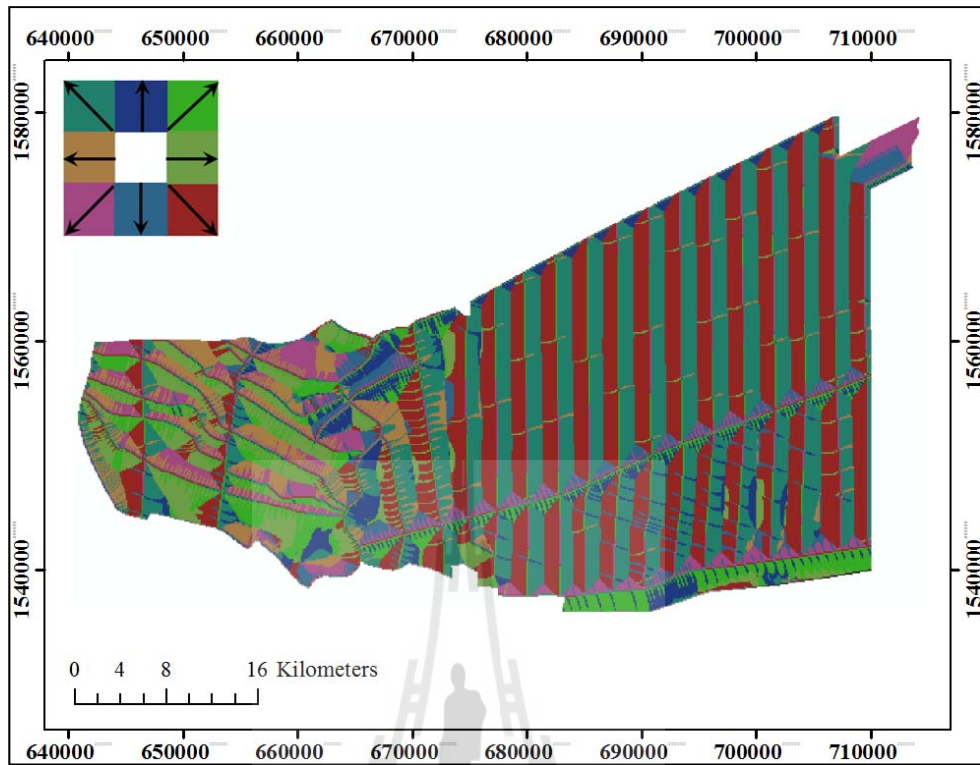
รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ทิศทางทางไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนา  
จากแม่น้ำสายหลักโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร



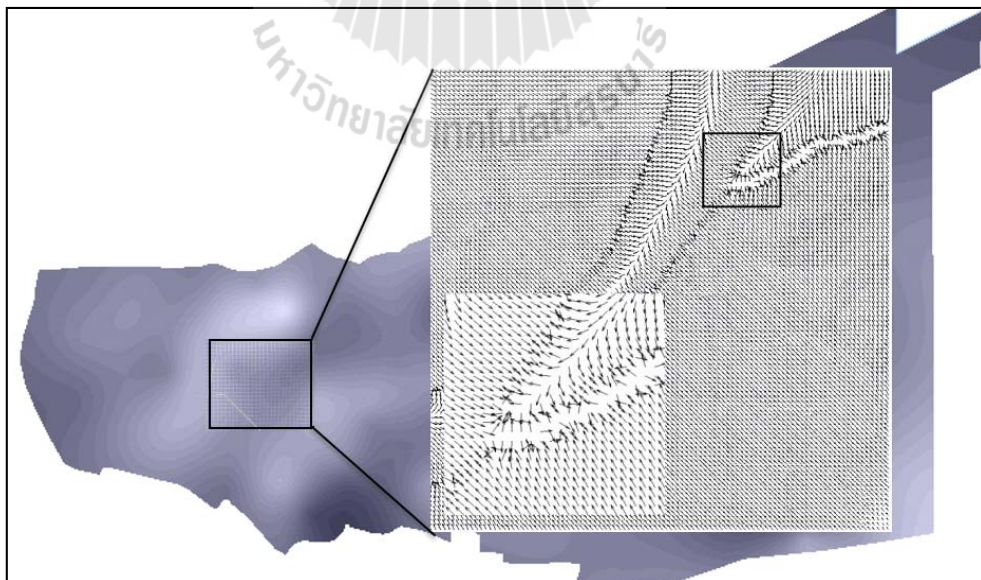
รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนา  
จากแม่น้ำสายหลัก โดยแทนแต่ละทิศทางด้วยสี



รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ทิศทางกรไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง  
จากแม่น้ำสายหลักและสายย่อย โดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร

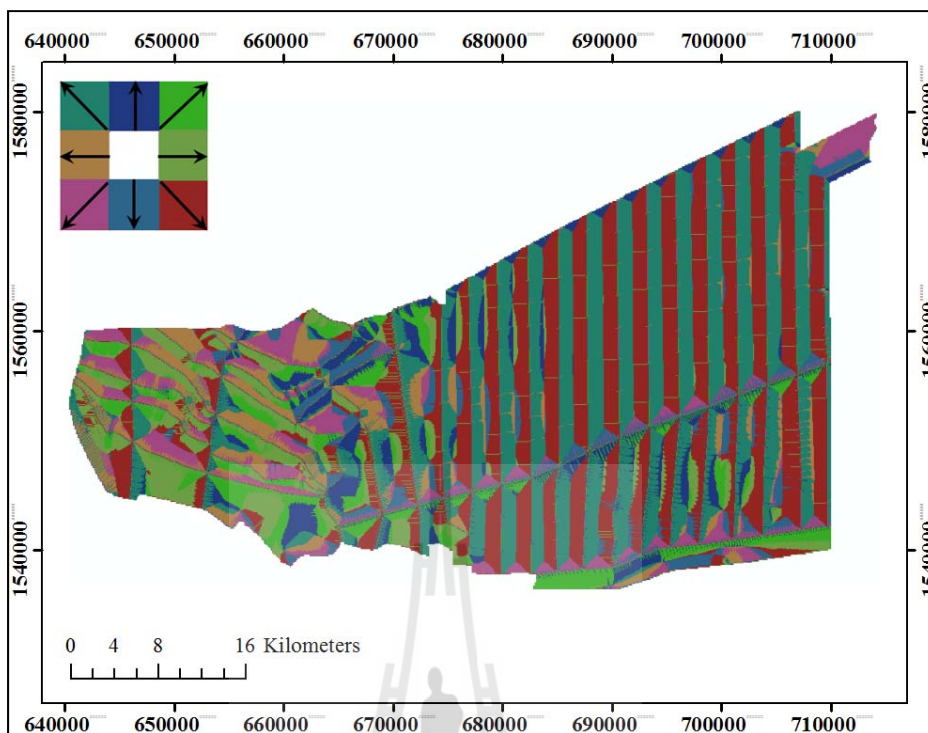


รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง จากแม่น้ำสายหลักและสายย่อยโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยสี



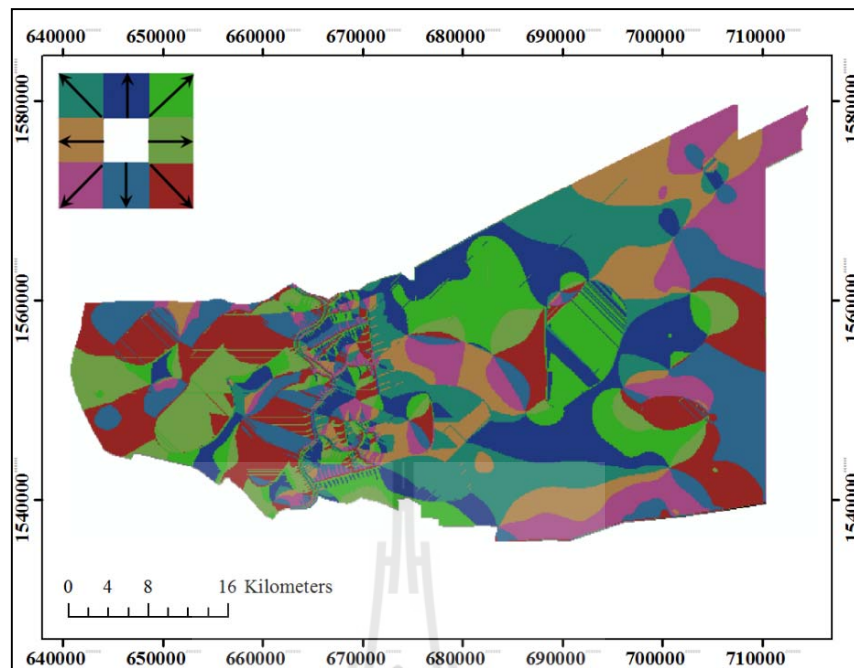
รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนา จากแม่น้ำสายหลักและสายย่อยโดยแทนแต่ละทิศทางด้วยลูกศร



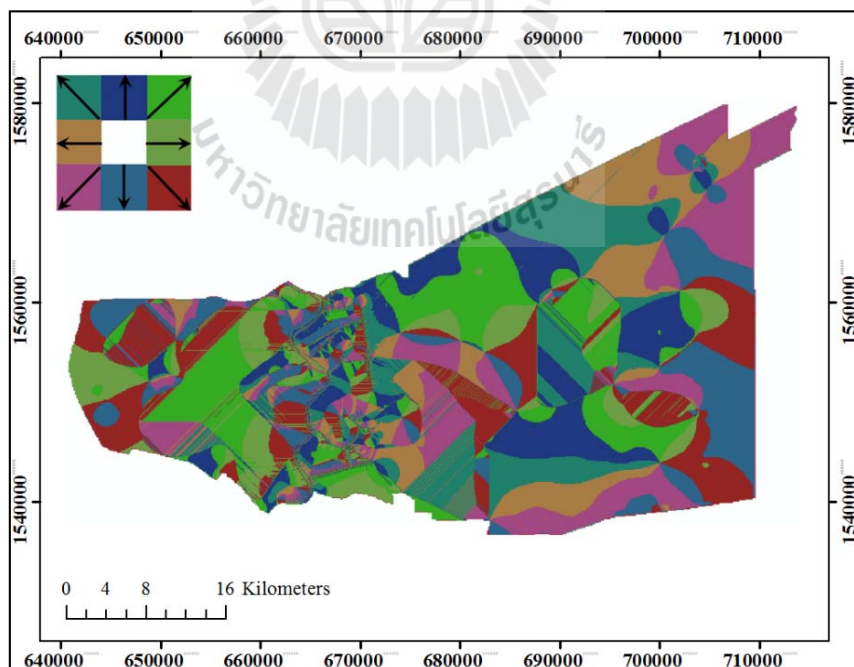


**รูปที่ 4.18** ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนา  
จากแม่น้ำสายหลักและสายย่อยโดยแทนแต่ละทิศทางด้านสี

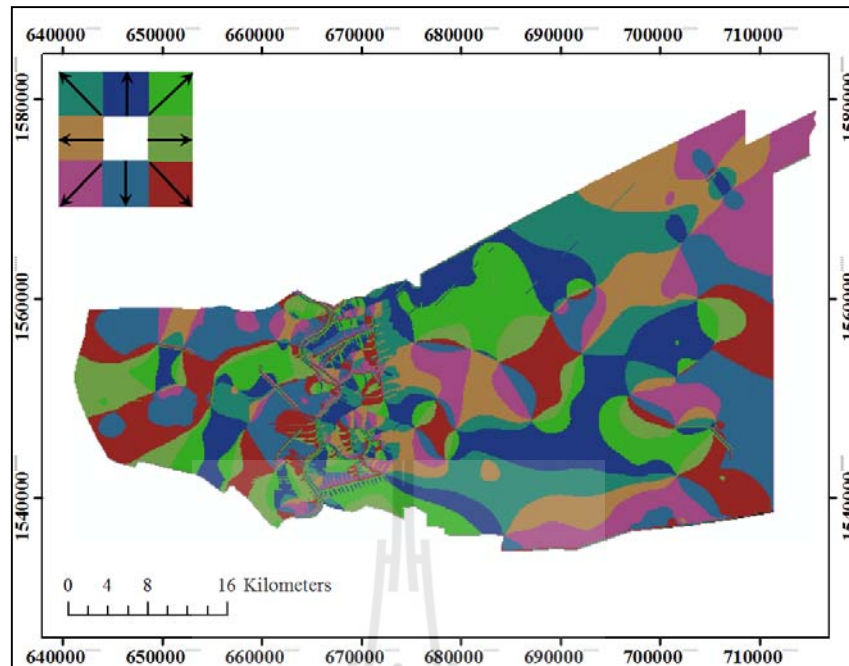
นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้มีการพิจารณาทิศทางการไหลกรณีน้ำเอ่อ โดยใช้ 2 วิธีการ ได้แก่ การเพิ่มค่าความสูง และการลดค่าความสูง โดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งเปรียบเทียบกับวิธีการที่พัฒนา แสดงผลในรูปที่ 4.19 ถึง 4.22 ผลการวิเคราะห์ พบว่า การใช้วิธีการเพิ่มค่าความสูง ส่งผลให้เกิดพื้นที่ราบเพิ่มมากขึ้น ถ้าหากใช้การวิเคราะห์ทิศทางการไหลวิธีที่พิจารณาเฉพาะค่าความสูงต่ำของพื้นที่จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลไม่สามารถระบุขอบเขตแม่น้ำหรือทิศทางการไหลบริเวณแม่น้ำได้ แต่ในงานวิจัยนี้ทดสอบการเพิ่มค่าความสูงและใช้วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยพิจารณาทั้งค่าความสูงต่ำของพื้นที่ และพิจารณาขอบเขตแม่น้ำ ผลลัพธ์ที่ได้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อทิศทางการไหลที่ได้ ถึงแม้จะมีการเพิ่มค่าความสูงหรือไม่เพิ่มค่าความสูงผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกันน้อยมาก จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว พบว่า เมื่อใช้วิธีการที่พัฒนาในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลไม่จำเป็นต้องใช้การเพิ่มค่าความสูงหรือลดค่าความสูงเพราะผลลัพธ์ที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าใช้วิธีการเดิม พบว่า วิธีการเพิ่มค่าความสูงไม่เหมาะสมกับพื้นที่ราบ แต่ทั้งนี้ในงานนี้พิจารณาประเด็นอื่นประกอบเพิ่มเติม คือ การนำผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลทั้งแบบเพิ่มค่าความสูง และลดค่าความสูงไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย เพื่อพิจารณาว่าวิธีการใดที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่า



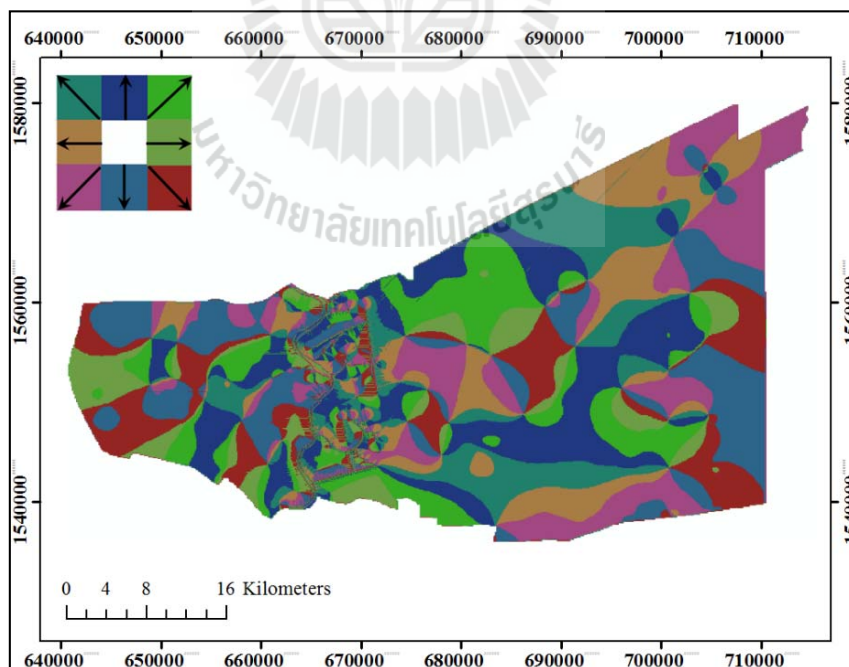
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง จากแม่น้ำสายหลักกรณีน้ำเอ่อ โดยใช้วิธีการเพิ่มค่าความสูง



รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนา จากแม่น้ำสายหลักกรณีน้ำเอ่อ โดยใช้วิธีการเพิ่มค่าความสูง

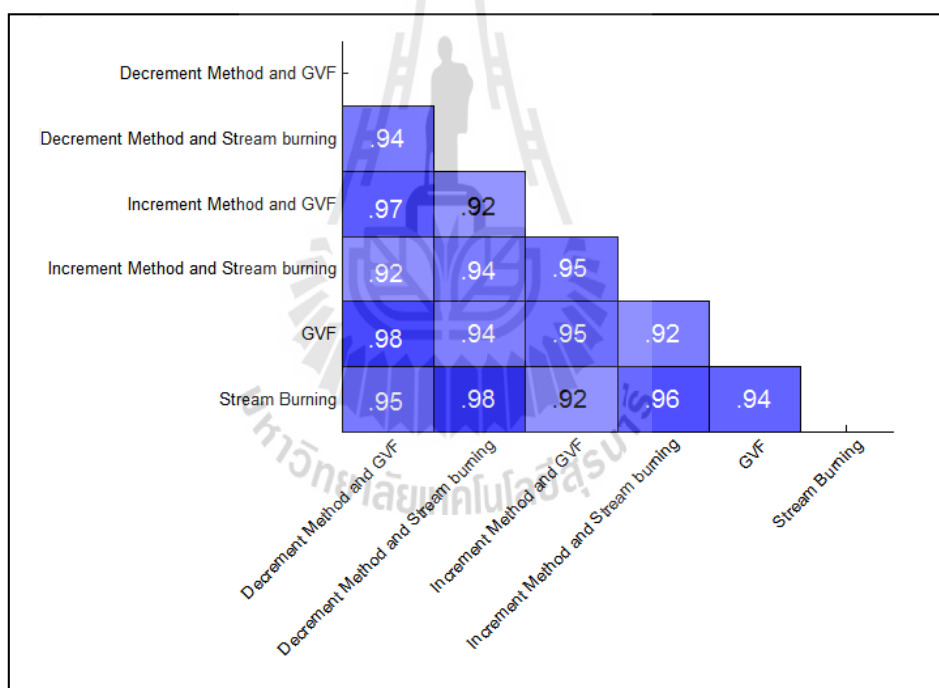


รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง  
จากแม่น้ำสายหลักกรณีน้ำเอ่อ โดยใช้วิธีการลดค่าความสูง



รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนา  
จากแม่น้ำสายหลักกรณีน้ำเอ่อ โดยใช้วิธีการลดค่าความสูง

สำหรับผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาและทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง เมื่อพิจารณากรณีน้ำเอ่อ โดยวิธีการเพิ่มค่าความสูงและลดค่าความสูงร่วมกับวิธีการที่พัฒนาและวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า ผลลัพธ์ของวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งและวิธีการที่พัฒนา ทั้งการใช้วิธีการเพิ่มค่าความสูง ลดค่าความสูง และวิธีการที่ไม่ใช้ทั้งการเพิ่มค่าความสูงและลดค่าความสูง มีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับสูงมากทุกวิธี แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 4.23 เมื่อพิจารณาถึงวิธีการที่เหมาะสมกรณีน้ำเอ่อ ซึ่งเปรียบเทียบกับทิศทางการไหลของทั้งวิธีการที่พัฒนาและวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งที่ไม่มีการพิจารณาน้ำเอ่อ พบว่า วิธีการที่เหมาะสม ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด คือ วิธีการลดค่าความสูง ทั้งกรณีที่ใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งและวิธีการที่พัฒนา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.98

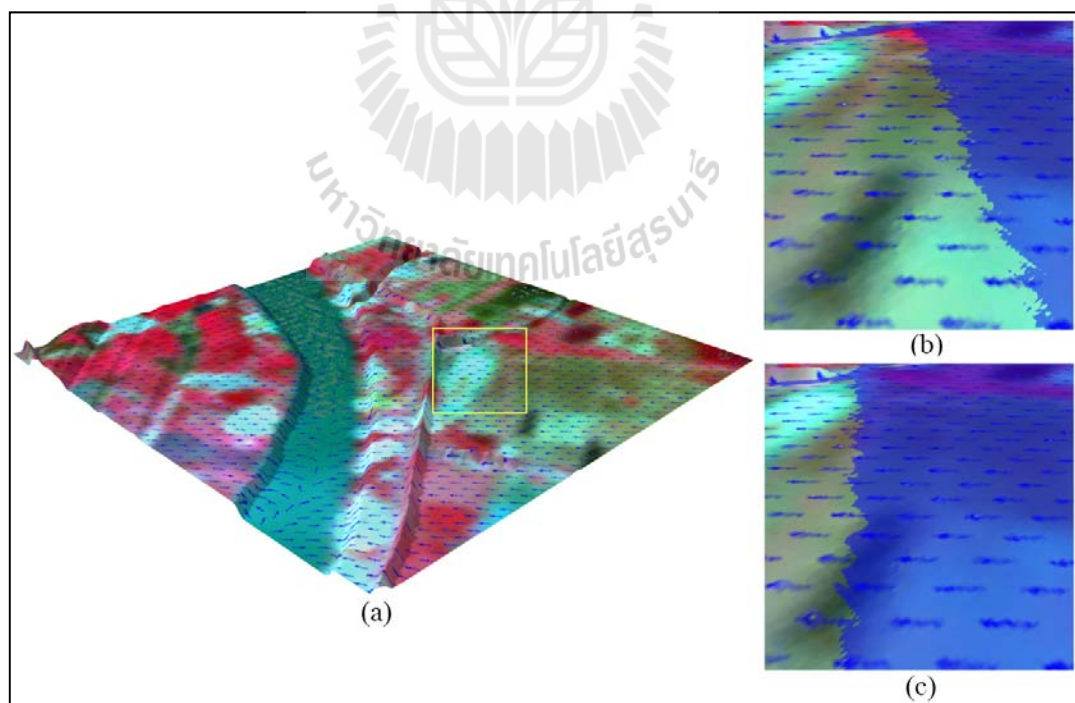


รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของทิศทางการไหลโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ทดสอบการนำทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาซ้อนทับกับข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข และภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นกับทิศทางการไหลที่พัฒนาว่ามีความสอดคล้องกัน โดยเมื่อพิจารณาทิศทางการไหลในส่วนของกรจำลองระดับน้ำที่ระดับที่แตกต่างกัน ในต่างพื้นที่กัน โดยทั้ง 4 พื้นที่ตั้งอยู่บริเวณริมแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณจังหวัดปทุมธานี แสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.24 ถึง 4.27 โดยรูปที่ 4.24

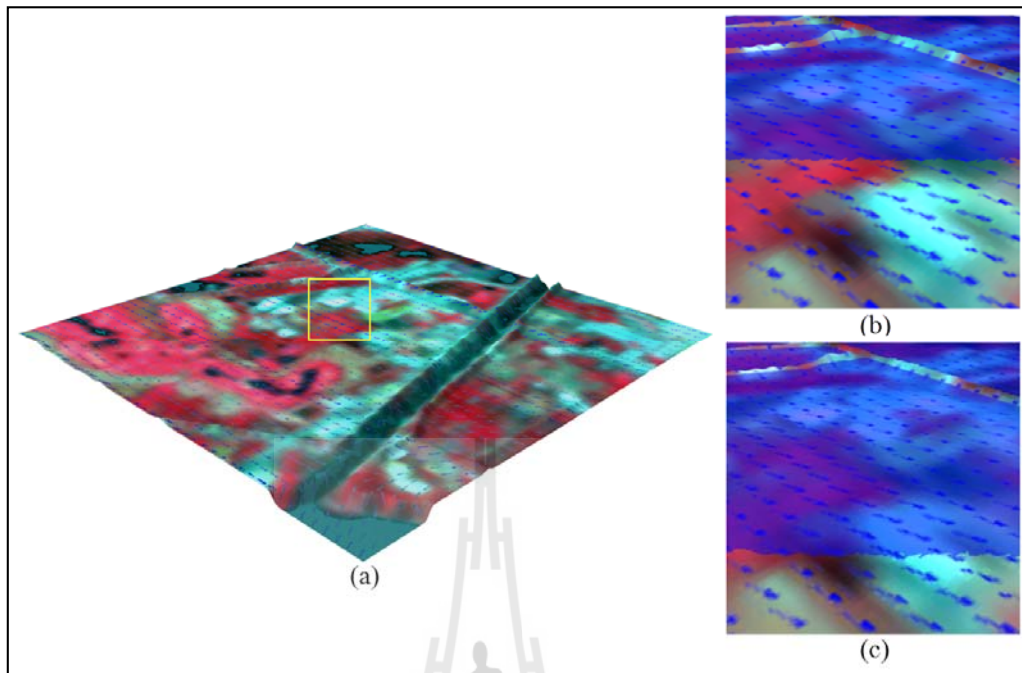


เป็นการจำลองระดับน้ำที่ระดับ 1.54 เมตร เปรียบเทียบกับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.64 เมตร ส่วนรูปที่ 4.25 เป็นการจำลองระดับน้ำที่ระดับ 0.92 เมตร เปรียบเทียบกับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.17 เมตร ส่วนรูปที่ 4.26 เป็นการจำลองระดับน้ำที่ระดับ 1.46 เมตร เปรียบเทียบกับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.60 เมตร และรูปที่ 4.27 เป็นการจำลองระดับน้ำที่ระดับ 1.05 เมตร เปรียบเทียบกับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.30 เมตร ผลการจำลอง พบว่า ทิศทางการไหลที่พัฒนามีความสัมพันธ์กับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น เป็นไปในทิศทางเดียวกัน อีกทั้งทิศทางการไหลมีความสอดคล้องกับบริเวณลำน้ำ ทำให้สามารถระบุขอบเขตลำน้ำได้อย่างชัดเจน ข้อมูลความสูงของระดับน้ำที่ใช้ในการจำลองในรูปที่ 4.24 ถึง 4.27 เป็นเพียงข้อมูลที่จำลองขึ้นเพื่อให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของทิศทางการไหลที่ได้กับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละพื้นที่เท่านั้น ตัวเลขดังกล่าวไม่ได้เกี่ยวข้องกับระดับน้ำที่เกิดขึ้นขณะเกิดอุทกภัยในอดีตแต่อย่างใด โดยหลักในการพิจารณาทิศทางการไหลกับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นใช้ทฤษฎีทางด้านภูมิศาสตร์ของทิศทางการไหลบริเวณใกล้แหล่งน้ำ คือ การไหลจะไหลจากพื้นที่สูงลงสู่พื้นที่ที่ต่ำกว่า ไหลจากพื้นที่บริเวณใกล้แหล่งน้ำหรือแม่น้ำลงสู่แม่น้ำ ซึ่งจากผลการทดลองจากภาพทั้ง 4 แสดงให้เห็นว่า ลักษณะการไหลที่ได้ในภาพดังกล่าวมีความสอดคล้องกับลักษณะการไหลตามทฤษฎีดังกล่าว

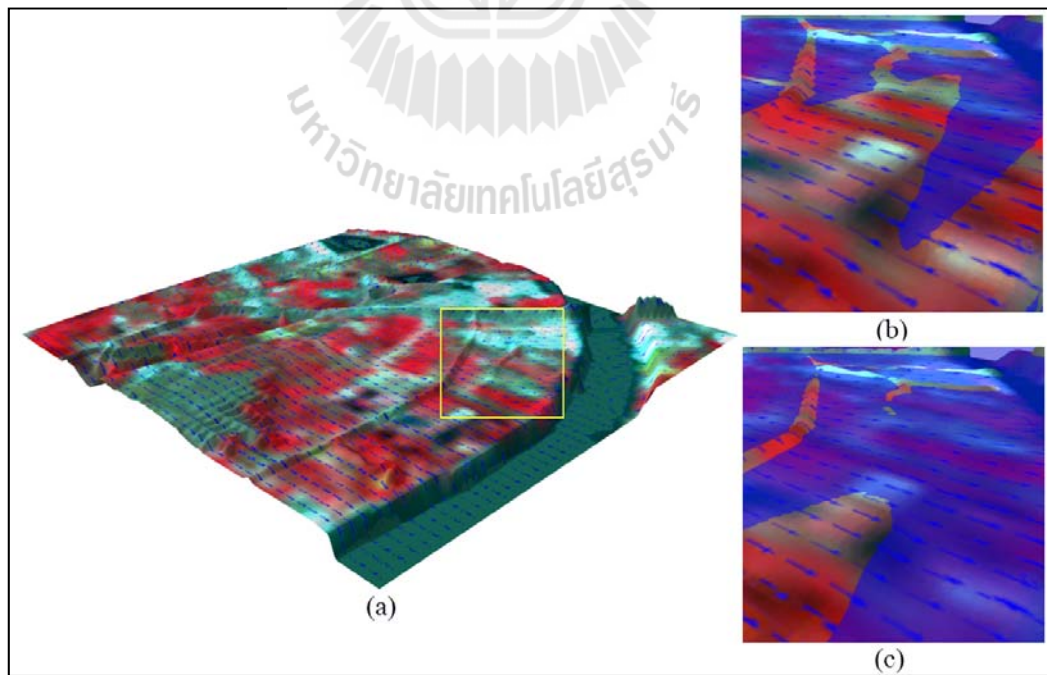


**รูปที่ 4.24** การซ้อนทับทิศทางการไหลกับแบบจำลองความสูงพื้นผิว (a) การจำลองระดับน้ำที่ระดับ 1.52 เมตร (b) เปรียบเทียบกับระดับ 1.64 เมตร (c)

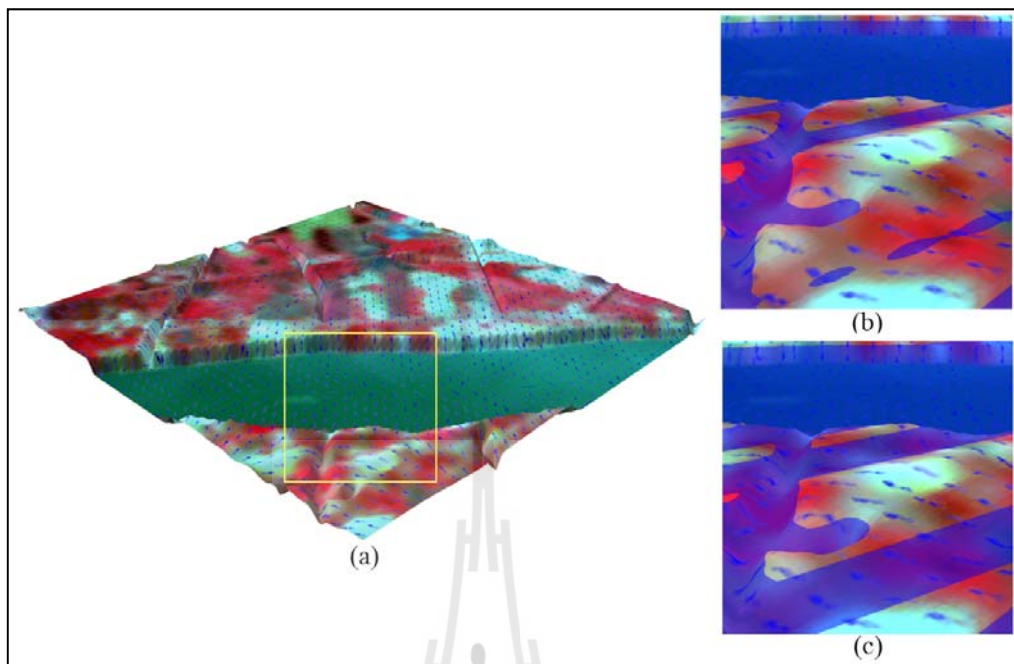




รูปที่ 4.25 การซ้อนทับทิศทางการไหลกับแบบจำลองความสูงพื้นผิว (a) การจำลองระดับน้ำที่ระดับ 0.92 เมตร (b) เปรียบเทียบกับระดับ 1.17 เมตร (c)



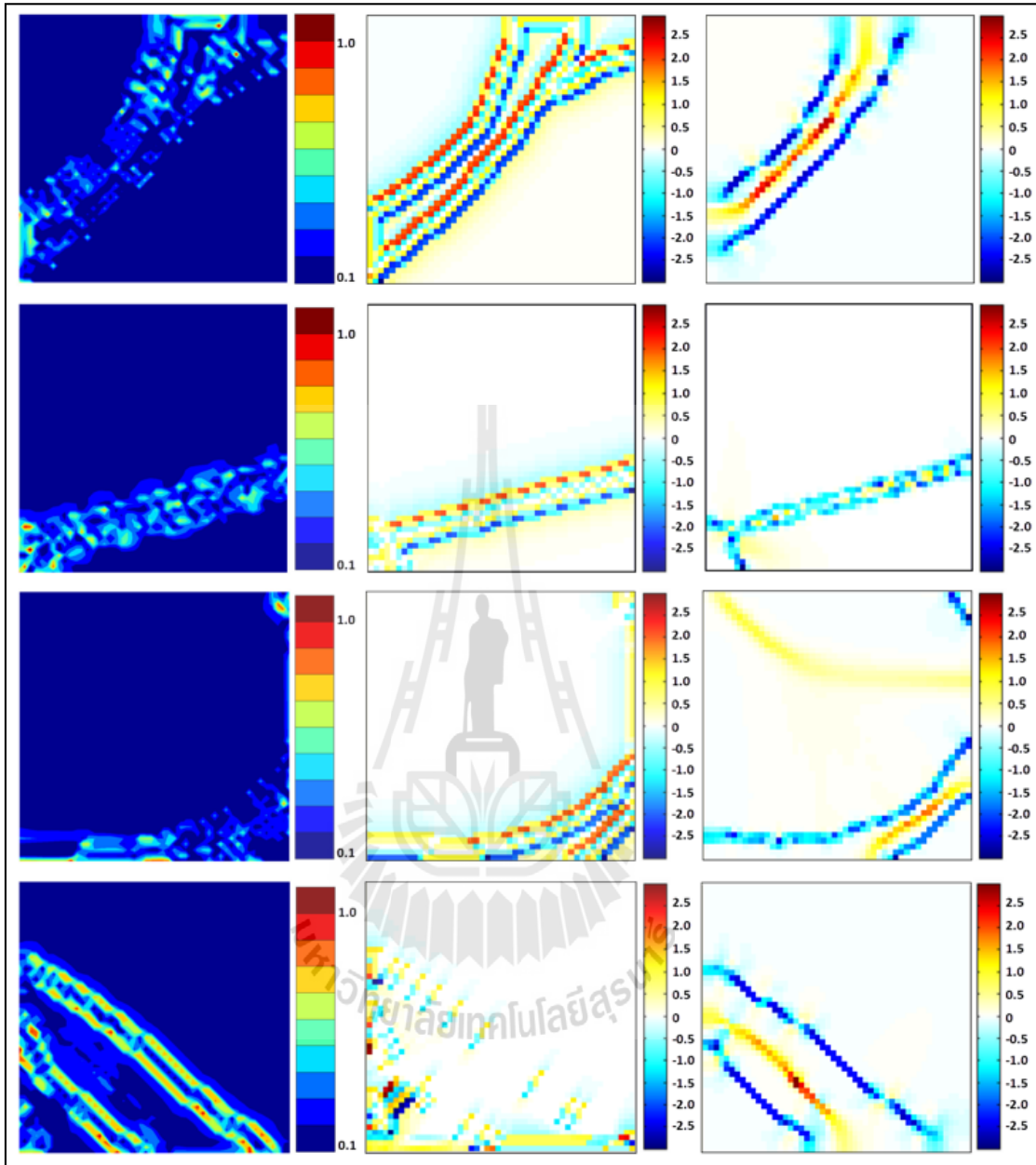
รูปที่ 4.26 การซ้อนทับทิศทางการไหลกับแบบจำลองความสูงพื้นผิว (a) การจำลองระดับน้ำที่ระดับ 1.46 เมตร (b) เปรียบเทียบกับระดับ 1.60 เมตร (c)



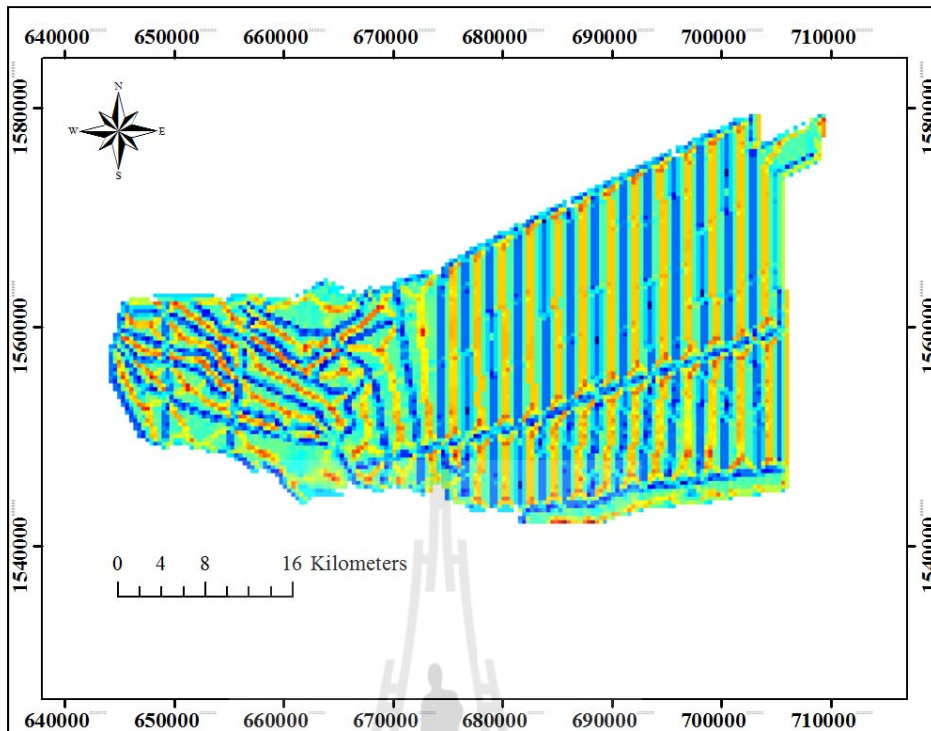
**รูปที่ 4.27** การซ้อนทับทิศทางการไหลกับแบบจำลองความสูงพื้นผิว (a) การจำลองระดับน้ำที่ระดับ 1.05 เมตร (b) เปรียบเทียบกับระดับ 1.30 เมตร (c)

#### 4.2.2 ผลการเปรียบเทียบทิศทางการไหลโดยใช้เคิร์ลและไดเวอร์เจนซ์

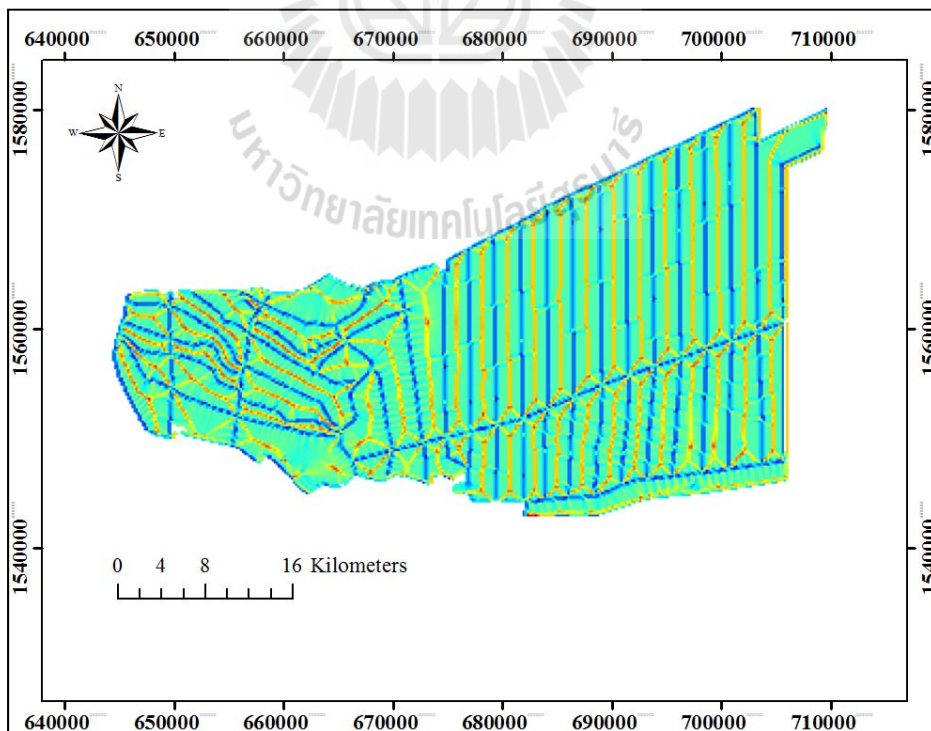
งานวิจัยนี้ใช้เคิร์ลในการวัดความคล้ายคลึงของทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบรินนิงและวิธีการที่พัฒนา แสดงผลดังรูปที่ 4.28 ด้านซ้ายมือ จากภาพสีน้ำเงินแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างทิศทางการไหลทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันน้อย ในทางตรงข้ามถ้าสีน้ำตาลแสดงให้เห็นว่าทิศทางการไหลทั้งสองแบบแตกต่างกันมาก นอกจากนี้งานวิจัยนี้ใช้ไดเวอร์เจนซ์ในการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบรินนิง (รูปที่ 4.28 กลาง) วิธีการที่พัฒนา (รูปที่ 4.28 ขวา) จากภาพถ้าค่าไดเวอร์เจนซ์ที่ได้มีค่าเป็นลบ ซึ่งแทนด้วยสีเขียว ฟ้ำ และสีน้ำเงินพื้นที่ยังกล่าวจะมีลักษณะเป็นพื้นที่รับน้ำ (Sink) ส่วนบริเวณที่มีค่าเป็นบวก ซึ่งแทนด้วยสีเหลือง และสีแดง พื้นที่ยังกล่าวจะมีลักษณะเป็นพื้นที่ต้นน้ำหรือแหล่งจ่ายน้ำ (Source) และถ้าค่าที่ได้เท่ากับศูนย์ แทนด้วยสีขาว คือ พื้นที่ยังกล่าวไม่เป็นทั้งพื้นที่ต้นน้ำและพื้นที่รับน้ำ จากภาพแสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เป็นพื้นที่รับน้ำจะเป็นบริเวณขอบแม่น้ำ (River Boundary) จากการวิเคราะห์ผลจากภาพ พบว่า มีบางส่วนของวิธีการสตรีมเบรินนิง ผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่า บริเวณขอบแม่น้ำมีความผิดพลาด ค่าไดเวอร์เจนซ์ที่ควรจะได้ควรจะเป็นค่าลบ แต่ผลที่ได้ที่แสดงในภาพเป็นค่าศูนย์ ซึ่งจากผลแสดงว่าบริเวณดังกล่าวไม่ได้เป็นพื้นที่รับน้ำ แต่ในสภาพจริงพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่รับน้ำ



รูปที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบทิศทางการไหล โดยเคิร์ลและไดเวอร์เจนซ์



รูปที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ไฮโดรเจนซ์จากทิศทางกรไหลโดยวิธีสตรีมเบิร์นนิ่ง



รูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ไฮโดรเจนซ์จากทิศทางกรไหลโดยวิธีการที่พัฒนา

### 4.2.3 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลสะสมและดัชนีภูมิประเทศโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา

งานวิจัยนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบทิศทางการไหลสะสมและดัชนีภูมิประเทศซึ่งวิเคราะห์จากทิศทางการไหลที่ได้ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิม (D8) วิธีการ D8 และสตรีมเบิร์นนิ่ง รวมถึง D8 และการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ งานวิจัยนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการตรวจสอบความถูกต้องของทิศทางการไหล เพราะสามารถตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นของทิศทางการไหลแต่ละวิธีได้ว่าทิศทางการไหลบริเวณแนวลำน้ำดังกล่าวมีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับข้อมูลแหล่งน้ำในสภาพจริง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี พบว่า วิธีการ D8 และสตรีมเบิร์นนิ่ง รวมถึง D8 และการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ (GVF) ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริงทั้งสองวิธี คือ บริเวณที่เป็นแนวลำน้ำค่าดัชนีภูมิประเทศที่ได้มีค่าสูง เห็นได้จากพิกเซลที่เป็นสีเหลือง ดังรูปที่ 4.32 ซึ่งส่วนใหญ่จะปรากฏบริเวณแนวลำน้ำหรือลุ่มน้ำ ส่วนข้อผิดพลาดของวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง พบว่า มีข้อผิดพลาดในเรื่องความคลาดเคลื่อนของแนวลำน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลลำน้ำที่ได้จากการดิจิทัล

จากการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใน 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ ผลของการใช้แบบจำลองความสูงที่หลากหลายความละเอียด และผลของการใช้วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.2 สำหรับค่าสถิติที่ได้จากการคำนวณดัชนีภูมิประเทศ พบว่า ทั้ง 3 วิธีค่าสถิติทุกตัวยกเว้นค่าต่ำสุดจะมีค่าลดลงเมื่อความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีความละเอียดน้อยลง ซึ่งค่าเฉลี่ยของดัชนีภูมิประเทศที่ได้จากวิธีการ D8 ลดลงจาก 12.32 เป็น 10.91 คิดเป็น -11.44% ค่าสูงสุดลดลงจาก 20.02 เป็น 17.11 คิดเป็น -14.52% เมื่อใช้ความละเอียดของแบบจำลองความสูง 5 และ 15 เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของดัชนีภูมิประเทศที่ได้จากวิธีการ D8 และ สตรีมเบิร์นนิ่ง ลดลงจาก 11.23 เป็น 9.96 คิดเป็น -11.31% ค่าสูงสุดลดลงจาก 18.61 เป็น 16.52 คิดเป็น -11.26% เมื่อใช้ความละเอียดของแบบจำลองความสูง 5 และ 15 เมตร ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของดัชนีภูมิประเทศที่ได้จากวิธีการ D8 และการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ ลดลงจาก 11.90 เป็น 10.63 คิดเป็น -10.67% ค่าสูงสุดลดลงจาก 21.17 เป็น 17.80 คิดเป็น -15.95% เมื่อใช้ความละเอียดของแบบจำลองความสูง 5 และ 15 เมตร ตามลำดับ ส่วนค่าต่ำสุดที่ได้ในแต่ละวิธีมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.85 เป็น 2.24 จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีผลอย่างมากต่อค่าดัชนีภูมิประเทศที่ได้ เมื่อพิจารณาในกรณีที่เปลี่ยนไปใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีความละเอียดน้อยลง พบว่า ค่าดัชนีภูมิประเทศมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -6.26% ถึง -15.95%

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าดัชนีภูมิประเทศสูงสุดที่ได้จากทั้ง 3 วิธี พบว่า อัลกอริทึม D8 และ การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ ให้ค่าดัชนีภูมิประเทศสูงสุดทั้งความละเอียด 5 และ 15 เมตร ถึงแม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีภูมิประเทศที่ได้จากแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่

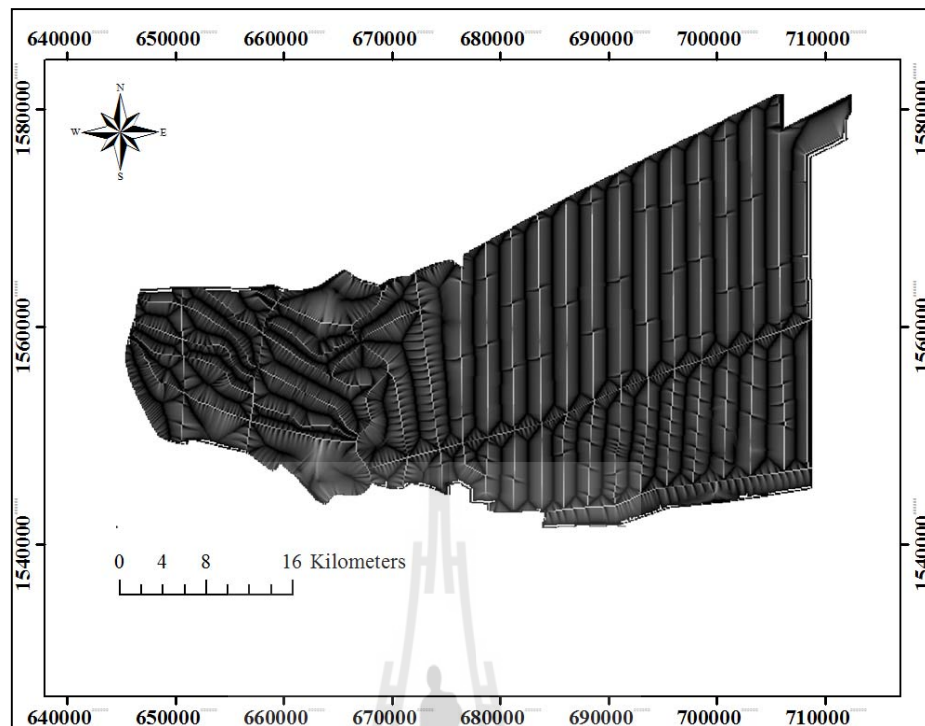
ความละเอียด 5 และ 15 เมตร มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงกว่าวิธีอื่น ๆ แต่เมื่อพิจารณาในด้านความถูกต้องเมื่อตรวจสอบกับข้อมูลขอบเขตแม่น้ำที่ดิจิทัลด้วยวิธีการแมนนวล พบว่า วิธี D8 และการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์มีความถูกต้องและสอดคล้องมากที่สุด

ตารางที่ 4.2 สถิติเชิงพรรณนาของค่าดัชนีภูมิประเทศ

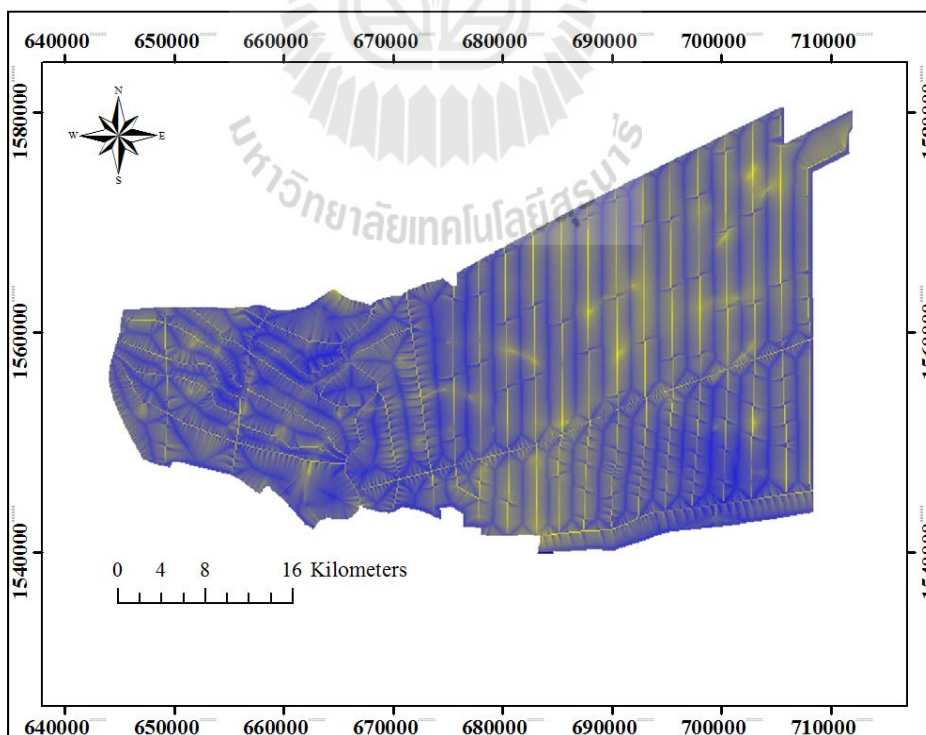
วิธีการ	ความละเอียด 5 เมตร			ความละเอียด 15 เมตร		
	D8	D8 และ สตรีม เบิร์นนิ่ง	D8 และ GVF	D8	D8 และ สตรีม เบิร์นนิ่ง	D8 และ GVF
<b>Max</b>	20.02	18.61	21.17	17.11	16.52	17.80
<b>Min</b>	0.85	0.85	0.85	2.24	2.25	2.24
<b>Mean</b>	12.32	11.23	11.90	10.91	9.96	10.63
<b>Std.</b>	1.15	1.36	1.49	1.51	1.54	1.78

ในการจำลองการเกิดอุทกภัย สำหรับบางแบบจำลองใช้ทิศทางการไหลสะสมแทนค่าดัชนีภูมิประเทศ สำหรับผลการวิเคราะห์การไหลสะสมพบว่าให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความ เป็นจริง คือ บริเวณแนวลำน้ำจะมีการไหลสะสมมากกว่าบริเวณอื่น ๆ เห็นได้จากพิทเชลที่เป็นสี ขาว ดังรูปที่ 4.31 อย่างไรก็ตามแบบจำลองอุทกภัยหรือแบบจำลองปริมาณน้ำฝนน้ำท่าบาง แบบจำลองไม่ใช้ทิศทางการไหล ทิศทางการไหลสะสม แต่ใช้ดัชนีภูมิประเทศ ซึ่งความแตกต่าง ระหว่างทิศทางการไหลสะสมและดัชนีภูมิประเทศ คือ ดัชนีภูมิประเทศนำทิศทางการไหลสะสมที่ ได้หารด้วยความลาดชัน ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.32 ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นตัวชี้วัดในการระบุ ว่าพื้นที่ใดมีความสามารถในการระบายน้ำได้ในลักษณะใด เช่น พื้นที่ที่มีการไหลสะสมหรือค่า ดัชนีภูมิประเทศสูง บ่งบอกถึงแนวโน้มน้ำที่เดินจะถึงจุดอ้อมตัวด้วยน้ำก่อน พื้นที่นั้นจะมีน้ำสะสมมาก แต่ระบายน้ำได้น้อย และมักเป็นกริดที่เป็นแนวเดียวกับแนวของแม่น้ำลำธารหรือบริเวณใกล้ลำน้ำ ในทางกลับกันพื้นที่ที่มีค่าการไหลสะสมหรือค่าดัชนีภูมิประเทศต่ำ พื้นที่นั้นจะมีน้ำสะสมน้อย และมีการเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่นมาก





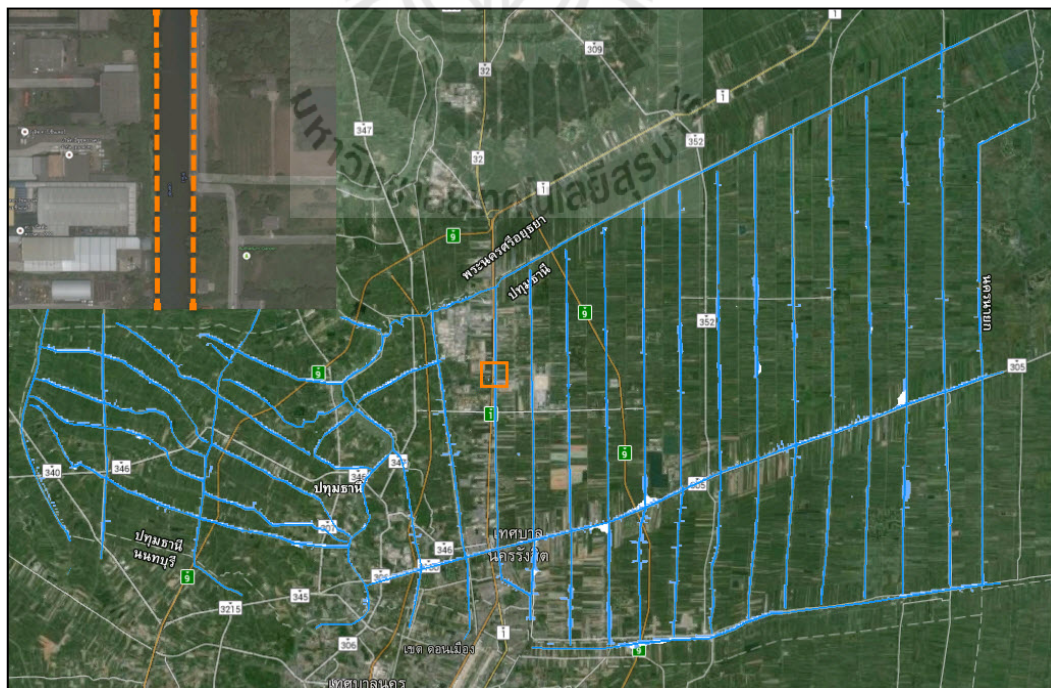
รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลสะสมจากทิศทางการไหลโดยวิธีการที่พัฒนา



รูปที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศจากทิศทางการไหลโดยวิธีการที่พัฒนา

#### 4.2.4 ผลการเปรียบเทียบโดยใช้ทิศทางการไหลเพื่อหาแหล่งน้ำจากวิธีการที่พัฒนากับเว็บไซต์ Google Map

งานวิจัยนี้นำทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการที่ได้จากการพัฒนามาใช้หาแหล่งน้ำเปรียบเทียบกับขอบเขตแหล่งน้ำจากฐานข้อมูล Google Map เพื่อเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำสายหลักและสายย่อยจากเว็บไซต์ Google Map โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับข้อมูลจากเว็บไซต์ Google Map แทนการออกสำรวจขอบเขตแหล่งน้ำในพื้นที่จริง โดยการเปรียบเทียบดังกล่าวสามารถพิสูจน์เบื้องต้นได้ว่าทิศทางการไหลที่ได้บริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำที่ได้จากวิธีการที่พัฒนามีความสอดคล้องกับทิศทางการไหลบริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำในสภาพจริงหรือมีความขัดแย้งกับสภาพจริง โดยผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.33 จากภาพแสดงให้เห็นว่าข้อมูลแหล่งน้ำที่ได้จากการนำทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาไปหาขอบเขตแหล่งน้ำซึ่งแสดงด้วยเส้นสีน้ำเงินมีความสอดคล้องกับข้อมูลแหล่งน้ำที่ได้จากเว็บไซต์ Google Map โดยข้อมูลจากทั้ง 2 แหล่งสามารถซ้อนทับกันพอดี ไม่มีการเหลื่อมล้ำหรือเกิดเส้นทางน้ำที่ขาดหายไปแต่อย่างใด ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนามีความสอดคล้องกับสภาพจริง เพราะเมื่อนำทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาไปใช้หาขอบเขตแหล่งน้ำ สามารถระบุขอบเขตแหล่งน้ำที่ถูกต้องตรงกับข้อมูลจากเว็บไซต์ Google Map



รูปที่ 4.33 แหล่งน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่พัฒนาซ้อนทับกับภาพข้อมูลแหล่งน้ำจากเว็บไซต์ Google Map



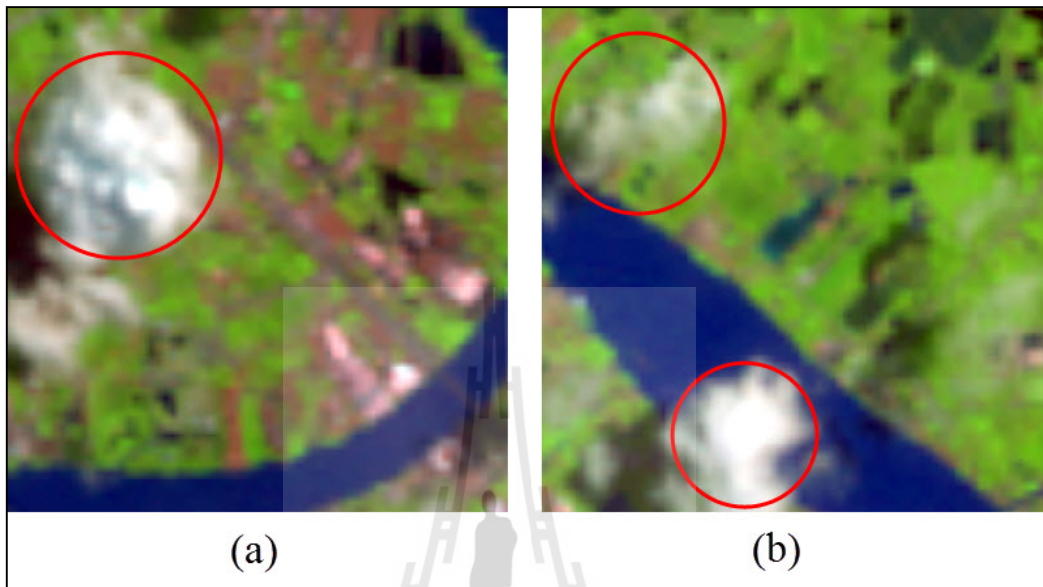
#### 4.2.5 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลกรณีที่เกิดปัญหาจากข้อมูลนำเข้า

งานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ความถูกต้องของการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่พัฒนากรณีที่มีผลกระทบซึ่งเกิดจากความถูกต้องของข้อมูลนำเข้า ซึ่งข้อมูลนำเข้าที่พิจารณา ประกอบด้วยข้อมูล 2 ประเภท ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

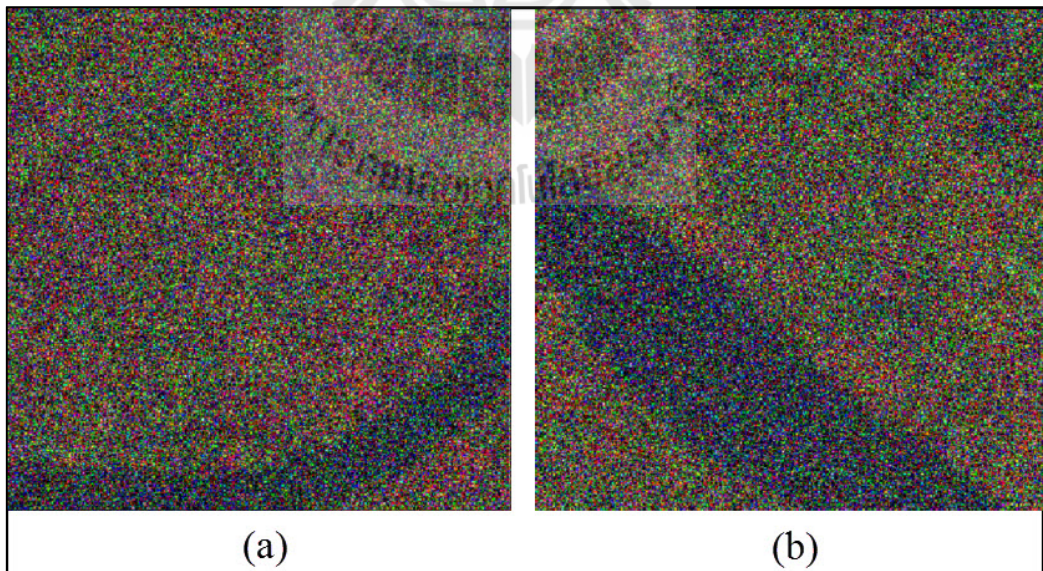
**4.2.5.1 กรณีภาพถ่ายดาวเทียมมีเมฆปกคลุมหรือสัญญาณรบกวน** โดยปกติปัญหาอย่างหนึ่งซึ่งทำให้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้ไม่ชัดเจน หรือไม่มีคุณภาพสำหรับนำไปใช้ เกิดจากหลายสาเหตุ แต่สาเหตุหลักแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้ไม่มีเมฆปกคลุม และภาพถ่ายดาวเทียมมีสัญญาณรบกวน สำหรับกรณีแรก คือ ภาพถ่ายดาวเทียมมีเมฆปกคลุม โดยปกติจะมีขั้นตอนวิธีในการกำจัดหรือลดทอนเมฆในภาพถ่ายดาวเทียมก่อนที่จะนำไปใช้งานสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการที่พัฒนา กรณีภาพถ่ายดาวเทียมที่นำเข้าไม่ได้มีการกำจัดเมฆออกไป จึงนำภาพถ่ายดาวเทียมที่ปกคลุมด้วยเมฆใน 2 ลักษณะ ได้แก่ เมฆปกคลุมบริเวณอื่น ๆ ซึ่งไม่ใช่บริเวณแม่น้ำ (รูปที่ 4.34 (a)) และเมฆปกคลุมบริเวณแม่น้ำ (รูปที่ 4.34 (b)) ไปใช้ในการทดสอบจำแนกขอบเขตแม่น้ำ สำหรับกรณีที่สอง คือ ภาพถ่ายดาวเทียมมีสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยปกติสัญญาณรบกวนอาจเกิดจากความผิดปกติของเครื่องมือตรวจวัด ความผิดปกติระหว่างการส่งผ่านข้อมูล หรือความผิดปกติระหว่างบันทึกข้อมูล ลักษณะของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เช่น แถวข้อมูลขาดหายไปเนื่องจากตัวตรวจวัดทำงานผิดปกติ สัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากจุดภาพมีความเข้มของสัญญาณสูงหรือต่ำกว่าจุดภาพข้างเคียงมากทำให้เกิดเป็นจุดสีขาวหรือดำแทรกอยู่อย่างกระจัดกระจายบนภาพ เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้ทดลองเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับภาพถ่ายดาวเทียมที่จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้า โดยเพิ่มสัญญาณรบกวน 20% และ SNR เท่ากับ 1.17 และ 1.26 สำหรับภาพที่ 1 (รูปที่ 4.35(a)) และภาพที่ 2 (รูปที่ 4.35 (b)) ตามลำดับ

จากผลการทดลองกรณีแรก พบว่า ถึงแม้ว่าภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้า จะมีเมฆปกคลุมทั้งในกรณีปกคลุมบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำ หรือบริเวณแม่น้ำซึ่งต้องการจำแนก ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ส่งผลต่อความถูกต้องของการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถจำแนกได้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย (รูปที่ 4.36 และ 4.37) ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีการที่นำเสนอไม่ได้ใช้เฉพาะภาพถ่ายดาวเทียมเท่านั้น แต่ใช้การหลอมรวมข้อมูลระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ยังคงมีความถูกต้องอยู่ในระดับสูง สำหรับความถูกต้องของการจำแนกแสดงดังตารางที่ 4.3 ส่วนผลการทดลองกรณีที่สอง พบว่า การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีสัญญาณรบกวน 20% ผลลัพธ์ที่ได้ส่งผลน้อยมากต่อความถูกต้องของการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ เช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.36 และ 4.37) และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการจำแนกไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศ

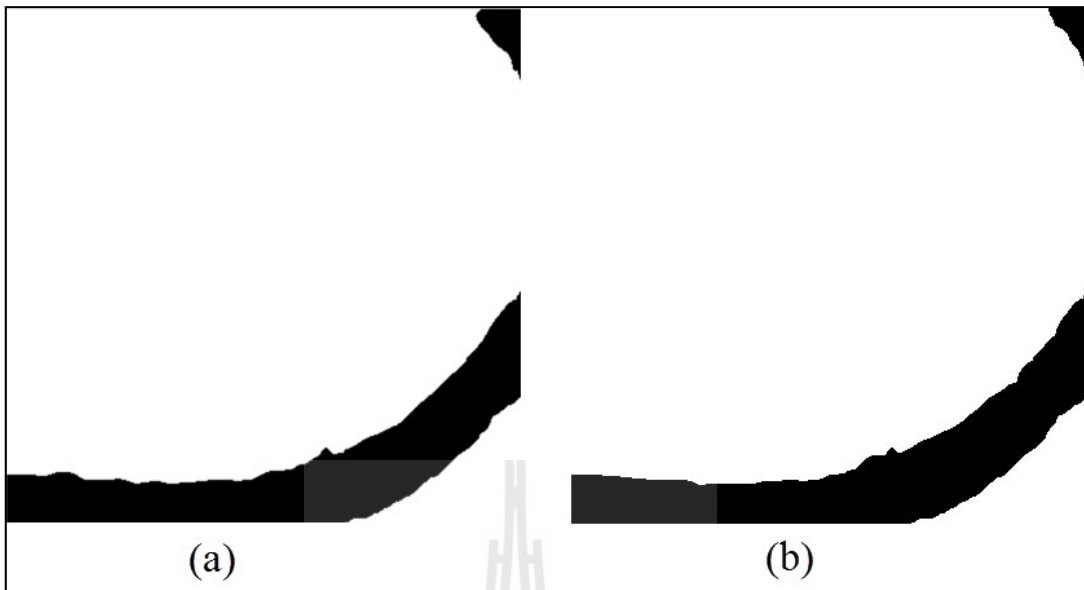
ทางการไหล ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า สามารถวิเคราะห์ทิศทางการไหลบริเวณแนวลำน้ำหรือแหล่งน้ำได้อย่างถูกต้อง (รูปที่ 4.38) เส้นทางน้ำไม่มีการขาดหายไป



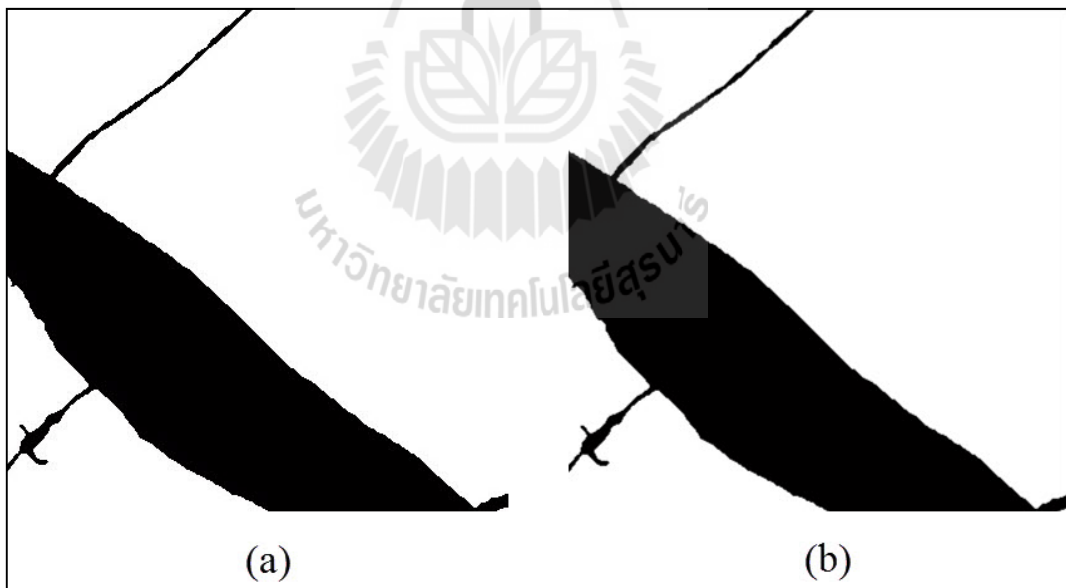
รูปที่ 4.34 ภาพถ่ายดาวเทียมกรณีมีเมฆปกคลุม (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2



รูปที่ 4.35 ภาพถ่ายดาวเทียมกรณีมีสัญญาณรบกวน (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2



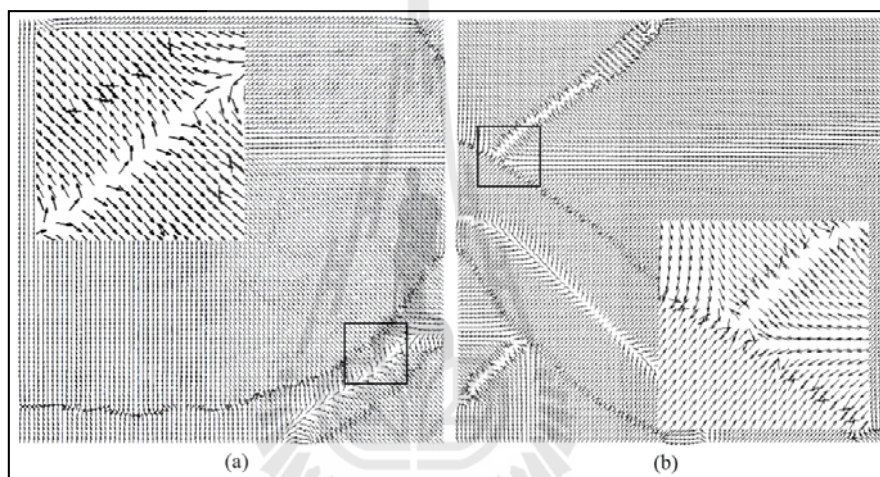
รูปที่ 4.36 ผลการจำแนกแม่ น้ำกรณีภาพถ่ายดาวเทียมภาพที่ 1 (a) กรณีไม่มีเมฆปกคลุม  
(b) กรณีมีเมฆปกคลุมหรือมีสัญญาณรบกวน



รูปที่ 4.37 ผลการจำแนกแม่ น้ำกรณีภาพถ่ายดาวเทียมภาพที่ 2 (a) กรณีไม่มีเมฆปกคลุม  
(b) กรณีมีเมฆปกคลุมหรือมีสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ  
กรณีภาพถ่ายดาวเทียมมีเมฆปกคลุม

Data	Landsat 5 and DSM							
	Our Method				Our Method (before remove cloud data/noise)			
	Precision	Recall	Accuracy	F-measure	Precision	Recall	Accuracy	F-measure
No.1	99.00	99.91	99.04	99.46	98.10	99.84	98.29	98.97
No.2	98.88	99.81	98.74	99.34	98.43	99.76	98.66	99.09
Averages	98.94	99.86	98.89	99.40	98.27	99.80	98.48	99.03

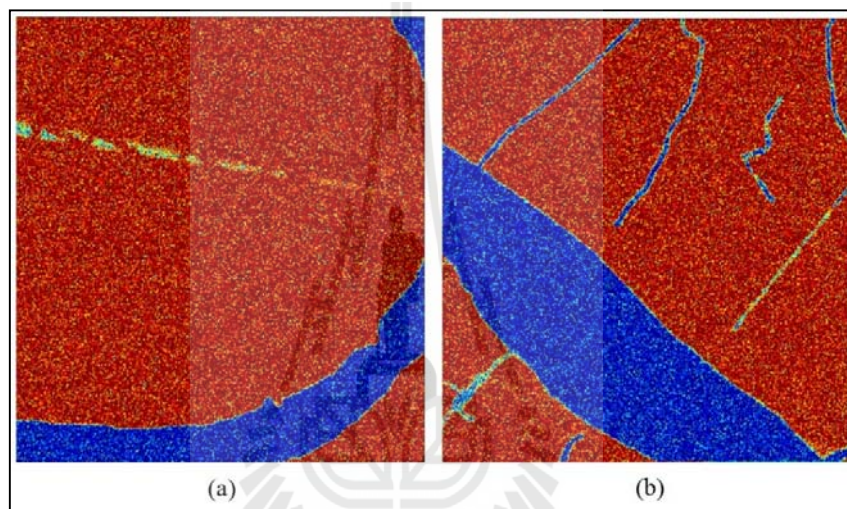


รูปที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลภาพที่ 1 และ 2 (a) กรณีมีเมฆปกคลุม  
(b) กรณีมีสัญญาณรบกวน

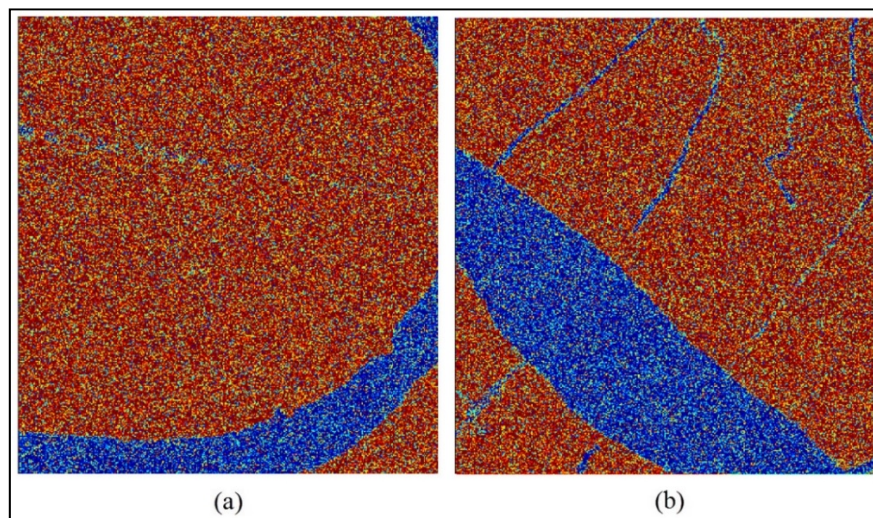
4.2.5.2 กรณีแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีสัญญาณรบกวน งานวิจัยนี้ทดลองเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขที่จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้า โดยเพิ่มสัญญาณรบกวน 2 ระดับ คือ สัญญาณรบกวน 5% และ SNR เท่ากับ 5.76 และ 7.85 สำหรับภาพที่ 1 (รูปที่ 4.39 (a)) และภาพที่ 2 (รูปที่ 4.39 (b)) ตามลำดับ และสัญญาณรบกวน 20% SNR เท่ากับ 4.72 และ 5.93 สำหรับภาพที่ 1 (รูปที่ 4.40 (a)) และภาพที่ 2 (รูปที่ 4.40 (b)) ตามลำดับ ผลการทดลองกรณีที่เพิ่มสัญญาณรบกวน 5% พบว่า การใช้แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขที่มีสัญญาณรบกวน 5% ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ส่งผลต่อความถูกต้องของการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ (รูปที่ 4.41) ความถูกต้องต่างจากกรณีที่ไม่มีสัญญาณรบกวนน้อยมาก แสดงผลการประเมินความถูกต้องดังตารางที่ 4.4 แต่เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเป็น 20% ความถูกต้องของการจำแนกแม่น้ำที่ได้มีความถูกต้องลดลง แสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.42 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อ



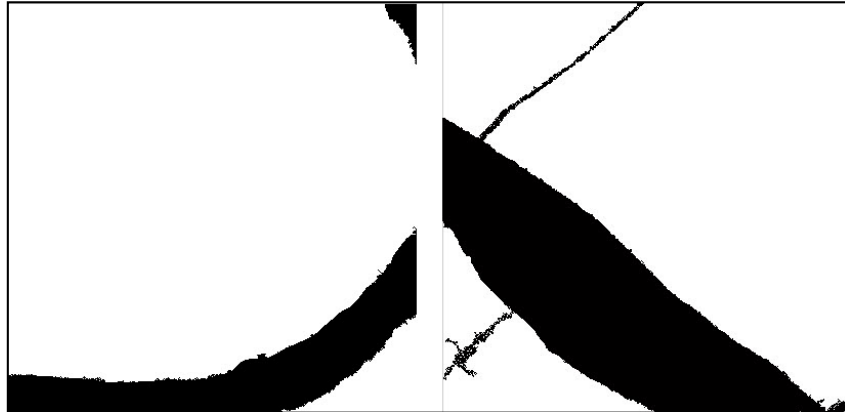
สัญญาณรบกวนมีสูง ส่งผลให้การจำแนกแม่น้ำสามารถจำแนกแม่น้ำสายหลักได้อย่างถูกต้อง สำหรับผลการจำแนกแม่น้ำสายย่อย พบว่า สามารถจำแนกแม่น้ำสายย่อยได้เพียงไปบางส่วน โดยที่พื้นที่บางส่วนของแม่น้ำสายย่อยขาดหายไปและเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการจำแนกไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหล ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า สามารถวิเคราะห์ทิศทางการไหลบริเวณแนวลำน้ำหรือแหล่งน้ำได้อย่างถูกต้อง (รูปที่ 4.43) เส้นทางน้ำไม่มีการขาดหายไปสำหรับกรณีที่เป็นแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขที่มีสัญญาณรบกวน 5% แต่เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเป็น 20% พบว่า ทิศทางการไหลที่ได้บริเวณแม่น้ำสายหลักบางส่วนขาดหายไป (รูปที่ 4.44)



รูปที่ 4.39 แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขกรณีมีสัญญาณรบกวน 5% (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2



รูปที่ 4.40 แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขกรณีมีสัญญาณรบกวน 20% (a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2



รูปที่ 4.41 ผลการจำแนกแม่น้ำกรณีแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีสัญญาณรบกวน 5%  
(a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2

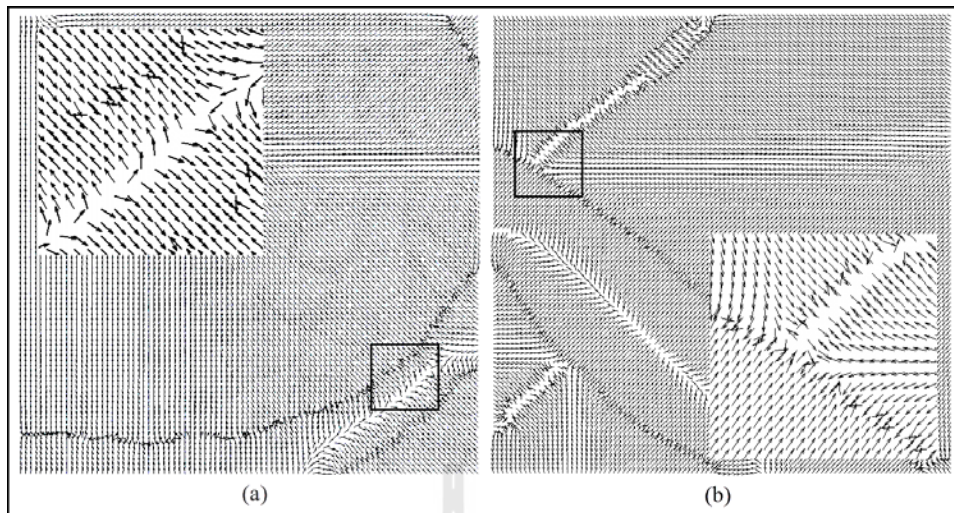


รูปที่ 4.42 ผลการจำแนกแม่น้ำกรณีแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีสัญญาณรบกวน 20%  
(a) ภาพที่ 1 (b) ภาพที่ 2

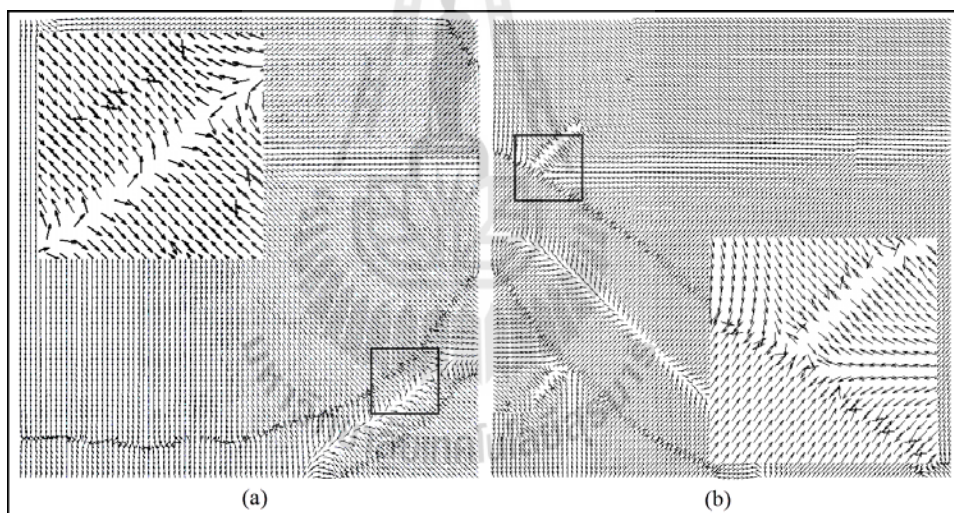
ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำ  
กรณีแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีสัญญาณรบกวน

Data	Landsat 5 and DSM							
	Our Method (noise = 5%)				Our Method (noise = 20%)			
	Precision	Recall	Accuracy	F-measure	Precision	Recall	Accuracy	F-measure
No.1	98.97	99.86	98.97	99.41	98.95	99.75	98.86	99.35
No.2	98.82	99.42	98.69	99.12	98.69	99.35	98.54	99.02
Averages	98.90	99.64	98.83	99.27	98.82	99.55	98.70	99.19





รูปที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลภาพที่ 1 และ 2 กรณีมีสัญญาณรบกวน 5%



รูปที่ 4.44 ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลภาพที่ 1 และ 2 กรณีมีสัญญาณรบกวน 20%

จากผลการทดลอง พบว่า ถึงแม้ข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขมีเมฆปกคลุมหรือมีสัญญาณรบกวน โดยเฉพาะกรณีที่มีสัญญาณรบกวนน้อย การใช้วิธีการที่นำเสนอยังสามารถจำแนกขอบเขตแม่น้ำได้ทั้งแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสายย่อย รวมถึงสามารถวิเคราะห์ทิศทางการไหลได้ทั้งบริเวณแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสายย่อย นอกจากนี้กรณีที่เพิ่มปริมาณสัญญาณรบกวนเป็น 20% พบว่า ยังสามารถจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำสายหลักได้และสามารถวิเคราะห์ทิศทางการไหลบริเวณแม่น้ำสายหลักได้ อย่างไรก็ตามเพื่อประสิทธิภาพและความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวน

ควรมีการดำเนินการกรองสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูลนำเข้าก่อนนำไปใช้ในกระบวนการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำและการวิเคราะห์ทิศทางกาลไหล

### 4.3 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย

สำหรับการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแตกต่างของการใช้ทิศทางกาลไหลที่แตกต่างกันระหว่างการใช้ทิศทางกาลไหลด้วยวิธีการเดิม และการเปลี่ยนทิศทางกาลไหลเป็นวิธีการที่พัฒนา โดยใช้ความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาความถูกต้องของทิศทางกาลไหลที่ได้จากการพัฒนา ถึงแม้ว่าความถูกต้องของการจำลองการเกิดอุทกภัยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความถูกต้องของข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลสิ่งกีดขวางทางน้ำหรือสิ่งก่อสร้างขณะเกิดอุทกภัย เป็นต้น อย่างไรก็ตามทิศทางกาลไหลเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ดังนั้นงานวิจัยนี้ประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยโดยพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยที่เกิดจากการใช้ทิศทางกาลไหลที่แตกต่างกัน โดยมีได้พิจารณาความถูกต้องของปัจจัยอื่น ๆ ดังนั้น ปัจจัยอื่น ๆ ที่ใช้ในทุกระบบการทดลองใช้ข้อมูลปัจจัยที่เหมือนกัน แตกต่างกันเฉพาะทิศทางกาลไหล ผลการประเมินดังกล่าวสามารถบ่งบอกถึงความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยที่เกิดขึ้นจากการใช้ทิศทางกาลไหลที่แตกต่างกัน การประเมินความถูกต้องของทิศทางกาลไหลโดยพิจารณาความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดได้ว่าการใช้ทิศทางกาลไหลวิธีการใดให้ความถูกต้องในการจำลองการเกิดอุทกภัยมากที่สุด การใช้ทิศทางกาลไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาสามารถจำลองอุทกภัยได้ถูกต้องเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม

การประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในงานวิจัยนี้ประเมินความถูกต้อง 3 กรณี ได้แก่ ประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยโดยใช้ทิศทางกาลไหลซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีการเดิม วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง และวิธีการพัฒนา โดยแบ่งออกเป็นวิธีการย่อย 7 วิธี ประกอบด้วย วิธีการดั้งเดิม (Original Method) วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก (Stream Burning (Main)) วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย (Stream Burning (Main & Branch)) วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก (Our Method (Main)) วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย (Our Method (Main & Branch)) วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับการเพิ่มค่าความสูง (Our Method & Increment) และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับการลดค่าความสูง (Our Method & Decrement) นอกจากนี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของทิศทางกาลไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาจึงจำลองการเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2006 และ ค.ศ. 2010 โดย



ในการจำลองการเกิดอุทกภัยใช้ปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งนอกจากทิศทางการไหล ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน สิ่งกีดขวางทางน้ำ (ถนน) และระดับความสูง สำหรับเกณฑ์ในการวัดความถูกต้องของแบบจำลองในการจำลองอุทกภัยให้ความสำคัญกับค่าความถูกต้องมากที่สุด เพราะค่าดังกล่าวสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการพยากรณ์การเกิดอุทกภัย ซึ่งพิจารณาความถูกต้องทั้งกรณีเกิดอุทกภัยและไม่เกิดอุทกภัย อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้พิจารณาค่าความระลึกลค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการเรียนรู้ประกอบการพิจารณา โดยให้ความสำคัญกับค่าความระลึกรองจากค่าความถูกต้อง เพราะค่าความระลึกลสามารถบ่งบอกได้ว่า จากพื้นที่เกิดอุทกภัยในอดีตทั้งหมด การจำลองอุทกภัยโดยใช้ทิศทางการไหลแต่ละวิธีสามารถจำลองพื้นที่เกิดอุทกภัยได้ร้อยละเท่าไร เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เกิดอุทกภัยทั้งหมด

สำหรับผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองการเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2011 โดยใช้ทิศทางการไหลในแต่ละวิธี โดยรวมทั้งรวม 7 วิธี ผลการประเมินความถูกต้องแต่ละวิธีแสดงในตารางที่ 4.5 โดยในการประเมินความถูกต้องของการจำลองการเกิดอุทกภัยเปรียบเทียบกับผลการจำลองอุทกภัยกับข้อมูลอุทกภัยในอดีตที่เกิดขึ้นจริง โดยพิกเซลที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องทั้งหมดของแต่ละวิธีประกอบด้วยจำนวนพิกเซลวิธีละ 148093 พิกเซล โดยแสดงจำนวนพิกเซลแบ่งตามความถูกต้องของการประเมิน ได้แก่ TP TN FP และ FN แสดงในตารางที่ 4.6 ส่วนแผนที่การเกิดอุทกภัยของปี ค.ศ. 2011 ที่ได้จากการจำลอง แสดงในรูปที่ 4.45 ถึง 4.47 โดยในแผนที่ดังกล่าวมีการแทนค่าสี ได้แก่ TP หมายถึง ผลการจำลองว่าเกิดอุทกภัย เกิดอุทกภัยจริง แทนด้วยสีเขียว TN หมายถึง ผลการจำลองว่าไม่เกิดอุทกภัย ไม่เกิดอุทกภัยจริง แทนด้วยสีน้ำเงิน FP หมายถึง ผลการจำลองว่าเกิดอุทกภัย แต่ไม่เกิดอุทกภัย แทนด้วยสีขาว FN หมายถึง ผลการจำลองว่าไม่เกิดอุทกภัย แต่เกิดอุทกภัย แทนด้วยสีแดง สำหรับรายละเอียดการวิเคราะห์การประเมินความถูกต้องของทั้ง 7 วิธีแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก

จากผลการประเมินความถูกต้องโดยพิจารณาเฉพาะพื้นที่เกิดอุทกภัยที่ได้จากการจำลอง และพื้นที่การเกิดอุทกภัยจริงในอดีตที่ได้ พบว่า การใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาโดยใช้ทั้งข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อยสามารถจำลองการเกิดอุทกภัยกรณีเกิดอุทกภัยได้ถูกต้องสูงสุด (ค่าความระลึกลสูงสุดเท่ากับ 76.18%) ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่พัฒนาโดยใช้ทั้งข้อมูลแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสายย่อยสามารถระบุขอบเขตของแหล่งจ่ายน้ำหรือพื้นที่รับน้ำและลักษณะการไหลบริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำได้ ทำให้การไหลของน้ำสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง สามารถจำลองการไหลของน้ำที่ควรจะไหลจากแหล่งจ่ายน้ำไปยังพื้นที่รับน้ำได้ ผลการจำลองกรณีเกิดอุทกภัยจึงมีความถูกต้องมากกว่า (รูปที่ 4.47 พื้นที่สีเขียวแสดงผลพื้นที่ซึ่งจำลองว่าเกิดอุทกภัย เมื่อตรวจสอบกับอุทกภัยที่เกิดขึ้นในอดีตพบว่าเกิดอุทกภัยจริง) แต่วิธีการที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขไม่สามารถระบุขอบเขตแหล่งจ่ายน้ำหรือพื้นที่รับน้ำได้ จึง

ทำให้ผลการจำลองที่ได้ในกรณีเกิดอุทกภัยมีความผิดพลาดสูงมาก (ค่าความระลึกละเท่ากับ 8.94%) เพราะเมื่อไม่สามารถระบุแหล่งจ่ายน้ำหรือพื้นที่รับน้ำได้ ส่งผลให้เมื่อใช้ทิศทางการไหลในการจำลองอุทกภัย ผลการจำลองไม่ถูกต้องเนื่องจากทิศทางการไหลที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง น้ำที่ควรจะไหลจากแหล่งจ่ายน้ำไปยังพื้นที่รับน้ำก็ไม่เกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถระบุพื้นที่ซึ่งจะเกิดอุทกภัยได้ ดังนั้นพื้นที่ที่จำลองว่าไม่เกิดอุทกภัยแต่จากการตรวจสอบพบว่า เกิดอุทกภัย โดยความผิดพลาดลักษณะนี้มีค่าสูงมาก (รูปที่ 4.45 พื้นที่สีแดงแสดงผลพื้นที่ซึ่งจำลองว่าไม่เกิดอุทกภัย แต่เมื่อตรวจสอบกับอุทกภัยในอดีพบว่าเกิดอุทกภัย)

ส่วนวิธีการสตรีมเบิร์ตสามารถระบุขอบเขตของแหล่งจ่ายน้ำหรือพื้นที่รับน้ำและลักษณะการไหลบริเวณแหล่งน้ำหรือแม่น้ำได้เช่นเดียวกับวิธีการที่พัฒนา แต่ทั้งนี้พบว่า มีบางพื้นที่ที่ไม่สามารถระบุขอบเขตแหล่งจ่ายน้ำหรือพื้นที่รับน้ำได้ ทำให้การจำลองกรณีเกิดอุทกภัยถูกต่อน้อยกว่าวิธีการที่พัฒนา (ค่าความระลึกละเท่ากับ 69.44%) ยิ่งกว่านั้นจากการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องพบว่า วิธีการพัฒนามีค่าความถูกต้องสูงที่สุด อย่างไรก็ตามค่าความถูกต้องของการจำลองการเกิดอุทกภัยที่ได้จากการใช้ทิศทางการไหลจากวิธีการที่พัฒนามีความใกล้เคียงกับทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการสตรีมเบิร์ต แต่ค่าความระลึกละและค่าความแม่นยำต่างกัน เช่น วิธีการสตรีมเบิร์ตโดยใช้ทั้งข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อย เปรียบเทียบกับวิธีการที่พัฒนาโดยใช้ทั้งข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อย ค่าความถูกต้องที่ได้ประมาณ 63% แต่ค่าความระลึกละของวิธีการที่พัฒนามากกว่าประมาณ 7% ทั้งนี้เนื่องมาจาก จำนวนพิกเซลที่เป็น FN ของวิธีการพัฒนามีน้อยกว่าวิธีการสตรีมเบิร์ตแต่เมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องพบว่า ค่าความถูกต้องใกล้เคียงกันเพราะ เมื่อพิจารณาทั้งพิกเซลที่เป็น TN และ TP ของทั้งสองวิธี จำนวนพิกเซลมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาค่าความแม่นยำกรณีที่ค่าความถูกต้องของวิธีการที่พัฒนาในแต่ละวิธีมีค่าใกล้เคียงกันคือ ประมาณ 63% แต่ค่าความแม่นยำที่ได้กลับต่างกัน เช่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่พัฒนาโดยใช้เฉพาะข้อมูลแม่น้ำสายหลักกับวิธีการที่พัฒนาโดยใช้ทั้งข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อย ค่าความแม่นยำที่ได้เท่ากับ 63.38% และ 56.69% ตามลำดับ เนื่องมาจากจำนวนพิกเซลที่เป็น FP ของวิธีการที่พัฒนาโดยใช้เฉพาะข้อมูลแม่น้ำสายหลักมีน้อยกว่าวิธีการที่พัฒนาที่ใช้ทั้งข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อย ส่วนสาเหตุที่ผลลัพธ์ที่ได้กรณีที่ใช้ทั้งข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อยมีความแม่นยำน้อยกว่าวิธีการที่ใช้เฉพาะข้อมูลแม่น้ำสายหลัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแม่น้ำสายย่อยที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้มีทั้งกรณีที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น คลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำ เป็นต้น ซึ่งแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นมนุษย์สามารถควบคุมการระบายน้ำได้ ประกอบกับบางพื้นที่อาจจะมีการสร้างพนังกั้นน้ำบริเวณแนวลำน้ำ ดังนั้นบริเวณที่ควรเกิดอุทกภัยจากผลที่ได้จากการจำลองอาจไม่เกิดอุทกภัยจริงเนื่องมาจากสาเหตุดังกล่าว

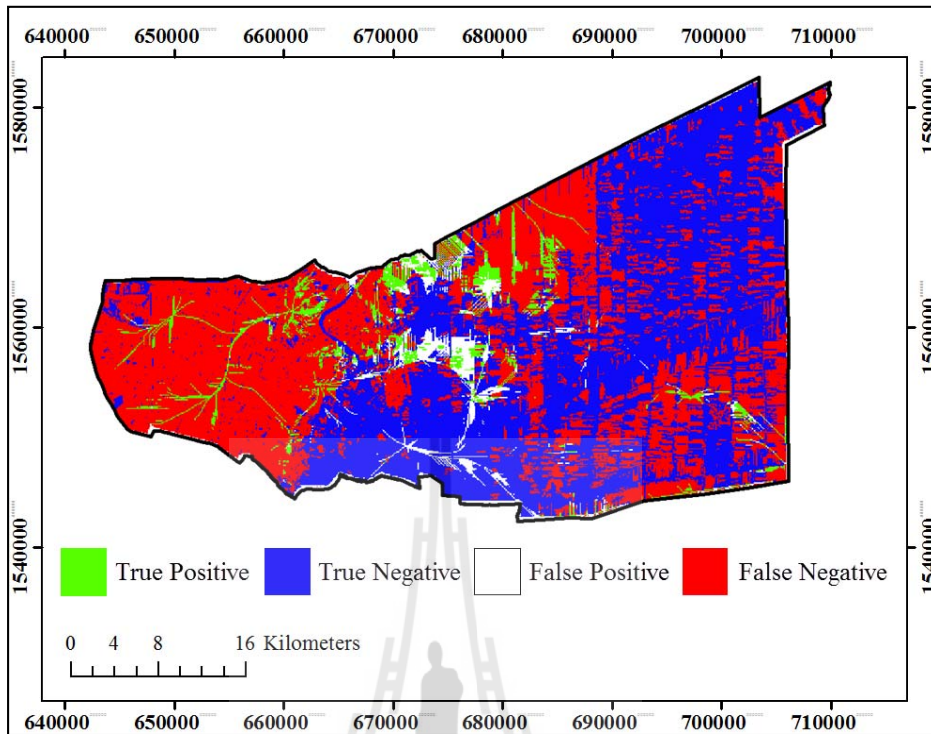
สำหรับผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในปี ค.ศ. 2010 2006 และการประเมินการจำลองอุทกภัยรายอำเภอแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยสรุป พบว่า ความถูกต้องของการจำลองการเกิดอุทกภัยโดยใช้วิธีการที่พัฒนาและวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งมีความถูกต้องใกล้เคียงกัน และมากกว่าวิธีการที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้งในส่วนของการจำลองการเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2010 และ 2006 ซึ่งผลการประเมินเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการจำลองอุทกภัยของปี ค.ศ. 2011

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยโดยใช้ทิศทางการไหลแต่ละวิธี

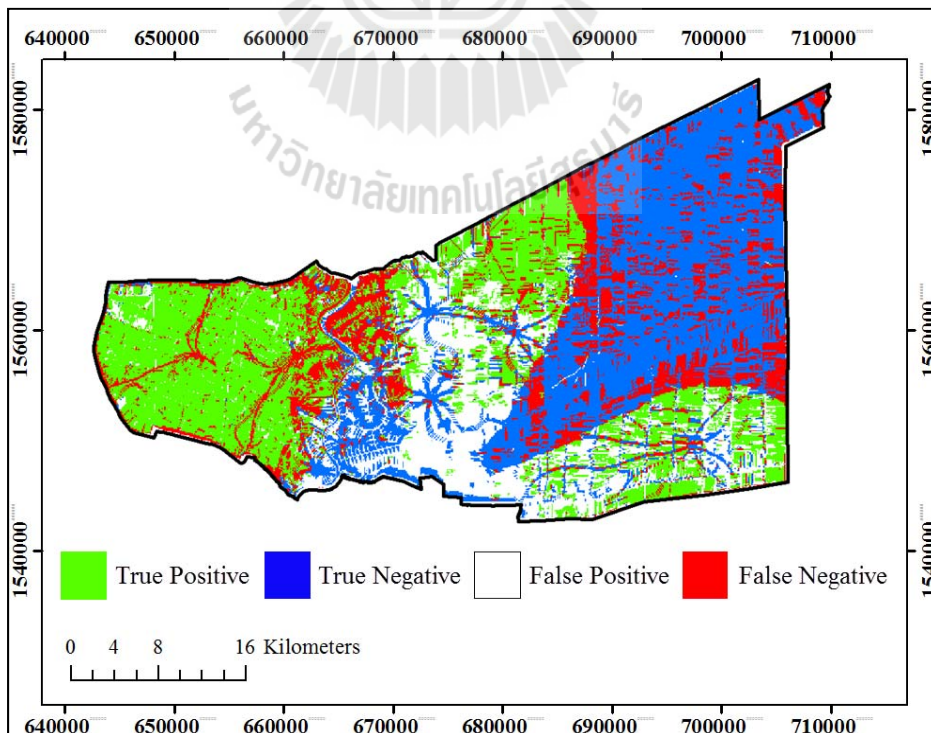
Method	Accuracy	Recall	Precision	F-measure
Original Method	52.29	8.94	59.42	15.54
Stream Burning (Main)	63.28	60.03	63.28	61.61
Stream Burning (Main & Branch)	63.02	69.44	60.8	64.84
Our Method (Main)	<b>63.33</b>	59.91	<b>63.38</b>	61.6
Our Method (Main & Branch)	63.05	<b>76.18</b>	56.69	<b>66.94</b>
Our Method & Increment	62.84	74.14	59.8	66.2
Our Method & Decrement	62.92	74.25	59.86	66.28

ตารางที่ 4.6 จำนวนพิกเซลที่ได้จากการประเมินในแต่ละวิธี

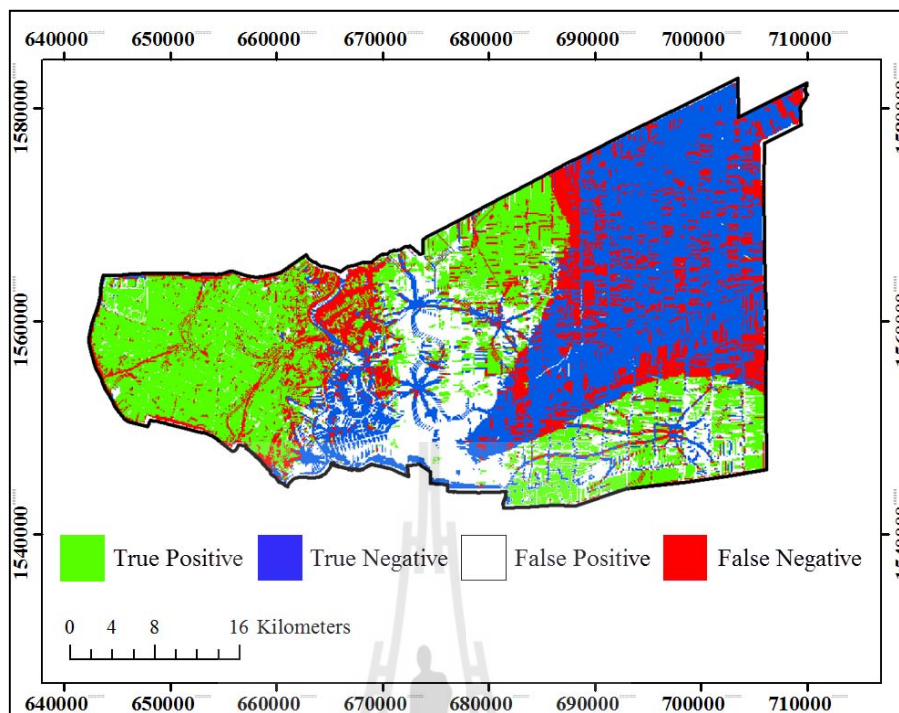
Method	TP	TN	FP	FN
Original Method	6501	70950	4440	66202
Stream Burning (Main)	43642	50067	25323	29061
Stream Burning (Main & Branch)	50486	42843	32547	22217
Our Method (Main)	43555	50227	25163	29148
Our Method (Main & Branch)	55387	37990	37400	17316
Our Method & Increment	53905	39152	36238	18798
Our Method & Decrement	53984	39190	36200	18719



รูปที่ 4.45 ผลการประเมินการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดมปี ค.ศ. 2011



รูปที่ 4.46 ผลการประเมินการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งปี ค.ศ. 2011



รูปที่ 4.47 ผลการประเมินการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาปี ค.ศ. 2011

#### 4.4 การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำ เพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัย โดยใช้กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข การสกัดคุณลักษณะภูมิประเทศเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการไหล การเลือกปัจจัยและระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย และการจำลองการเกิดอุทกภัย เทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เรขภาพเชิงเลข การประมวลผลภาพ การวิเคราะห์ภูมิประเทศร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ การหลอมรวมข้อมูล และเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ โดยสามารถอภิปรายผลแต่ละส่วนได้ดังนี้

ส่วนแรก กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข การจำแนกขอบเขตแม่น้ำส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ วิธีแรกใช้วิธีการดิจิทัลโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์และการรับรู้ระยะไกล ซึ่งข้อเสียของวิธีการดังกล่าว ได้แก่ ต้นทุนสูง ความถูกต้องขึ้นอยู่กับทักษะและประสบการณ์ของผู้ดิจิทัล อีกทั้งแต่ละคนดิจิทัลได้ข้อมูลที่แตกต่างกัน หรือแม้กระทั่งคนเดียวกันแต่ดิจิทัลหลายครั้ง ผลที่ได้ก็แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้ผลการดิจิทัลแตกต่างกัน เช่น สเตลการซุมขณะดิจิทัล การผสมแบนด์ในการแสดงผล (Band

Combination) เป็นต้น ส่วนวิธีการที่สอง คือ ใช้การจำแนกแม่น้ำโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ และเทคนิคอื่น ๆ เช่น คัดชนิดผลต่างประเภทต่าง ๆ จากภาพถ่ายดาวเทียม แต่ยังคงพบข้อเสียหรือข้อจำกัด ได้แก่ ผลลัพธ์ที่ได้มีพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ใช่แหล่งน้ำหลงเหลืออยู่ได้แก่ เงาของอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง ยิ่งกว่านั้นจากการศึกษา พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่นำคัตชนิดผลต่างแต่ละประเภทมาใช้โดยใช้วิธีการกำหนดค่าเทรซโฮลด์ ซึ่งข้อจำกัดของการใช้ค่าเทรซโฮลด์ คือ ไม่สามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้ได้กับทุกพื้นที่ สำหรับงานวิจัยนี้จำแนกขอบเขตแม่น้ำโดยใช้ การวิเคราะห์คัตชนิดผลต่าง ความชัน การเรียนรู้ของเครื่อง การวิเคราะห์คุณลักษณะของแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข การหลอมรวมข้อมูล การกำจัดสิ่งแปลกปลอม จุดเด่นของงานวิจัยนี้ คือ วิธีการดังกล่าวสามารถจำแนกแม่น้ำได้ทั้งแม่น้ำสายหลัก แม่น้ำสายย่อย รวมถึงคลองส่งน้ำ อีกทั้งวิธีการดังกล่าวสามารถกำจัดสิ่งรบกวนที่ไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำได้ (พื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ อาคารสิ่งก่อสร้าง) โดยความถูกต้องกรณีจำแนกแม่น้ำสายหลัก ได้แก่ ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 99.41% ค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 95.91% ค่าความระลึกละเอียดเท่ากับ 93.71% และค่าอัตราการเรียนรู้เฉลี่ยเท่ากับ 94.74% และความถูกต้องสำหรับการจำแนกแม่น้ำสายย่อย ได้แก่ ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 99.93% ค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 90.93% ค่าความระลึกละเอียดเท่ากับ 97.53% และค่าอัตราการเรียนรู้เฉลี่ยเท่ากับ 94.11%

ส่วนที่สอง การสกัดคุณลักษณะภูมิประเทศและวิเคราะห์ทิศทางการไหลสำหรับวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันประกอบด้วย 2 วิธี ได้แก่ ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข และวิธีการสตรีมเบรินนิงโดยใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขและเวกเตอร์แมพแม่น้ำที่ได้จากการดิจิไทซ์ ข้อจำกัดของวิธีการแรก คือ ทิศทางการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์มักจะเกิดความไม่ต่อเนื่องเส้นทางน้ำขาดหายไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบ การใช้วิธีการดังกล่าวส่งผลให้ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงหรือไม่สามารถหาขอบเขตลุ่มน้ำได้ ส่งผลให้เมื่อนำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยผลที่ได้มีความถูกต้องต่ำ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการที่สองขึ้นมาแก้ไขข้อจำกัดของวิธีการแรก ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากกว่าวิธีการแรก อย่างไรก็ตามยังคงพบข้อจำกัด ได้แก่ ต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แมพของแม่น้ำจึงสามารถใช้วิธีการนี้ได้ นอกจากนี้ความถูกต้องของทิศทางการไหลขึ้นอยู่กับความถูกต้องของเวกเตอร์แมพที่ได้จากการดิจิไทซ์หรือข้อมูลที่มีการจัดทำไว้ อีกทั้งจากผลการวิเคราะห์ไดเวอร์เจนซ์ พบว่า มีบางส่วนของทิศทางการไหลที่ใช้วิธีการสตรีมเบรินนิง ผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าบริเวณขอบแม่น้ำมีความผิดพลาด ไม่สามารถระบุขอบเขตพื้นที่รับน้ำได้ถูกต้อง ยิ่งกว่านั้นวิธีสตรีมเบรินนิงเป็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวร ทำให้มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์หาค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน และอาจนำไปสู่ค่าความสูงที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง สำหรับงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้ข้อมูลแบบจำลอง

ความสูงเชิงเลข ภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เวกเตอร์แมพแม่น้ำ เพราะงานวิจัยนี้ได้จำแนกขอบเขตแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและการหลอมรวมข้อมูล หลังจากนั้นวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้เทคนิคการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ และ D8 ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า ทิศทางการไหลที่ได้มีความสอดคล้องกับวิธีการสตรีมเบรินนิง ทั้งกรณีที่พิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก และแม่น้ำสายย่อย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลักเท่ากับ 0.94 และกรณีพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยเท่ากับ 0.91 อีกทั้งขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้สอดคล้องกับความเป็นจริง

ส่วนที่สาม การเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย งานวิจัยนี้มีการพิจารณาเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยซึ่งนอกเหนือจากปัจจัยทิศทางการไหลโดยใช้โครงข่ายประสาทยืดหยุ่น ในการพยากรณ์การเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2011 ของจังหวัดปทุมธานี เปรียบเทียบกับเหตุการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง เพื่อเป็นการคัดกรองปัจจัยเบื้องต้นสำหรับนำไปใช้ในแบบจำลองอุทกภัย ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน พื้นที่น้ำท่วมในอดีต ความสูงจากระดับน้ำทะเล สิ่งกีดขวางทางน้ำ ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ความสามารถในการระบายน้ำของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความหนาแน่นทางน้ำ จากผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญ 3 ลำดับแรก ได้แก่ พื้นที่น้ำท่วมในอดีต ความสามารถในการระบายน้ำของดิน และความหนาแน่นทางน้ำของกลุ่มน้ำย่อย ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ที่มีบทบาทสำคัญในการพยากรณ์อุทกภัย ได้แก่ สิ่งกีดขวางทางน้ำ ปริมาณน้ำฝนรายปี และปริมาณน้ำฝนรายเดือน เพราะปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่ต้องนำเข้ามาเพื่อให้ทราบระดับน้ำเพื่อใช้ในการจำลองการไหลของน้ำ อย่างไรก็ตามในแบบจำลองโอเพ่นไลเซียมซึ่งใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยสำหรับงานวิจัยนี้ไม่รองรับปัจจัยนำเข้าบางปัจจัยที่ได้จากการศึกษาดังนั้นในการจำลองการเกิดอุทกภัยใช้ปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ทิศทางการไหล ข้อมูลชุดดิน (ความสามารถในการระบายน้ำของดิน) การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสิ่งกีดขวางทางน้ำ (ถนน) โดยในงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับการทดลองการใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการเดิม วิธีการสตรีมเบรินนิง และวิธีการที่พัฒนาโดยที่ปัจจัยอื่นไม่แตกต่างกัน

ส่วนที่สี่ การจำลองการเกิดอุทกภัยโดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาในงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้นำทิศทางการไหลที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์โดยใช้ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิม วิธีการสตรีมเบรินนิง และวิธีการที่พัฒนา โดยวิธีการเดิมใช้เฉพาะข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ส่วนวิธีการสตรีมเบรินนิงใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขร่วมกับเวกเตอร์แมพแม่น้ำที่ได้จากการดิจิทัล สำหรับวิธีการที่พัฒนาใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขร่วมกับข้อมูลแม่น้ำที่ได้จากกระบวนการจำแนกจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข ซึ่งทั้ง 3 วิธีดังกล่าว แบ่งออกเป็น 7 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิม สตรีมเบรินนิงโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก

สตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง สำหรับ 2 วิธีหลังใช้เพื่อทดสอบกรณีน้ำเอ่อซึ่งเกิดจากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา ผลที่ได้จากการจำลองอุทกภัยในภาพรวมของจังหวัดปทุมธานีในปี ค.ศ. 2011 ซึ่งในการประเมินความถูกต้องประเมินโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่วมในอดีตปี ค.ศ. 2011 ที่มีการจัดเก็บไว้โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ถูกต้องและสอดคล้องกับการเกิดอุทกภัยในอดีตมากที่สุด คือวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับ 63.05% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 59.69% ค่าความระลึกลับเท่ากับ 76.18% และค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 66.94% ซึ่งความถูกต้องที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง (ค่าความถูกต้องเท่ากับ 62.84% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 59.80% ค่าความระลึกลับเท่ากับ 74.14% และค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 66.20%) วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง (ค่าความถูกต้องเท่ากับ 62.92% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 59.86% ค่าความระลึกลับเท่ากับ 74.25% และค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 66.28%) และสตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย (ค่าความถูกต้องเท่ากับ 63.02% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 60.80% ค่าความระลึกลับเท่ากับ 69.44% และค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 64.84%) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม (ค่าความถูกต้องเท่ากับ 52.29% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 59.42% ค่าความระลึกลับเท่ากับ 8.94% และค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 15.54%) พบว่า ความถูกต้องเพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข 10.76% โดยที่ค่าความระลึกลับ ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการเรียนรู้เพิ่มขึ้น 67.24% 0.27% และ 51.4% ตามลำดับ จากผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่พัฒนาสามารถพยากรณ์หรือจำลองการเกิดอุทกภัยได้ถูกต้องและสอดคล้องกับอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริงเพิ่มมากขึ้นกว่าวิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง พบว่า ค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการเรียนรู้ผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าความระลึกลับ พบว่า วิธีการที่พัฒนาให้ผลลัพธ์ที่มากกว่าวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง 6.74 %

ในการประเมินความถูกต้องของทิศทางการไหลที่พัฒนาขึ้น เพื่อพิสูจน์ว่าทิศทางการไหลที่พัฒนาสามารถนำไปใช้ในการจำลองอุทกภัยได้ถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจำลองการเกิดอุทกภัยในปีอื่น ๆ ได้แก่ ปี ค.ศ. 2006 และปี ค.ศ. 2010 โดยพิจารณาเปรียบเทียบความถูกต้องจากทิศทางการไหลที่ได้จาก 3 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย และวิธีการที่พัฒนาโดย



พิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย จากผลการจำลองการเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2006 พบว่าวิธีการที่พัฒนาและวิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิงให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกัน และผลลัพธ์ของทั้งสองวิธีดังกล่าวมีความถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยพบว่าความถูกต้องเพิ่มขึ้น 6.33% โดยที่ค่าความระลอก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการเรียนรู้จำเพิ่มขึ้น 29.85% 0.56% และ 11.82% ตามลำดับ สำหรับผลการจำลองการเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2010 พบว่าวิธีการที่พัฒนาและวิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิงให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกัน และผลลัพธ์ของทั้งสองวิธีดังกล่าวมีความถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยพบว่า ความถูกต้องเพิ่มขึ้น 9.44% โดยที่ค่าความระลอก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการเรียนรู้จำเพิ่มขึ้น 12.50% 3.07% และ 6.30% ตามลำดับ

ถึงแม้ว่าเมื่อพิจารณาในเรื่องความถูกต้องของทิศทางการไหลที่พัฒนาเมื่อนำไปใช้ในการจำลองอุทกภัยเปรียบเทียบกับวิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิงผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องที่ใกล้เคียงกัน แต่วิธีการที่พัฒนามีข้อดีที่เหนือกว่าสตรีมเบิร์ตน์นิง ได้แก่ ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แมพของแม่น้ำซึ่งได้จากกระบวนการดิจิทัลไอซ์โดยใช้แรงงานคน เพราะวิธีการที่พัฒนาใช้วิธีการจำแนกหาขอบเขตแม่น้ำจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและการหลอมรวมข้อมูล นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์โคเวอริเจนท์ พบว่าวิธีการที่พัฒนาสามารถระบุขอบเขตแม่น้ำและพื้นที่รับน้ำได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าวิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิง อีกทั้งวิธีการที่พัฒนาไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวรทำให้ไม่มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์ค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน ดังนั้นค่าความสูงที่นำไปใช้จึงมีความสอดคล้องกับความเป็นจริง

จากการทดสอบการจำลองอุทกภัยในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีทั้ง 3 ปี พบว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งในปี ค.ศ. 2006 ค.ศ. 2010 และ ค.ศ. 2011 คือ วิธีการที่พัฒนาและวิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิงมีความถูกต้องใกล้เคียงกันและมากกว่าวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข อย่างไรก็ตาม พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการจำลองยังมีค่าความถูกต้องไม่สูงนัก โดยเฉพาะในปี ค.ศ. 2006 และปี 2011 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนอกเหนือจากปัจจัยที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ อาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย แต่ไม่ได้นำมาพิจารณา ได้แก่ ปริมาณน้ำเหนือพื้นที่ศึกษา รวมถึงการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยพิจารณากรณีน้ำเอ่อ สำหรับงานวิจัยนี้รองรับเฉพาะน้ำเอ่อที่เกิดจากค่าความสูงของภูมิประเทศ งานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาปัจจัยที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น สิ่งกีดขวางทางน้ำทั้งที่เกิดจากโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน อาคาร สิ่งก่อสร้าง เป็นต้น และสิ่งกีดขวางทางน้ำ ณ ขณะเกิดอุทกภัย เช่น คันกั้นน้ำ กระจอบทราย เป็นต้น นอกจากนี้อีกประเด็นที่ส่งผลให้ความถูกต้องไม่สูงมาก อาจเป็นผลมาจากค่าปริมาณน้ำฝนที่นำมาใช้ในการทดสอบยังไม่ละเอียดมากพอ เพราะจำนวนสถานีวัดน้ำฝนในจังหวัดปทุมธานีที่มี

การบันทึกข้อมูลโดยกรมอุตุวิทยามีเพียง 7 สถานีเท่านั้น ประกอบกับความถี่ในการบันทึกข้อมูลยังไม่ละเอียดพอ มีการบันทึกข้อมูลที่ละเอียดที่สุดแค่ระดับรายชั่วโมง หรือรายสามชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาในเรื่องการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ ซึ่งจุดเด่นของข้อมูลดังกล่าว คือ มีการบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยช่วงระยะเวลาในการบันทึกทุก 6 วินาที การใช้ข้อมูลดังกล่าวอาจจะสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องจำนวนสถานีวัดน้ำฝนที่มีไม่เพียงพอในการวัดปริมาณฝนให้ได้ปริมาณน้ำฝนที่แท้จริงในแต่ละพื้นที่ได้ ดังนั้นถ้าใช้ข้อมูลเรดาร์ช่วยให้ความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

#### 4.5 ผลการทดสอบสมมติฐาน

สำหรับสมมติฐานของงานวิจัยนี้ คือ วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำที่พัฒนาขึ้นเมื่อนำมาปรับปรุงความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำแบบเดิม สามารถนำมาใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยได้ถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิมซึ่งวิธีการเดิมในที่นี้หมายถึง 2 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข และการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขและเวกเตอร์แมพแม่น้ำที่ได้จากการดิจิไทซ์ จากผลการจำลองอุทกภัยของจังหวัดปทุมธานี ในปี ค.ศ. 2006 ค.ศ. 2010 และ ค.ศ. 2011 โดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จาก 3 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง และวิธีการที่พัฒนา ผลการจำลองที่ได้ พบว่า วิธีการที่พัฒนาให้ผลลัพธ์การจำลองการเกิดอุทกภัยที่ถูกต้องและสอดคล้องกับอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริงมากกว่าวิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยความถูกต้องเพิ่มขึ้น 6.33% 9.44% และ 10.76% ของปี ค.ศ. 2006 2010 และ 2011 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าความระลอก พบว่า ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น 29.85% 12.50% และ 67.24% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณา พบว่า ค่าความระลอกเพิ่มขึ้นกว่าวิธีการเดิมมาก แสดงให้เห็นว่าทิศทางการไหลโดยใช้วิธีการที่พัฒนาสามารถนำไปใช้ในการจำลองอุทกภัย ซึ่งแบบจำลองสามารถพยากรณ์ว่าพื้นที่ใดบ้างที่จะเกิดอุทกภัยและเกิดอุทกภัยจริง

สำหรับความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง พบว่า ค่าความถูกต้องมีค่าใกล้เคียงกัน จากผลการจำลองอุทกภัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาสามารถนำมาใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยได้ถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม ยิ่งกว่านั้นวิธีการที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ยังสามารถลดข้อจำกัดของทั้งวิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข และวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง ได้แก่ ทิศทางการไหลที่ได้สอดคล้องกับความเป็นจริง ไม่เกิดการขาดหายของเส้นทางน้ำ ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แมพของแม่น้ำซึ่งได้จากการรวบรวมการดิจิไทซ์โดยใช้แรงงานคน เพราะวิธีการที่พัฒนาใช้วิธีการจำแนกหาขอบเขตแม่น้ำจากข้อมูล

ภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและการหลอมรวมข้อมูล นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ พบว่า วิธีการที่พัฒนาสามารถระบุขอบเขตแม่น้ำและพื้นที่รับน้ำได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าวิธีการสตรึมเบิร์นนิ่ง อีกทั้งวิธีการที่พัฒนาไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวรทำให้ไม่มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์หาค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน ดังนั้น ค่าความสูงสอดคล้องกับความเป็นจริง



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึง สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดของการวิจัย การประยุกต์ผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

อุทกภัยเป็นหนึ่งในภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดและก่อให้เกิดความเสียหายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นประจำทุกปี ดังนั้นความถูกต้องของการพยากรณ์หรือจำลองการเกิดอุทกภัยจึงมีความสำคัญสำหรับกระบวนการเฝ้าระวัง ป้องกัน และบรรเทาภัยที่จะเกิดขึ้น ปัจจัยที่ใช้ในการจำลองอุทกภัยมีหลายปัจจัย อย่างไรก็ตามทิศทางการไหลของน้ำเป็นองค์ประกอบหรือปัจจัยที่สำคัญซึ่งจำเป็นสำหรับแบบจำลองอุทกภัย เพราะเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องใช้สำหรับกระบวนการคำนวณปริมาณน้ำทำเพื่อนำไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย ซึ่งทิศทางการไหลของน้ำที่สอดคล้องกับความเป็นจริงทำให้สามารถจำลองการเกิดอุทกภัยได้อย่างถูกต้อง ในทางกลับกันถ้าทิศทางการไหลของน้ำที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง ส่งผลให้การจำลองอุทกภัยเกิดความผิดพลาด ข้อจำกัดของทิศทางการไหลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ ทิศทางการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์มักจะเกิดความไม่ต่อเนื่อง เส้นทางการไหลขาดหายไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบ การใช้เทคนิคดังกล่าวส่งผลให้ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง วิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือ ใช้วิธีการสตรีมเบรินนิง แต่ข้อจำกัดของวิธีการนี้ ได้แก่ ต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แมพของแม่น้ำจึงสามารถใช้วิธีการนี้ได้ ยิ่งกว่านั้นความถูกต้องของทิศทางการไหลขึ้นอยู่กับความถูกต้องของเวกเตอร์แมพที่ได้จากการดิจิไทซ์ อีกทั้งวิธีการสตรีมเบรินนิงเป็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวรทำให้มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์หาค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน และอาจนำไปสู่ค่าความสูงที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง ยิ่งกว่านั้นจากผลการวิจัย พบว่า วิธีการสตรีมเบรินนิงวิเคราะห์หาพื้นที่รับน้ำหรือแหล่งจ่ายน้ำได้ไม่ถูกต้องในบางพื้นที่

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำ เพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัย โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกหาขอบเขตแม่น้ำ การสกัดคุณลักษณะภูมิประเทศ และการพิจารณาปัจจัยและ

ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย โดยสามารถสรุปผลแต่ละส่วนได้ดังนี้

ส่วนแรก กระบวนการแบ่งส่วนภาพและจำแนกขอบเขตแม่น้ำ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข งานวิจัยนี้จำแนกขอบเขตแม่น้ำโดยใช้ การวิเคราะห์ดัชนีผลต่างความชื้น การเรียนรู้ของเครื่อง การวิเคราะห์คุณลักษณะของแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข การหลอมรวมข้อมูล และการกำจัดสิ่งแปลกปลอม ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถจำแนกแม่น้ำได้ทั้งแม่น้ำสายหลัก แม่น้ำสายย่อย รวมถึงคลองส่งน้ำ อีกทั้งวิธีการดังกล่าวสามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ขอบเขตแม่น้ำได้ โดยความถูกต้องในการจำแนกทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยอยู่ในระดับสูง

ส่วนที่สอง การสกัดคุณลักษณะภูมิประเทศและวิเคราะห์ทิศทางการไหล งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เวกเตอร์แม่แม่น้ำ เพราะงานวิจัยนี้ได้จำแนกขอบเขตแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม และแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและการหลอมรวมข้อมูล หลังจากนั้นวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้เทคนิคการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ และ D8 ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า ทิศทางการไหลที่ได้มีความสอดคล้องกับวิธีการสตรีมเบรินนิง ทั้งกรณีที่พิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก และแม่น้ำสายย่อย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงทั้งสองกรณี อีกทั้งขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้สอดคล้องกับความ เป็นจริง วิธีการที่พัฒนาในงานวิจัยนี้มีข้อดีที่เหนือกว่าสตรีมเบรินนิง ได้แก่ ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แม่ของแม่น้ำซึ่งได้จากกระบวนการดิจิทัลโดยใช้แรงงานคน นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ไคเวอร์เจนซ์ พบว่า วิธีการที่พัฒนาสามารถระบุขอบเขตแม่น้ำและพื้นที่รับน้ำได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าวิธีการสตรีมเบรินนิง อีกทั้งวิธีการที่พัฒนาไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวรทำให้ไม่มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์ค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน ดังนั้นค่าความสูงสอดคล้องกับความเป็นจริง

ส่วนที่สาม การเลือกปัจจัยและระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย งานวิจัยนี้มีการพิจารณาเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยเบื้องต้น โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อเป็นการคัดกรองปัจจัยเบื้องต้นสำหรับนำไปใช้ในแบบจำลองอุทกภัย ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน พื้นที่น้ำท่วมในอดีต ความสูงจากระดับน้ำทะเล สิ่งกีดขวางทางน้ำ ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ความสามารถในการระบายน้ำของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความหนาแน่นทางน้ำ จากการทดลอง พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญ 3 ลำดับแรก ได้แก่ พื้นที่น้ำท่วมในอดีต ความสามารถในการระบายน้ำของดิน และความหนาแน่นทางน้ำของลุ่มน้ำย่อย ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ที่มีบทบาทสำคัญในการพยากรณ์อุทกภัย ได้แก่ สิ่งกีดขวางทางน้ำ ปริมาณน้ำฝนรายปี และปริมาณน้ำฝนรายเดือน เพราะปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่ต้องนำเข้ามาเพื่อให้ทราบระดับน้ำ

เพื่อใช้ในการจำลองการไหลของน้ำ สำหรับปัจจัยที่นำไปใช้ในการจำลองอุทกภัยร่วมกับทิศทางการไหลที่พัฒนา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ทิศทางการไหล ข้อมูลชุดดิน (ความสามารถในการระบายน้ำของดิน) การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสิ่งกีดขวางทางน้ำ (ถนน) จากผลการศึกษา พบว่า มีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย แต่ไม่ได้นำมาพิจารณา ได้แก่ ปริมาณน้ำเหนือพื้นที่ศึกษา สิ่งกีดขวางทางน้ำ ทั้งที่เกิดจากโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งได้แก่ อาคารหรือสิ่งก่อสร้าง อีกทั้งสิ่งกีดขวางทางน้ำ ณ ขณะเกิดอุทกภัย เช่น คันกั้นน้ำ กระสอบทราย เป็นต้น นอกจากนี้อีกประเด็นที่ส่งผลให้ความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยไม่สูงมาก อาจเป็นผลมาจากค่าปริมาณน้ำฝนที่นำมาใช้ในการทดสอบยังไม่ละเอียดมากพอ เพราะจำนวนสถานีวัดน้ำฝนในจังหวัดปทุมธานีที่มีการบันทึกข้อมูลโดยกรมอุตุนิยมวิทยามีเพียง 7 สถานีเท่านั้น

ส่วนที่สี่การจำลองการเกิดอุทกภัยโดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนา งานวิจัยนี้ นำทิศทางการไหลที่ได้จาก 7 วิธี ไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยของจังหวัดปทุมธานี ซึ่ง 7 วิธีการดังกล่าว ได้แก่ วิธีการเดิม สตรีมเบิรน์นิงโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก สตรีมเบิรน์นิงโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง สำหรับ 2 วิธีหลังใช้เพื่อทดสอบกรณีน้ำเอ่อซึ่งเกิดจากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา จากผลการศึกษาการจำลองอุทกภัยของปี ค.ศ.2011 2010 และ 2006 พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ถูกต้องมากที่สุด คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย จากผลการจำลองอุทกภัยแสดงให้เห็นว่าทิศทางการไหลที่ได้จากการพัฒนาสามารถนำมาใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัยได้ถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม ยิ่งกว่านั้นวิธีการที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ยังสามารถลดข้อจำกัดของทั้งวิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลข และวิธีการสตรีมเบิรน์นิงได้อีกด้วย

## 5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อจำกัดของการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและการไหลสะสมสำหรับแบบจำลองอุทกภัย มีดังต่อไปนี้

5.2.1 ข้อมูลการเกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นในอดีตซึ่งมีการบันทึกไว้มีรายละเอียดน้อยเกินไป เช่น มีการบันทึกไว้เฉพาะพื้นที่เกิดอุทกภัย ไม่มีการระบุปริมาณน้ำ และช่วงเวลาที่เกิดอุทกภัยดังนั้นในการประเมินผลความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจึงไม่สามารถวัดผลระดับน้ำจากอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง และระดับน้ำจากการจำลองการเกิดอุทกภัยได้

5.2.2 งานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาปัจจัยปริมาณน้ำเหนือพื้นที่ศึกษา เนื่องจากแบบจำลอง อุทกภัยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่รองรับปัจจัยปริมาณน้ำเหนือพื้นที่ศึกษา

5.2.3 การวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยพิจารณากรณีน้ำเอ่อสำหรับงานวิจัยนี้รองรับเฉพาะ น้ำเอ่อที่เกิดจากค่าความสูงของภูมิประเทศ งานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาปัจจัยที่เกิดจากการกระทำของ มนุษย์ เช่น สิ่งกีดขวางทางน้ำทั้งที่เกิดจากโครงสร้างพื้นฐาน และสิ่งกีดขวางทางน้ำ ณ ขณะเกิด อุทกภัย

### 5.3 การประยุกต์ผลการวิจัย

สำหรับการประยุกต์ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ แบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การนำทิศทางการ ไหลที่พัฒนาไปใช้ในการจำลองการเกิดอุทกภัย เพื่อเตรียมพร้อม เฝ้าระวัง และเตือนภัยน้ำท่วมที่ คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยในการประยุกต์ในประเด็นนี้ต้องอาศัยข้อมูลหลัก ได้แก่ แบบจำลองความสูง เชิงเลข แบบจำลองความสูงพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข ภาพถ่ายดาวเทียม ปริมาณน้ำฝน การใช้ ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และสิ่งกีดขวางทางน้ำ ซึ่งนำมาใช้ร่วมกับทิศทางการไหลที่พัฒนาในการ จำลองหรือวิเคราะห์การเกิดอุทกภัย เมื่อได้ผลการจำลองอุทกภัยสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยี เว็บบและอินเทอร์เน็ตเพื่อใช้ในการเตือนภัยสำหรับพื้นที่ที่พยากรณ์ว่าจะเกิดอุทกภัย อีกทั้งสามารถใช้ในกระบวนการบรรเทาความเสียหายที่เกิดขึ้นแก่ประชาชนในแต่ละพื้นที่ที่เกิด อุทกภัย ซึ่งในประเด็นนี้สามารถนำวิธีการที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ในส่วนของกรจำแนกเพื่อหา ขอบเขตแม่น้ำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมขณะเกิดอุทกภัยเพื่อตรวจสอบการเกิด อุทกภัยในแต่ละพื้นที่ได้ โดยสามารถจำแนกพื้นที่ไม่มีน้ำ พื้นที่บริเวณแม่น้ำ และพื้นที่เกิดอุทกภัย ออกจากกัน ทั้งขณะก่อนเกิดอุทกภัยขณะเกิด และหลังเกิดอุทกภัย นำมาซ้อนทับกันทำให้ทราบว่า พื้นที่ใดเป็นพื้นที่พื้นดิน พื้นน้ำ และพื้นที่เกิดอุทกภัย นำมาสร้างเป็นแผนที่อุทกภัยซึ่งแยกออกจาก แม่น้ำปกคตัวอย่างชัดเจน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนี้จาก การศึกษาพบว่า ไม่เพียงแต่อุทกภัยที่จำเป็นต้องใช้ทิศทางการไหลในการวิเคราะห์ แต่ภัยพิบัติอื่น ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์การเกิดดินถล่ม (Land Slide Analysis) การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอน (Erosion Analysis) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ทิศทางการไหลเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน สำหรับ วิธีการไหลที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ในพื้นที่ยื่น ๆ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ เป็นแบบอื่น ๆ ได้ อย่างไรก็ตามวิธีการไหลที่พัฒนาในงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีลักษณะทาง กายภาพเป็นพื้นที่ราบ เพราะวิธีการนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาทิศทางการไหลที่ได้จากการ วิเคราะห์แบบเดิมซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง และเส้นทางน้ำขาดหายไปหรือ คลาดเคลื่อน แต่สำหรับพื้นที่อื่น ๆ บางพื้นที่อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้ เพราะพื้นที่นั้นอาจจะไม่เกิด ปัญหาดังกล่าว

## 5.4 ข้อเสนอแนะในการเลือกและเตรียมข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน

ในการเลือกและเตรียมข้อมูลเพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์ทิศทาง การไหลของน้ำโดยใช้วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยประเด็นหลัก ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.4.1 ช่วงเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้งาน ในการพิจารณาภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำควรพิจารณาถึงระยะเวลาที่นำมาใช้งาน เช่น ถ้าต้องการนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการจำลองอุทกภัยในปี ค.ศ. 2011 ภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ควรเป็นภาพถ่ายดาวเทียมก่อนช่วงเกิดอุทกภัย

5.4.2 ชนิดของภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ สำหรับชนิดของภาพถ่ายดาวเทียมที่เหมาะสมในการนำมาใช้จำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำโดยใช้วิธีการที่นำเสนอในการวิจัยนี้ สามารถใช้ดาวเทียมแลนด์แซท โดยวิธีการที่นำเสนอรองรับทั้งแลนด์แซท 5 แลนด์แซท 7 และแลนด์แซท 8 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่จะนำไปใช้งาน ถ้าต้องการนำไปใช้งานก่อนปี ค.ศ. 2011 ควรใช้แลนด์แซท 5 แต่ถ้าต้องการใช้ในช่วงเวลาดังแต่ปี ค.ศ. 2011 เป็นต้นไปควรใช้ แลนด์แซท 7 และถ้าต้องการใช้ในช่วงเวลาดังแต่ปี ค.ศ. 2013 เป็นต้นไปสามารถใช้ได้ทั้งแลนด์แซท 7 และ 8

5.4.3 คุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียมที่เหมาะสม สำหรับการพิจารณาภาพถ่ายดาวเทียมที่เหมาะสมในการนำไปใช้จำแนกขอบเขตแม่น้ำ ควรเลือกภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่มีปริมาณเมฆปกคลุมหรือมีเมฆปกคลุมน้อยที่สุด เพราะภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเมฆปกคลุมย่อมได้รับผลกระทบจากปริมาณเมฆปกคลุมภาพ ทำให้เป็นอุปสรรคสำคัญประการหนึ่งในการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพดี ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องของขอบเขตแม่น้ำที่ได้ แต่ถ้าหากมีความจำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเมฆปกคลุม ก่อนนำภาพไปใช้งานควรมีกระบวนการกำจัดเมฆออกจากภาพถ่ายดาวเทียม เช่นเดียวกันกรณีที่ภาพถ่ายดาวเทียมมีสัญญาณรบกวน ควรกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อน หลังจากนั้นใช้วิธีการประมาณค่าข้อมูลให้มีความละเอียดเท่ากับข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิว เพื่อเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้สามารถใช้งานร่วมกับแบบจำลองความสูงพื้นผิวได้

5.4.4 คุณสมบัติของข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลขที่นำมาใช้ สำหรับข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องระดับของค่าความสูงว่าควรจะมีค่าสูงอยู่ในระดับใด แต่ก่อนนำมาใช้ในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ ต้องผ่านกระบวนการนอร์มัลไลซ์เซชันข้อมูลให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ก่อน เพราะโดยปกติค่าความสูงของแต่ละพื้นที่ย่อมแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ดังนั้นสิ่งปกคลุมภูมิประเทศแต่ละประเภทในแต่ละพื้นที่จะมีค่าความสูงที่แตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องนอร์มัลไลซ์เซชันเพื่อให้สามารถจำแนกเพื่อหาขอบเขตแม่น้ำในพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไปได้



## 5.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากการศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัย พบว่ามีข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

5.5.1 ควรพิจารณาหรือศึกษาในเรื่องการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน โดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศ (Weather Radar) ซึ่งจุดเด่นของข้อมูลดังกล่าว คือ มีการบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยช่วงระยะเวลาในการบันทึกทุก 6 วินาที การใช้ข้อมูลดังกล่าวอาจจะสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องจำนวนสถานีวัดน้ำฝนที่มีไม่เพียงพอในการวัดปริมาณฝนให้ได้ปริมาณน้ำฝนที่แท้จริงในแต่ละพื้นที่ได้ ดังนั้นถ้าใช้ข้อมูลเรดาร์ช่วยให้ความถูกต้องเพิ่มมากขึ้นแต่ทั้งนี้ก็มีข้อควรระวัง คือ ข้อมูลฝนที่ได้จากเรดาร์ไม่ใช่ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นดินโดยตรงเช่นเดียวกับที่วัดจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการตรวจสอบกับปริมาณน้ำฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนเพื่อวัดความถูกต้อง

5.5.2 ควรพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่สามารถจำแนกข้อมูลโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม มาใช้เป็นปัจจัยนำเข้าในการจำลองอุทกภัย รวมทั้งใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหล ซึ่งปัจจัยดังกล่าว ได้แก่ ถนน อาคารสิ่งก่อสร้าง และการใช้ประโยชน์ที่ดินและปกคลุมดิน (Land Use and Land Cover) ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้ตรงกับข้อมูลจริง ณ ปัจจุบันมากขึ้น เพราะภาพถ่ายดาวเทียมมีการบันทึกโดยระบุช่วงเวลา เช่น บันทึกภาพตำแหน่งนั้น ๆ ทุก 15 วัน แต่ข้อมูลที่จัดทำขึ้นโดยใช้แรงงานคนไม่ได้มีการจัดทำหรือเปลี่ยนแปลงบ่อย ข้อมูลที่ได้อาจจะไม่ตรงกับข้อมูลในสภาพจริง

5.5.3 ควรศึกษาทิศทางการไหลกรณีน้ำเอ่อที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ สิ่งกีดขวางทางน้ำซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน อาคารสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น รวมถึงสิ่งกีดขวางทางน้ำที่สร้างขึ้น ณ ช่วงเวลาที่เกิดอุทกภัยเพื่อป้องกันภัย เช่น คันกั้นน้ำ กระจอบทราย เป็นต้น จากการศึกษาเบื้องต้นในงานวิจัยนี้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลกรณีน้ำเอ่อที่เกิดจากความสูงของภูมิประเทศ พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ของการพิจารณาและไม่พิจารณาน้ำเอ่อผลลัพธ์ของการจำลองอุทกภัยไม่แตกต่างกัน

5.5.4 ควรพิจารณาปัจจัยน้ำเหนือพื้นที่ศึกษา เพราะการเกิดอุทกภัยบางกรณีอาจไม่ได้เกิดจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน หรือปริมาณน้ำฝนที่มากผิดปกติ แต่เกิดจากปริมาณน้ำที่ไหลมาจากตอนบนของพื้นที่ร่วมด้วย ซึ่งในการศึกษาปัจจัยน้ำเหนืออาจต้องใช้ข้อมูลจากระบบโทรมาตร ซึ่งระบบโทรมาตรจะบันทึกปริมาณน้ำของแต่ละสถานีโดยอัตโนมัติ ส่วนความถี่ในการวัดขึ้นอยู่กับนโยบายของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มน้ำเจ้าพระยามีการบันทึกข้อมูลทุก 15 นาที ทำให้มีข้อมูลที่รวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง (Real-Time data) เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เพื่อพยากรณ์หรือจำลองการเกิดอุทกภัย

## รายการอ้างอิง

- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2556). รายงานการวิเคราะห์และติดตามประเมินผล [ออนไลน์]. ได้จาก: [http://www.disaster.go.th/dpm/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=207&Itemid=221](http://www.disaster.go.th/dpm/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=207&Itemid=221)
- กองภูมิสารสนเทศ. (2554). แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://gis.pwa.co.th/manual/แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข.pdf>
- ชนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล, รัชมี สุวรรณวิระกำธร และสัญญา สราภิรมย์. (2543). การวิเคราะห์และการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย. หน่วยงานภูมิศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บรรเจิด จิระนานนท์, ไชยยัน ศรีสม และอานนท์ เก่งสาริกานต์. (2554). แบบจำลองเพื่อการจัดการลุ่มน้ำด้านการวางแผนจัดการน้ำหลากและการใช้ที่ดินเพื่อลดปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำ. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 4 (หน้า 25-35). เพชรบุรี: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท).
- ประสิทธิ์ เมฆอรุณ (2546). การประยุกต์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่ออุทกภัยในเขตลุ่มแม่น้ำยมตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาศึกษาศาสตร์และข้อสนเทศเชิงพื้นที่ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พร้อมพงศ์ สุกกันต์. (2552). การพยากรณ์ราคาหุ้นระยะสั้นโดยใช้แผนผังจัดระเบียบเองได้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2555). โครงการป้องกันและแก้ไขปัญหาภัยน้ำท่วมในบริเวณเสี่ยงภัยจังหวัดปทุมธานี. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดปทุมธานี.
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2540). โครงการจัดการสาธารณภัยในภาคใต้ของประเทศไทย. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์ และเอกสิทธิ์ โฉมิตตสกุลชัย. (2550). การจำลองการไหลของน้ำผิวดินแบบ 2 มิติในพื้นที่ลาดชัน ด้วยระเบียบวิธี Finite Volume. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12. (หน้า 221-227). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธนเรศวรและสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท).

- ยุพา ชิดทอง และเสรี สุภราทิตย์. (2550). การพัฒนาแบบจำลอง Hybrid เพื่อการพยากรณ์ยอดน้ำ  
 กรณีศึกษาเหตุการณ์น้ำท่วมเชียงใหม่ปี 2538. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา  
 ครั้งที่12. (หน้า 35-41). พิษณุโลก.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2542). การศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยง  
 ภัยต่อการเกิดอุทกภัยและภัยธรรมชาติ (ในเขตลุ่มน้ำภาคกลาง). รายงานฉบับสมบูรณ์  
 เสนอต่อสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2541). การศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิด  
 อุทกภัยและภัยธรรมชาติ (ในเขตลุ่มน้ำภาคเหนือ). รายงานฉบับสุดท้าย. สำนักงาน  
 นโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2555). **โลกแห่งน้ำ.**  
 กรุงเทพฯ:สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).
- สุพัตรา พุฒินาวรัตน์, เกริกชัย ทองหนู และพิชญา ตันชัยย์. (2553). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์  
 แบบกระจายสำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกันเชิงพื้นที่ กรณีศึกษาน้ำท่วมอำเภอ  
 หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศ  
 ภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. 11(2): 1-14.
- สุพัตรา พุฒินาวรัตน์, ปรมะศวร์ ห่อแก้ว, คณิต ไช้มุกด์ และวิรพงษ์ พลนิกรกิจ (2015). การฟื้นฟู  
 รูปแบบทิศทางการไหลสำหรับแบบจำลองอุทกวิทยาด้วยการประมวลข้อมูลภูมิประเทศ  
 , วารสาร มทร. อีสาน. 8(3): 32-51.
- อัจฉรา โกมลนาค. (2545). แบบจำลองทางอุทกวิทยาเพื่อการคาดการณ์น้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง  
 ตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Abdolreza, B. (2006). **Simulating the Effects of Reforestation on Floods using Spatially  
 Distributed Hydrologic Modeling and GIS.** Doctoral dissertation, Vrije Universiteit  
 Brussel, Belgium.
- Acharya, T., and Ray, A. K. (2005). **Image processing: principles and applications.** Canada:  
 Wiley-Interscience.
- Ajin. R.S., Krishnamurthy R.R., Jayaprakash, M., and Vinod. P. G. (2013). Flood hazard  
 assessment of Vamanapuram river, Basin, Kerala, India: An approach using remote  
 sensing & GIS techniques. **Journal of Advance in Applied Science Research.** 4(3):  
 263-274.

- Al-Muqdad, S. W., and Merkel, B. J. (2011). Automated Watershed Evaluation of Flat Terrain. **Journal of Water Resource and Protection**. 12(3): 892-903.
- Alsabti, K., Ranka, S., and Singh, V. (1997). An efficient k-means clustering algorithm. In **Electrical Engineering and Computer Science** (pp. 112-119). United States.
- Amarakul, V., and Sanyong, S. (2005). LANDSAT Application and Classification Disaster Area on Yom River Basin. In **Proceedings ACRS** (pp. 37-46). United States.
- Amjoun, R. and Straber, W (2007). Efficient compression of 3d dynamic mesh sequences. **Journal of WSCG**. 15(1): 99-106.
- Arnold, N. (2010). A new approach for dealing with depressions in digital elevation models when calculating flow accumulation values. **Progress in Physical Geography**. 34: 781-809.
- Arnold, J. G., and Fohrer, N. (2005). SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. **Hydrological processes**. 19(3): 563-572.
- Asian Disaster Reduction Center. (2012). **Natural Disaster Data Book**. Japan: Asian Disaster Reduction Center (ADRC).
- Bach et al. (2004). Application of satellite data for flood monitoring. In **Proceeding of GGRS** (pp.178-185). Göttingen, Germany.
- Bänninger, D. (2007). Technical Note: Water flow routing on irregular meshes. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**. 11(4): 1243-1247.
- Barcellos, B., Giraldo, G. A., Apolinario, A. L., and Rodrigues, P. S. (2008). **GPU surface flow simulation and multiresolution animation in digital terrain models**. Tech. Rep., National Laboratory of Scientific Computing.
- Barcellos, B., Giraldo, G. A., Silva, R. L., Apolinario, A. L., and Rodrigues, P. S. (2007). Surface flow animation in digital terrain models. In **Proceedings of the IX Symposium on Virtual an Augmented Reality (SVR 2007)** (pp. 123-132). Brazil.
- Bartak, V. (2009). How to extract river networks and catchment boundaries from DEM: a review of digital terrain analysis techniques. **Journal of Landscape Studies**. 2(1): 57-68.
- Beven, K. J. (1997). **Distributed Hydrological Modelling: Application of The TOPMODEL Concept**. New York: John Wiley&Sons.

- Boonklong, O., Jaroensutasinee, M. and Jaroensutasinee, K. (2007). Computation of D8 Flow Line at Ron Phibun Area, Nakhon Si Thammarat, Thailand. **International Journal of Environmental, Earth Science and Engineering**. 1(9): 1-4.
- Botsch, M., Kobbelt, L., Pauly, M., Alliez, P., and Lévy, B. (2010). **Polygon mesh processing**. United States: Crc Press.
- Bruno, B. Digital Terrain Analysis: Data Source, Resolution and Applications for Modeling Physical Processes in Agroecosystems. **Rivista Italiana di Agrometeorologia**. 10(2): 5-14.
- Brunner, G. W. (2010). **HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 4.1**. Hydrological Engineering Center, US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
- Butenuth, M., and Heipke, C. (2003). Modelling the integration of heterogeneous vector data and aerial imagery. In **Proceedings of ISPRS Commission IV Joint Workshop** (pp 255-261). Stuttgart, Germany.
- Butkiewicz, T., Chang, R., Wartell, Z., and Ribarsky, W. (2007). Analyzing sampled terrain volumetrically with regard to error and geologic variation. In **International Society for Optics and Photonics** (pp 649500-649510).
- C. Xu and J. L. Prince. (1998). Snakes, shapes, and gradient vector flow, **IEEE Trans. Image Processing**. 7(3): 359-369.
- Carleer, A., and Wolff, E. (2005). The VHR data region-based classification possibilities in the framework of Control with Remote Sensing of European CAP. In **Proceeding of the 31st International Symposium of Remote Sensing on Environment** (pp 1-5). Petersburg, Russia.
- Cellier, F., Gandoin, P. M., Chaine, R., Barbier-Accary, A., and Akkouche, S. (2012). Simplification and streaming of GIS terrain for web clients. In **Proceedings of the 17th International Conference on 3D Web Technology** (pp. 73-81). United States: ACM.
- Chang, F. J., Chang, L. C., and Wang, Y. S. (2007). Enforced self-organizing map neural networks for river flood forecasting. **Hydrological Processes**. 21(6): 741-749.

- Chang, F. J., Liang, J. M., and Chen, Y. C. (2001). Flood forecasting using radial basis function neural networks. **Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions.** 31(4): 530-535.
- Chao, Z., and Sheng, M. (2011). Study on extraction methods for water information in Nantong city, China using Landsat ETM+ data. In **Proceeding of the Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2011 International Conference on** (pp. 771-774). Nanjing, China: IEEE.
- Chatsimab, K., Nikmanesh, M. R., and Shaba, M. (2005). The Use of Fuzzy Method for Determination of Appropriate Places for Flood Distribution, **American Journal of Scientific Research.** 74(1): 58-65.
- Chen, F., and Xie, Z. (2008). A large-scale routing scheme for stream simulation and its application to river basins in China. In **Proceedings of Chinese PUB International Symposium** (pp. 65-72). Beijing.
- Chen, X., Hu, J., and Hu, H., (2013). Multiple flow direction algorithm based on extending neighborhood terrain. **International Journal of Advancements in Computing Technology.** 5(1): 892-898.
- Cifuentes, M. V., Venere, M. J., and Clause, A. (2010). Interactive remeshing for navigation over landscape models. **Latin American applied research.** 40(4): 311-315.
- Cortes, C., and Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. **Machine learning.** 20(3): 273-297.
- Costa-Cabral, M. C., and Burges, S. J. (1994). Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. **Water resources research.** 30(6): 1681-1692.
- Cutler, B., and Whiting, E. (2007). Constrained planar remeshing for architecture. In **Proceedings of Graphics Interface 2007** (pp 11-18). Canada: ACM.
- David, F., Rick, B., and Jiang, J.H., (2002). Three-dimensional computational flow modeling and high resolution flow surveys for fisheries environmental studies on the upper Columbia River. In **Proceedings of Hydro Vision 2002 conference** (pp 1-12). Portland, Oregon.

- De Risi, R. (2013). **A Probabilistic Bi-Scale Framework for Urban Flood Risk Assessment**.  
PHD Thesis, Department of structures for engineering and architecture University of  
Naples Federico II.
- De Roo A, Wesseling C and Ritsema C, (1996). LISEM: A single-event physically based  
hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output.  
**Hydrological Processes**. 10(8): 1107-1117.
- Deilami, B. R., Al-Saffar, A., Rashid, M., Sheikhi, A., Bala, M. I., and Arsal, D. (2013).  
Comparison of Surface Flows Derived from Different Resolution DEM. **International  
Journal of Engineering & Technology**. 13(1): 82-85.
- Deshmukh, R. P., and Ghatol, A. A. (2010). Short Term Flood Forecasting using Static Neural  
Networks a Comparative Study. **International Journal of Computer Science and  
Network Security**. 10(8): 69.
- DHI (2013). **MIKE-11**. [On-line]. Available: <http://www.dhi.com>.
- Diaz-Nieto, J., Blanksby, J., Lerner, D. N., and Saul, A. J. (2008). A GIS approach to explore  
urban flood risk management. In **Proceedings of the 11th International Conference  
on Urban Drainage** (pp 1-10). Edinburgh, Scotland, UK.
- Dillabaugh, C. R., Niemann, K. O., and Richardson, D. E. (2002). Semi-automated extraction of  
rivers from digital imagery. **GeoInformatica**. 6(3): 263-284.
- Domnita, M. (2012). **Runoff modeling using GIS. Application in torrential basins in the  
Apuseni Mountains**. Doctoral dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Belgium.
- Domnita, M., Craciun, A. I., Haidu, I., and Magyari, S. Z. (2010). Geographical Information  
System module for deriving the flash flood hydrograph in mountainous areas. In  
**Proceedings of the 4th conference on European computing conference** (pp 260-  
265). Paris, France.
- Domnita, M., Craciun, A. I., and Haidu, I. (2009). GIS in Determination of The Discharge  
Hydrograph Generated by Surface Runoff for Small Basins. **Geographia Technica**.  
8(1): 468-477.
- Dumond, Y. (2008). Forest fire growth modelling with geographical information fusion. In  
**Information Fusion, 2008 11th International Conference** (pp. 1-6). Cologne,  
Germany: IEEE.

- Duvvuri, S., and Narasimhan, B. (2013). Flood Inundation Mapping of Thamiraparani River Basin Using HEC-Geo RAS and SWAT. **International Journal of Engineering Research and Technology**. 2(7): 1408-1420.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific: ESCAP. (1999). **Regional Cooperation in the Twenty-first Century on Flood Control and Management in Asia and the Pacific**. New York: United Nation.
- Elkhrachy, I. (2015). Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 18(1): 1-18.
- El Hassan, I. M., Algarni, D. A., and Dalbough, F. M. (2014). Flood risk prediction using DEM and GIS as applied to Wiji Valley, Taif, Saudi Arabia. **Journal of Geomatics**. 8(1): 86-89.
- El-Magd, I. A., Hermas, E., and El Bastawesy, M. (2010). GIS-modelling of the spatial variability of flash flood hazard in Abu Dabbab catchment, Red Sea Region, Egypt. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 13(1), 81-88.
- Elmannai, H., Loghmani, M. A., and Naceur, M. S. (2013). Support Vector Machine for Remote Sensing image classification. In **Proceedings of the International Conference on Control, Engineering & Information Technology** (pp. 68-72). Sousse, Tunisia.
- Erdogan, M., Maras, H. H., Yilmaz, A., and Ozerbil, O. T. (2008). Resolution merge of 1: 35000 scale aerial photographs with Landsat 7 ETM imagery. In **Proceeding of the Archives Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences** (pp 1281-1285). Beijing, China.
- Erskine, R. H., Green, T. R., Ramirez, J. A., and MacDonald, L. H. (2006). Comparison of grid-based algorithms for computing upslope contributing area. **Water Resources Research**. 42(9): 1-9.
- F.J. Chang et al. (2007). Enforced Self-organizing Map Neural Networks for River Flood Forecasting. **Hydrological Processes**. 21(6): 741-749.
- Fairfield, J. and Pierre L. (1991). Drainage networks from grid digital elevation models. **Water Resources Research**. 27(5): 709-717.



- Fang, J., Fang, S., Huang, J., and Tuceryan, M. (2006). Digital geometry image analysis for medical diagnosis. In **Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing** (pp. 217-221). Dijon, France: ACM.
- Feng, L. H., and Lu, J. (2010). The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. **Expert Systems with Applications**. 37(4): 2974-2977.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., and Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery, **Remote Sensing of Environment**. 140(1): 23-35.
- Florinsky, I. V. (2011). **Digital terrain analysis in soil science and geology**. United states: Academic Press.
- GAO, B.C. (1996). NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, **Remote Sensing Environment**. 58: 257–266.
- Gardelle, J., Hiernaux, P., Kergoat, L., and Grippa, M. (2010). Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface water from 1950 to present in pastoral Sahel (Gourma region, Mali). **Hydrology and Earth System Sciences**. 14(2): 309-324.
- Ge, Q. Z., Ling, Z. C., Qiong, L., Hui, X. X., and Zhang, G. (2008). High efficient classification on remote sensing images based on SVM, In **Proceeding of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences** (pp 1011-1014). Beijing, China.
- Getirana, A. C., Bonnet, M. P., and Martinez, J. M. (2009). Evaluating parameter effects in a DEM burning process based on land cover data. **Hydrological processes**. 23(16): 2316-2325.
- Gilles, D., and Moore, M. (2010). **Review of Hydraulic Flood Modeling Software used in Belgium**. The Netherlands, and The United Kingdom.
- Gioti, E., Riga, C., Kalogeropoulos, K., and Chalkias, C. (2013). A GIS-based flash flood runoff model using high resolution DEM and meteorological data. **EARSeLeProceedings**. 12(1): 33-43.
- Gong, J., and Jibo X. (2009). Extraction of drainage networks from large terrain datasets using high throughput computing. **Computers & Geosciences**. 35(2): 337-346.

- Gorr, W., and Kurland, K. (2007). **Learning and using geographic information systems: ArcGIS edition**. United States: Thomson Course Technology Press.
- Grimaldi, S., Nardi, F., Di Benedetto, F., Istanbuluoglu, E., and Bras, R. L. (2007). A physically-based method for removing pits in digital elevation models. **Advances in Water Resources**. 30(10): 2151-2158.
- Hadi F., Rikie, S., and Ram, A. (2010). Estimation Tree Density as Object-based in Arid and Semi-arid Regions using ALOS. In **Proceeding of the 4th GEOBIA** (pp 668-671). Ghent, Belgium.
- Haibo, Y., Zongmin, W., Hongling, Z., and Yu, G. (2011). Water body extraction methods study based on RS and GIS. **Procedia Environmental Sciences**. 10(1): 2619-2624.
- Hannv, Z., Qigang, J., and Jiang, X. (2013). Coastline Extraction Using Support Vector Machine from Remote Sensing Image. **Journal of Multimedia**. 8(2): 175-182.
- Havno, K., Madsen, M. N., Dorge, J., and Singh, V. P. (1995). MIKE 11-a generalized river modelling package. **Computer models of watershed hydrology**. 1(1): 733-782.
- Helman, J., and Hesselink, L. (1989). Representation and display of vector field topology in fluid flow data sets. **Computer**. 22(8): 27-36.
- Herold M., Gardner, M.E .and Roberts, D.A. (2003). Spectral resolution requirement for mapping urban areas, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 41(9): 1907-1919.
- Honda, K. C., Francis, X. J., and Sah, V. P. (1999). Flood monitoring in central plain of Thailand using JERS-1 SAR data. In **Proceeding 18th Asian Conference of Remote Sensing** (pp. 271-278). Kuala Lumpur, Malaysia.
- Horkaew, P., Puttinaovarat, S., and Khaimook, K. (2015). River Boundary Delineation from Remotely Sensed Imagery based on SVM and Relaxation Labeling of Water Index and DSM. **Journal of Theoretical & Applied Information Technology**, 71(3): 376-386.
- Huang, B., and Jiang, B. (2002). AVTOP: a full integration of TOPMODEL into GIS. **Environmental Modelling & Software**. 17(3): 261-268.
- Huggel, C., Käab, A., Haeberli, W., and Krummenacher, B. (2003). Regional-scale GIS-models for Assessment of Hazards from Glacier Lake Outbursts: evaluation and application in the Swiss Alps. **Natural Hazards and Earth System Science**. 3(6): 647-662.

- Hunter, N. M., Bates, P. D., Horritt, M. S., and Wilson, M. D. (2007). Simple Spatially-Distributed Models for Predicting Flood Inundation: a Review. **Geomorphology**. 90(3): 208-225.
- Isared K. and Ekasit K., (2012). Derivation Flow Direction and Watershed in Lowland from DEM. In **Proceeding in NCCE-17** (pp. WRE010-1 – WRE010-9). Udon Thani, Thailand.
- Isioye, O.A., Enebeli, I., Alademomi, S. A., and Akomolafe, E. (2012). Terrain Analysis in GIS and Its Significance to Surface Runoff Analysis (A Study of Basawa Community in Sabon Gari L.G.A. of Kaduna State, Nigeria). **International Journal of Advanced Scientific Engineering and Technological Research**. 20(1): 72-92.
- Jeberson, R., and Sasipraba, T. (2010). Disaster management system based on GIS web services. In **Proceedings of the Recent Advances in Space Technology Services and Climate Change (RSTSCC)** (pp. 252-261). Chennai, India: IEEE.
- Jenson, S. K., and Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric engineering and remote sensing**. 54(11): 1593-1600.
- Jiang, H., Feng, M., Zhu, Y., Lu, N., Huang, J., and Xiao, T. (2014). An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. **Remote Sensing**. 6(6): 5067-5089.
- Jin, M., and Fread, D. D. (1999). 1D modeling of mud/debris unsteady flows. **Journal of hydraulic engineering**. 125(8): 827-834.
- Jiqun, Z., Chenghu, Z., Kaiqin, X., and Masataka, W. (2002). Flood Disaster Monitoring and Evaluation in China. **Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards**. 4(2): 33-43.
- Ju, J., and Roy, D. P. (2008). The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally. **Remote Sensing of Environment**. 112(3): 1196-1211.
- Katalin, B. (2008). **Digital Elevation Models and Their Applications in Flood Risk Management**. Doctoral dissertation, University of Szeged, Hungary.
- Kenny, F., and Bryce M. (2005). A methodology for aligning raster flow direction data with photogrammetrically mapped hydrology. **Computers & Geosciences**. 31(6): 768-779.

- Kharat, D. B. (2009). **Practical Aspects of Integrated 1D2D Flood Modelling of Urban Floodplains using LiDAR Topography Data**. Doctoral dissertation, Heriot-Watt University, UK.
- Kia, M. B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A. R., Sulaiman, W. N. A., and Moradi, A. (2012). An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. **Environmental Earth Sciences**. 67(1): 1-14.
- Kiss, R. (2004). Determination of drainage network in digital elevation models, utilities and limitations, **Journal of Hungarian geomathematics**. (2)2: 16-29.
- Kohonen T. (1995). Self-Organizing Maps. **Springer**. 30(1): 3-10.
- Kuo, B. C., Ho, H. H., Li, C. H., Hung, C. C., and Taur, J. S, (2014). A Kernel-Based Feature Selection Method for SVM With RBF Kernel for Hyperspectral Image Classification, **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing**. 7(10): 317-326.
- Kussul, N., Shelestov, A., and Skakun, S. (2008). Intelligent computations for flood monitoring. In **Proceeding of the 14th International Conference of Knowledge-Dialogue-Solution** (pp. 48-54). Varna, Bulgaria.
- Kwak, Y., and Kondoh, A. (2008). A Study on The Extraction of Multi-factor Influencing Floods from RS Image and GIS Data; A Case Study in Nackdong Basin, s. Korea. **Advances in Geosciences**. 17(1): 421-425.
- Kwak, Y., Hasegawa, A., Inomata, H., Magome, J., and Takeuchi, K. (2011). A new assessment methodology for flood risk: A case study in the Indus River basin. In **Risk in water resources management: Proceedings of symposium H03, IUGG2011** (pp. 55-60). Melbourne, Australia.
- Larrion F., Neumann-Lara V., and Pizana M. A. (2002). Whitney triangle a large-scale ations, local girth and iterated clique graphs. **Discrete Mathematics**. 258(1): 123–135.
- Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A., and Lafaye, M. (2007). Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal, **Remote Sensing of Environment**. 106(1): 66-74.

- Lekkas, D. F., Onof, C., Lee, M. J., and Baltas, E. A. (2004). Application of artificial neural networks for flood forecasting. **Global Nest: The International Journal**. 6(3): 205-211.
- Li, M., Xu, L., and Tang, M. (2011). An Extraction method for Water Body of Remote Sensing Image Based on Oscillatory Network. **Journal of Multimedia**. 6(3): 252-260.
- Li, P., Jiang, L., and Feng, Z. (2013). Cross-Comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8 operational land imager (OLI) sensors. **Remote Sensing**. 6(1): 310-329.
- Lindsay, John B. (2003). A physically based model for calculating contributing area on hillslopes and along valley bottoms. **Water resources research**. 39(12): 1332-1339.
- Lindstrom, P., and Pascucci, V. (2002). Terrain simplification simplified: A general framework for view-dependent out-of-core visualization. **Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions**. 8(3): 239-254.
- Lippmann, R. (1987). An introduction to computing with neural nets. **ASSP Magazine, IEEE**. 4(2): 4-22.
- Litke, N., Levin, A., and Schroder, P. (2001). Fitting subdivision surfaces. In **Proceedings of the conference on Visualization 01** (pp. 319-324). San Diego, California:IEEE.
- Liu Yongbo. (2007). **Development and application of a GIS-based hydrological model**. Doctoral dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Belgium.
- Lu, W., Mannen, S., Sakamoto, M., Uchida, O., and Doihara, T. (2004). Integration of imageries in GIS for disaster prevention support system. In **Proceedings of ISPRS Commission** (pp. 10-14). Istanbul, Turkey.
- M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos. (1998). Snakes: Active contour models, **International Journal of Computer Vision**. 1(4): 321-331.
- Ma, J., Lin, G., Chen, J., and Yang, L. (2010). An improved topographic wetness index considering topographic position. In **Proceedings of the Geoinformatics, 2010 18th International Conference**. (pp. 1-4). IEEE.
- Maidment, D.R., (1996). GIS and hydrological modeling: an assessment of progress. In **Proceedings of the Third International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling**. (pp. 147-167). Santa Fe, New Mexico.

- Maidment, R., and Mansor, B.S. (1999). Remote Sensing and GIS for Flood Prediction. In **Proceedings of the Twentieth Asian Conference of Remote Sensing** (pp 125-131). Hong Kong.
- Mao, Y., Ye, A., Xu, J., Ma, F., Deng, X., Miao, C., Gong, W., and Di, Z. (2014). An advanced distributed automated extraction of drainage network model on high-resolution DEM. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**. 11(7): 7441-7467.
- Margarida S., and Sandra H. (2009). Classification of Water Regions in SAR Images using Level Sets and Non-parametric Density Estimation. In **IEEE International Conference on Image Processing ICIP 2009**. (pp. 1685-1688). Cairo, Egypt: IEEE.
- Mathias S. (1998). Fusion of different data-levels within Geographic Information Systems. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing** (pp 527-532). Stuttgart, Germany
- Merchant, J. W., and Narumalani, S. (2009). **Integrating remote sensing and geographic information systems**. London, UK.: SAGE Publications Ltd.
- Metz, M., Mitasova, H., and Harmon, R. S. (2011). Efficient extraction of drainage networks from massive, radar-based elevation models with least cost path search. **Hydrology and Earth System Sciences**. (15)2: 667-678.
- Mitra, S., Pedrycz, W., and Barman, B. (2010). Shadowed c-means: Integrating fuzzy and rough clustering. **Pattern Recognition**. 43(4): 1282-1291.
- Mohammadi, A., Ryu, D., and Costelloe, J. (2013). Mapping of flow paths in large, anastomosing arid zone rivers: Cooper Creek, Australia. In **Proceeding of the 20th International Congress on Modelling and Simulation** (pp. 2485-2491). Adelaide, South Australia.
- MohdYusof, S. Y., and Rodziah, H. (2014). Predicting flow direction of soil erosion using Geographic Information System (GIS). **International Journal of Soil Mechanics & Foundations**. 1(2): 11-13
- Mouton, A. (2005). **Generating stream maps using LiDAR derived digital elevation models and 10-m USGS DEM**. Master thesis, University of Washington.
- Mulet-Marti, J., Underhill, C, Gutierrez-Andres, J. and Woolhouse, G. (2009). Intelligent meshing for two dimensional overland flow modelling; a comparison of two methodologies. In **Proceeding of Int. Conf. on Urban Flood Man** (pp. 1-11). Paris, France.

- Napolitano, G. (2011). **An Exploration of Neural Networks for Real-time Flood Forecasting**.  
Doctoral dissertation, University of Leeds, UK.
- Noorazuan, M. H., Ruslan, R., Hafizan, J., Sharifuddin, M., and Nazari, J. (2001). GIS application in evaluating land use-land cover change and its impact on hydrological regime in Langat River basin, Malaysia. **In Map Asia Conference** (pp. 14-15). Malaysia.
- Nourani, V., Roughani, A., and Gebremichael, M. (2011). TOPMODEL capability for rainfall-runoff modeling of the Ammameh watershed at different time scales using different terrain algorithms. **Journal of Urban and Environmental Engineering**. 5(1): 1-15.
- O'Callaghan, John F., and David M. Mark. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer vision, graphics, and image processing**. 28(3): 323-344.
- Park, D. W., Nikhil, N. V., and Lee, S. R. (2013). Landslide and debris flow susceptibility zonation using TRIGRS for the 2011 Seoul landslide event. **Natural Hazards and Earth System Sciences**. 13(11): 2833-2849.
- Paik, K. (2003). Global search algorithm for non dispersive flow path extraction. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**. 113(4): 1-9.
- Payan, F., Kamoun, A., and Antonini, M. (2008). Remeshing and spatio-temporal wavelet filtering for 3d animations. In **Proceeding of the Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008. ICASSP IEEE International Conference** (pp. 1081-1084). Las Vegas, United States: IEEE.
- Peter, B., and Weibel, R. (1999). Using vector and raster-based techniques in categorical map generalization. In **Proceeding of the Third ICA workshop on progress in automated map generalization** (pp. 12-14). Ottawa.
- Pfeifer, N. (2005). A subdivision algorithm for smooth 3D terrain models. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**. 59(3): 115-127.
- Pilesjö, P., and Hasan, A. (2014). A Triangular Form-based Multiple Flow Algorithm to Estimate Overland Flow Distribution and Accumulation on a Digital Elevation Model. **Transactions in GIS**. 18(1): 108-124.
- Pottmann, H., Brell-Cokcan, S., and Wallner, J. (2006). Discrete surfaces for architectural design. **Curves and Surfaces: Avignon**. 1(1): 213-234.

- Pottmann, H., Leopoldseder, S., Hofer, M., Steiner, T., and Wang, W. (2005). Industrial geometry: recent advances and applications in CAD. **Computer-Aided Design**. 37(7): 751-766.
- Prachayastikul, L. (2006). **Application of Soil and Water Assessment Tool (SWAT Model) for Water Balance Studies of Songkhla Lake Basin**. Doctoral dissertation, Mahidol University.
- Pradhan, B. (2009). Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. **Journal of Spatial Hydrology**. 9(2): 1-18.
- Pramojanee, P., Tanavud, C., Yongchalermchai, C., and Navanugraha, C. (1997). An application of GIS for mapping of flood hazard and risk area in Nakorn Sri Thammarat Province, South of Thailand. In **Proceedings of International Conference on Geo-Information for Sustainable Management** (pp. 17-21). Enschede, Netherlands.
- Prathumcha, K., and Samarakoon, L. (2005). **Application of Remote Sensing and GIS Techniques for Flood Vulnerability and Mitigation Planning in Munshiganj District of Bangladesh**. GIS Application Center, Asian Institute of Technology, 1-10.
- Pu, R., Landry, S., and Yu, Q. (2011). Object-based urban detailed land cover classification with high spatial resolution IKONOS imagery. **International Journal of Remote Sensing**. 32(12): 3285-3308.
- Puech, C., Hostache, R., Raclot, D., and Matgen, P. (2007). Estimation of flood water levels by merging DEM and satellite imagery using hydraulics laws through AI to enhances the estimates. In **Proceedings of Second Space for Hydrology Workshop ESA** (pp. 17-24). Geneva, Switzerland.
- Puttinaovarat, S., Khechonrak, S., Khaimook, K., and Horkaew, P. (2013). Assessing deluge predictability and deterministic attributes of artificial learning systems. In **Knowledge and Smart Technology (KST), 2013 5th International Conference** (pp. 70-74). Chonburi, Thailand: IEEE.
- Puttinaovarat, S., Horkaew, P., and Khaimook, K. (2014). Configuring ANN for Inundation Areas Identification based on Relevant Thematic Layers, **ECTI Transactions on Computer and Information Technology**. 8(1): 56-66.



- Puttinaovarat, S., Horkaew, P., Khaimook, K., and Polnigongit, W. (2015a). Robust Water Body Extraction from Landsat Imagery by using Gradual Assignment of Water Index and DSM, In **Proceeding of the IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications** (pp. 122-126). Kuala Lumpur, Malaysia.
- Puttinaovarat, S., Horkaew, P., Khaimook, K., and Polnigongit, W. (2015b). Adaptive Hydrological Flow Field Modeling based on Water Body Extraction and Surface Information, **Journal of Applied Remote Sensing**. 9(1): 095041-1-095041-22.
- Puttinaovarat, S., Horkaew, P., Khaimook, K., and Polnigongit, W. (2015c). Water Body Classification based on Machine Learning of Water Index and Terrain Surface, **Information**, 18(11): 4771-4792.
- Quinn, P. F. B. J., Beven, K., Chevallier, P., and Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. **Hydrological processes**. 5(1): 59-79.
- Radhika S. (2012). Implementation of Neural Networks in Flood Forecasting. **International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)**. 2(10): 1-3.
- Ray, R., Mandal, S., and Dhara, A. Characterization and Mapping of Inland Wetland: A Case Study on Selected Bils on Nadia District. (2012). **International Journal of Scientific and Research Publications**. 2(12): 1-10.
- Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., and Hazini, S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. **Remote Sensing**. 6(5): 4173-4189.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering., (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In **Proceeding of the Third ERTS Symposium** (pp. 309-317). Washington DC, USA.
- Ruhoff, A. L., Castro, N. M. R., and Risso, A. (2011). Numerical modelling of the topographic wetness index: an analysis at different scales. **International Journal of Geosciences**. 2(4): 476-483.
- Saini, S. S., and Kaushik, S. P. (2012). Risk and vulnerability assessment of flood hazard in part of Ghaggar Basin: A case study of Guhla block, Kaithal, Haryana, India. **International Journal of Geomatics and Geosciences**. 3(1): 42-54.

- Sakthi G., and Nedunchezian, R., (2014). Novel Optimization Technique for Classification of Remote Sensing Data using SVM, **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**. 59(3): 725-734.
- Sakthivel, R., Raj, N. J., Pugazhendi, V., Rajendran, S., and Alagappamoses, A. (2011). Remote Sensing and GIS for Soil Erosion Prone areas Assessment: A case study from Kalrayan hills, Part of Eastern Ghats, Tamil Nadu, India. **Archives of Applied Science Research**. 3(6): 369-376.
- Sami, K., Mohsen, B. A., Afef, K., and Fouad, Z. (2013). Hydrological Modeling Using GIS for Mapping Flood Zones and Degree Flood Risk in Zeuss-Koutine Basin (South of Tunisia). **Journal of Environmental Protection**. 4(1): 1409-1422.
- Sane, M., and Huokuna, M. (2008). Procedure for identifying automatically possible flood risk areas. In **Proceeding of Thematic Workshop on Flood Mapping**. Dublin, Irlanti.
- Sani, Yahaya. (2008). Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in Hadejia-Jama'are River Basin, Nigeria. In **Proceeding of the ASPRS 2008 Annual Conference** (pp. 12-20). Portland, Oregon, USA.
- Sansena, T., and Bhaktikul, K. (2007). The Application of Hydraulic Model with Geographic Information System to Create Flood Risk Mapping In Mae Klong River. In **Proceeding of the 4th INWEPF Steering Meeting and Symposium** (pp. 2-06). Bangkok, Thailand.
- Santini, M., Grimaldi, S., Nardi, F., Petroselli, A., and Rulli, M. C. (2009). Pre-processing algorithms and landslide modelling on remotely sensed DEMs. **Geomorphology**. 113(1): 110-125.
- Sathe, B. K., Khire, M. V., and Sankhua, R. N. (2011). Integrated Remote sensing and GIS for Flood Hazard Mapping in Upper Krishna River Basin (India). **Journal of Science and Technology**. 1(1): 1-10.
- Sedighi, A. (2008). **A Linear Regression Model for Predicting Stream Response Time in Karst Watersheds Using DEMs**. Doctoral dissertation, University of Florida, USA.
- Seibert, J., and McGlynn, B. (2007). A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models. **Water Resources Research**. 43(4): 1-8.

- Shah, M. V., Choudhary, M. A., and Tewari, K. (2011). River extraction from satellite image. **International Journal of Computer Science**. 8(4): 386-391.
- Shahkoeei, E., Arekhi, S., and Kani, A. N. (2014). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land use changes using support vector machine algorithm (Case study: Ilam dam watershed), **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**. 8(4): 464-473.
- Shaker, A., Yan, W. Y., and El-Ashrawy, N. (2012). Panchromatic Satellite Image Classification for Flood Hazard Assessment. **Journal of Applied Research and Technology**. 10(2): 902-911.
- She, H. W., Zhang, Y. N., Liu, X. G., and Zhao, N. (2008). Main-stream of the Yellow River detection based on spectral feature and the Dynamic Transmission Model. In **Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers** (pp. 455-463). Wuhan, China.
- Shen, L., and Li, C. (2010). Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm, In **Proceeding of the Geoinformatics, 2010 18th International Conference** (pp. 1-4). Beijing, China.
- Silveira, M., and Heleno, S. (2008). Water/land segmentation in SAR images using level sets. In **Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference** (pp. 1896-1899). San Diego, California, USA: IEEE.
- Sliuzas, R., Flacke, J., and Jetten, V. (2013). Modelling urbanization and flooding in Kampala, Uganda. In **Proceedings of the 14th N-AERUS / GISDECO Conference** (pp. 1-16). Enschede, Netherlands.
- Soille, P., Vogt, J., and Colombo, R. (2003). Carving and adaptive drainage enforcement of grid digital elevation models. **Water Resources Research**. 39(12): 1366-1375.
- Subramaniam, S., and Saxena, M. (2011). Automated Algorithm for Extraction of Wetlands from IRS ResourcesatLiss III Data. **ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. 3820(1): 193-198
- Sudiana, D., and Rizkinia, M. (2012). ALOS/PALSAR image processing using dinsar and Log ratio for flood early detection in Jakarta based on land subsidence. **MAKARA of Technology Series**. 15(2): 193-200.

- Sugeno, M., and Yasukawa, T. (1993). A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling. **IEEE Transactions on fuzzy systems**. 1(1): 7-31.
- Suwanprasit, C., and Srichai, N. (2012). Impacts of spatial resolution on land cover classification. In **Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network** (pp. 39-47). Chiang Mai, Thailand.
- Tanavud, C. and Yongchalemchai, C. (2004). Assessment of Flood Risk in Hat Yai Municipality Southern Thailand, using GIS. **Journal of Natural Disaster Science**. 26(1): 1-14.
- Tanavud, C., Yongchalemchai, C., Bennui, A., and Densreeserekul, O. (2004). Assessment of flood risk in Hat Yai municipality, Southern Thailand, using GIS. **Journal of Natural Disaster Science**. 26(1): 1-14.
- Tarboton, David G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water resources research**. 33(2): 309-319.
- Tarboton, David G. (2003). Terrain analysis using digital elevation models in hydrology. In **23rd ESRI international users conference** (pp. 254-265). San Diego, California: ESRI.
- Teegavarapu, R. S. (2012). **Floods in a Changing Climate: Extreme Precipitation**. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Thongwan, T., A. Kangrang., and S. Homwuttiwong. (2011). An estimation of rainfall using fuzzy set genetic algorithms model. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**. 4(1): 77-81.
- Toma, L., Wickremesinghe, R., Arge, L., Chase, J. S., Vitter, J. S., Halpin, P. N., and Urban, D. (2001). Flow computation on massive grids. In **Proceedings of the 9th ACM international symposium on Advances in geographic information systems** (pp 82-87). Atlanta, GA, USA: ACM.
- Turcotte, R., Fortin, J. P., Rousseau, A. N., Massicotte, S., and Villeneuve, J. P. (2001). Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. **Journal of Hydrology**. 240(3): 225-242.
- Van Der Knijff, J. M., Younis, J., and De Roo, A. P. J. (2010). LISFLOOD: a GIS-based distributed model for river basin scale water balance and flood simulation. **International Journal of Geographical Information Science**. 24(2): 189-212.

- Vincent, L., and Soille, P. (1991). Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**. 13(6): 583-598.
- Vis, M., Klijn, F., De Bruijn, K. M., and Van Buuren, M. (2003). Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. **International journal of river basin management**. 1(1): 33-40.
- Wang, C., Li, S., and Esaki, T. (2008). GIS-based two-dimensional numerical simulation of rainfall-induced debris flow. **Natural Hazards and Earth System Science**. 8(1): 47-58.
- Wang, K., Feng, X., Xiao, P., and Wu, G. (2009). The research on recognition and extraction of river feature in IKONOS based on frequency domain. In **Sixth International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition** (pp. 749533-749533). Yichang, China.
- Wang, L., and Liu, H. (2006). An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**. 20(2): 193-213.
- Wang, X., Gu, X., Wu, Z., and Wang, C. (2010). Simulation of flood inundation of Guiyang City using remote sensing, GIS and hydrologic model. In **Int Arch Photogramm Rem Sens Spat InfSci, ProcComm VIII, ISPRS Congress** (pp. 775-778). Beijing, China.
- Wang, X., and Li, C. (2009). River boundaries extraction in mountain areas for SAR images with fusing GIS information. In **Radar (Radar), 2011 IEEE CIE International Conference** (pp. 1586-1588). Chengdu, China: IEEE.
- Wang, Y., Huang, F., and Wei, Y. (2013). Water body extraction from LANDSAT ETM+ image using MNDWI and KT transformation. In **Geoinformatics (GEOINFORMATICS), 2013 21st International Conference** (pp. 1-5). Kaifeng, China: IEEE.
- Wang Z., Batelaan, O. and De Smedt, F. (1996). A distributed model for Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa). **Phys. Chem. Earth**. 21(3): 189-193.
- Ware, J. L. (2001). **Geospatial data fusion: Training gis for disaster relief operations**. National Geospatial Intelligence School.

- Weis, M., Müller, S., Liedtke, C. E., and Pahl, M. (2005). A framework for GIS and imagery data fusion in support of cartographic updating. **Information Fusion**. 6(4): 311-317.
- Wilson, J. P., and Gallant, J. C. (2000). **Terrain analysis: principles and applications**. United States: John Wiley and Sons Ltd.
- Xiao, M., Jia, Y., He, Z., and Chen, Y. (2008). Edge detection of riverway in remote sensing images based on curvelet transform and GVF Snake. In **Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences** (pp. 344-351). Shanghai, PR China.
- Xiao-feng, Z., and Cheng-tao, W. (2006). Digital Geometry Processing Applied in Customized Medical Implant Design. In **Proceeding of the Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the IEEE** (pp. 6041-6044). IEEE, Shanghai, China.
- Xiaoliang, W., Chunsheng, L., and Renbiao, W. (2011). River boundaries extraction in mountain areas for SAR images with fusing GIS information. In **Proceedings of IEEE CIE International Conference on Radar** (pp. 1586-1588). Chengdu, China.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**. 27(14): 3025-3033.
- Yahya, B. M., Devi, N. M., and Umrikar, B. (2010). Flood hazard mapping by integrated gis scs model. **International Journal of Geomatics and Geosciences**. 1(3): 489-500.
- Yalçın, M. A., Weiss, K., and De Floriani, L. (2011). GPU algorithms for diamond-based multiresolution terrain processing. In **Proceedings of the 11th Eurographics conference on Parallel Graphics and Visualization** (pp. 121-130). Llandudno, Wales: Eurographics Association.
- Yamada, Y., Tingsanchali, T., Khao-Uppatum, V., and Chompradist, C. (2004). Rapidly Flood Extent Mapping Server Design and Experiment using Mathematical Morphology Recognition and Cooperated Disaster Information Servers on the Internet. In **Proceeding or the ISPRS** (pp. 117-122). Istanbul, Turkey.

- Yu, X., He, H., Hu, D., and Zhou, W. (2014). Land cover classification of remote sensing imagery based on interval-valued data fuzzy c-means algorithm. **Science China Earth Sciences**. 57(6): 1306-1313.
- Yue, Y., Gong, J., and Wang, D. (2010). The extraction of water information based on SPOT5 image using object-oriented method. In **Proceeding of the Geoinformatics, 2010 18th International Conference on** (pp. 1-5). Beijing, China: IEEE.
- Zhang, D. W., Quan, J., Zhang, H. B., Wang, F., Wang, H., and He, X. Y. (2015). Flash flood hazard mapping: A pilot case study in Xiapu River Basin, China. **Water Science and Engineering**. 8(3): 195-204.
- Zhang, J. (2010). Multi-source remote sensing data fusion: status and trends. **International Journal of Image and Data Fusion**. 1(1): 5-24.
- Zhang, J., Zhou, C., Xu, K., and Watanabe, M. (2002). Flood disaster monitoring and evaluation in China. **Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards**. 4(2): 33-43.
- Zhang, S., and Pan, B. (2014). An urban storm-inundation simulation method based on GIS. **Journal of Hydrology**. 517(1): 260-268.
- Zhao, G. J., Gao, J. F., Tian, P., and Tian, K. (2009). Comparison of two different methods for determining flow direction in catchment hydrological modeling. **Water Science and Engineering**. 2(4): 1-15.
- Zhao, J., Yu, H., Gu, X., and Wang, S. (2010). The edge detection of river model based on self adaptive Canny Algorithm and connected domain segmentation. In **Proceeding of the Intelligent Control and Automation (WCICA), 2010 8th World Congress** (pp. 1333-1336). Jinan, China: IEEE.
- Zheng, N., Tachikawa, Y., and Takara, K. (2008). A distributed flood inundation model integrating with rainfall-runoff processes using GIS and remote sensing data. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences** (pp 1513-1518). Beijing, China.
- Zhou, Q., Pilesjö, P., and Chen, Y. (2011). Estimating surface flow paths on a digital elevation model using a triangular facet network. **Water Resources Research**. 47(7): 1-12.

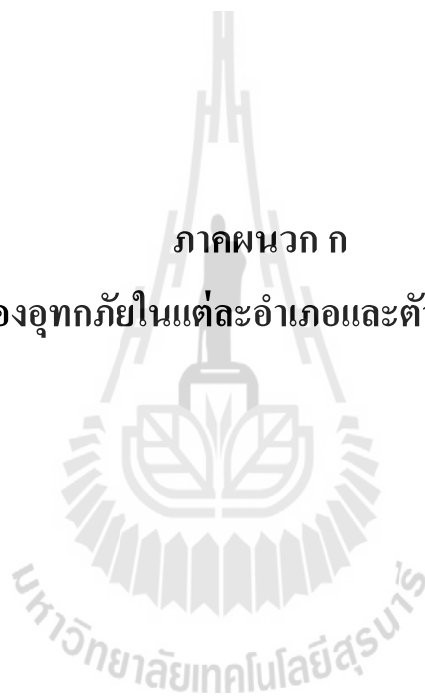
Zhu, L. (2007). Agricultural Flood Losses Prediction Based on Digital Elevation Model. In **Proceeding of the International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA 2007)** (pp. 754-761). Wuyishan, China.





ภาคผนวก ก

ผลการจำลองอุทกภัยในแต่ละอำเภอและตัวอย่างข้อมูลเรดาร์

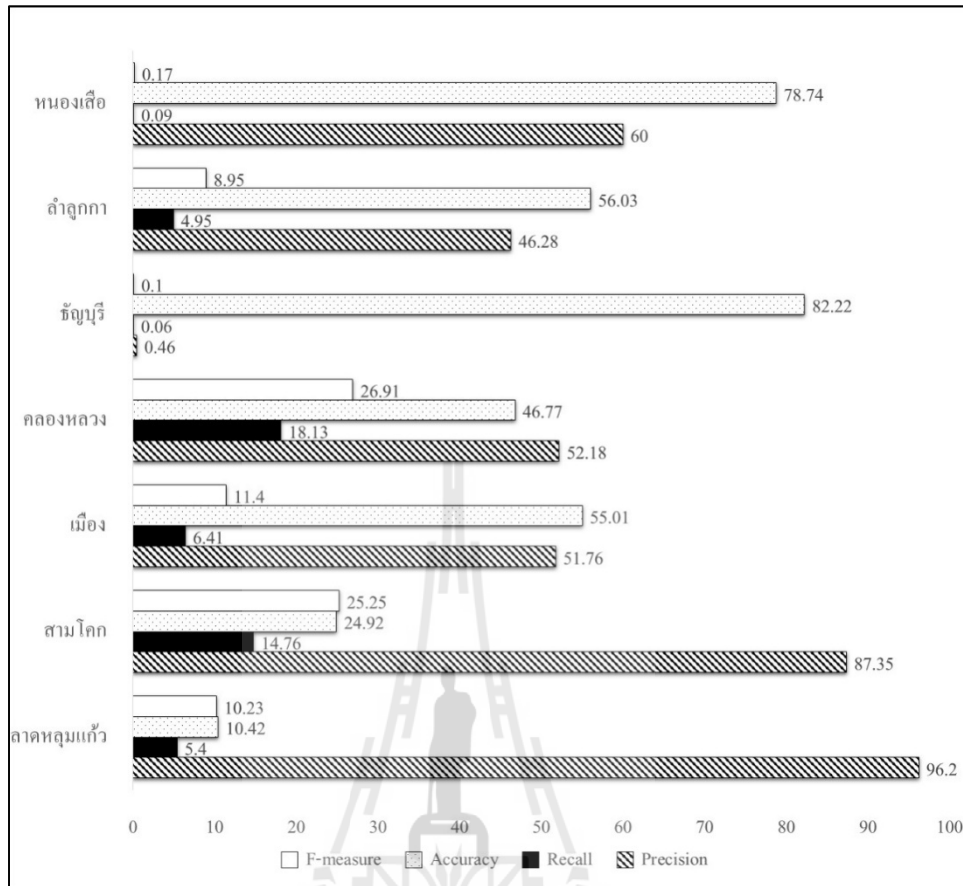


## 1. ผลการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ทิศทางการไหลด้วยวิธีการเดิม

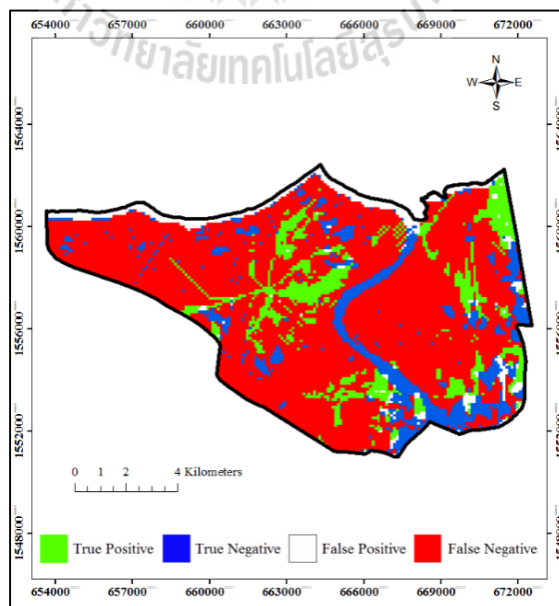
### 1.1 กรณีที่ใช้เฉพาะข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข

ผลการประเมินความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบผลการจำลองการเกิดอุทกภัยกับแผน ที่อุทกภัยในปี ค.ศ. 2011 กรณีใช้วิธีการเดิมซึ่งใช้เฉพาะข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความถูกต้องของการจำลองจำแนกในแต่ละอำเภอ ซึ่งประกอบด้วย 7 อำเภอ และความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด สำหรับความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในแต่ละ อำเภอ พบว่า มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 10.42% 24.92% 55.01% 46.77% 82.22% 56.03% และ 78.04% ความระลึกลับเท่ากับ 5.4% 14.76% 6.41% 18.13% 0.06% 4.95% และ 0.09% ค่าความแม่นยำ เท่ากับ 96.20% 87.35% 51.76% 52.18% 0.46% 46.28% และ 60% ค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 10.23% 25.25% 11.40% 26.91% 0.10% 8.95% และ 0.17% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของอำเภอลาดหลุมแก้ว สามโคก เมือง คลองหลวง ชัยบุรี ลำลูกกา และหนองเสือ ตามลำดับ แสดงผลการประเมินความ ถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ดังรูปที่ ก.1 และตัวอย่างผลการจำลองการเกิดอุทกภัยดังรูปที่ ก.2 จาก ผลการจำลองดังกล่าว พบว่า อำเภอที่พยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องมากที่สุดโดยใช้วิธีการนี้ คือ อำเภอชัยบุรี ส่วนอำเภอที่พยากรณ์ถูกต้องน้อยที่สุด คือ อำเภอลาดหลุมแก้ว เมื่อตรวจสอบข้อมูล การเกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง พบว่า อำเภอลาดหลุมแก้วเกิดอุทกภัยเกือบทั้งพื้นที่ ส่วนอำเภอชัยบุรีมี พื้นที่เกิดอุทกภัยน้อย แสดงให้เห็นว่าผลการพยากรณ์โดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการนี้ส่วน ใหญ่ถูกต้องในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และผลพยากรณ์ผิดพลาดในกรณีพยากรณ์ว่าเกิด อุทกภัย

สำหรับความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 52.29% ค่า ความแม่นยำเท่ากับ 59.42% ค่าความระลึกลับเท่ากับ 8.94% และค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 15.54% และ จากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขทำให้ผลการ พยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และผลพยากรณ์ผิดพลาดในกรณี พยากรณ์ว่าเกิดอุทกภัย



รูปที่ ก.1 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมในแต่ละอำเภอ

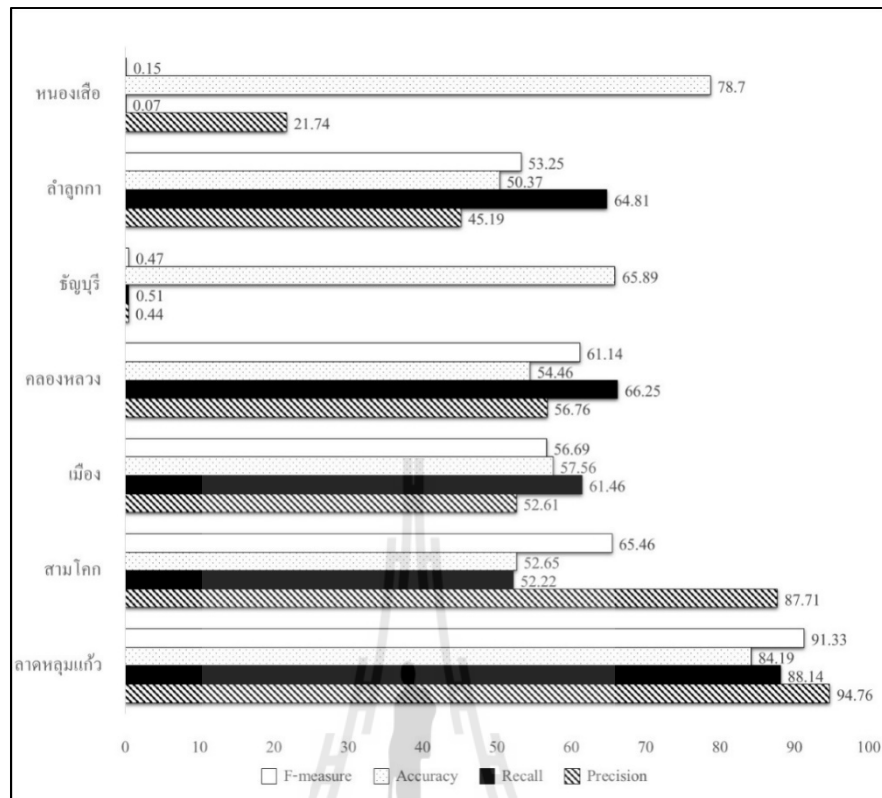


รูปที่ ก.2 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมอำเภอสามโคก

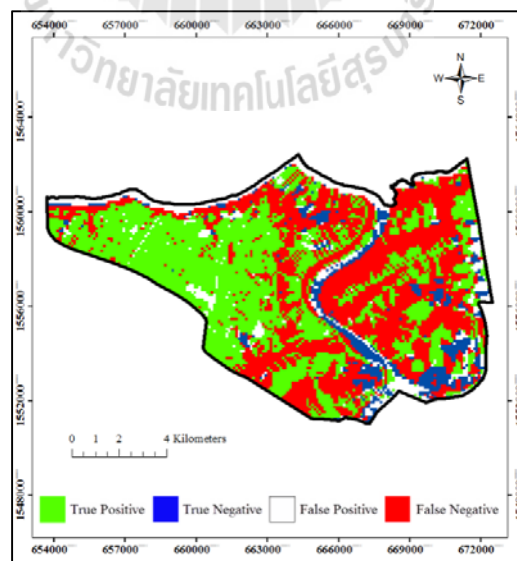
## 1.2 กรณีที่ใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขร่วมกับสตรีมเบิร์นนิ่งกรณีพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก

สำหรับผลการประเมินในกรณีใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข และเวกเตอร์แมพแม่น้ำสายหลักที่ได้จากการดิจิทัล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความถูกต้องของการจำลองจำแนกในแต่ละอำเภอ ซึ่งประกอบด้วย 7 อำเภอ และความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด สำหรับความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในแต่ละอำเภอ พบว่า มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 84.19% 52.65% 57.56% 54.46% 65.89% 50.37% และ 78.70% ความระลอกเท่ากับ 88.14% 52.22% 61.46% 66.25% 0.51% 64.81% และ 0.07% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 94.76% 87.71% 52.61% 56.76% 0.44% 45.19% และ 21.74% ค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 91.33% 65.46% 56.69% 61.14% 0.47% 53.25% และ 0.15% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของอำเภอลาดหลุมแก้ว สามโคก เมือง คลองหลวง ัญบุรี ลำลูกกา และหนองเสือ ตามลำดับ แสดงผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ดังรูปที่ ก.3 และตัวอย่างผลการจำลองการเกิดอุทกภัยดังรูปที่ ก.4 จากผลการจำลองดังกล่าว พบว่า อำเภอที่พยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องมากที่สุดโดยใช้วิธีการนี้ คือ อำเภอลาดหลุมแก้ว ส่วนอำเภอที่พยากรณ์ถูกต้องน้อยที่สุด คือ อำเภอลำลูกกา เมื่อตรวจสอบข้อมูลการเกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง พบว่า อำเภอลาดหลุมแก้วเกิดอุทกภัยเกือบทั้งพื้นที่ ส่วนอำเภอลำลูกกามีพื้นที่เกิดอุทกภัยค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าผลการพยากรณ์โดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการนี้ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย

สำหรับความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 63.28% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 63.28% ค่าความระลอกเท่ากับ 60.03% และค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 61.61% และจากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งด้วยแม่น้ำสายหลักถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม และผลการพยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย แต่ในพื้นที่บริเวณ อำเภอัญบุรี และ อำเภอหนองเสือ ผลที่ได้ยังมีความผิดพลาดทั้งสองกรณีตามลำดับ



รูปที่ ก.3 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง โดยใช้ข้อมูลแม่น้ำสายหลักในแต่ละอำเภอ

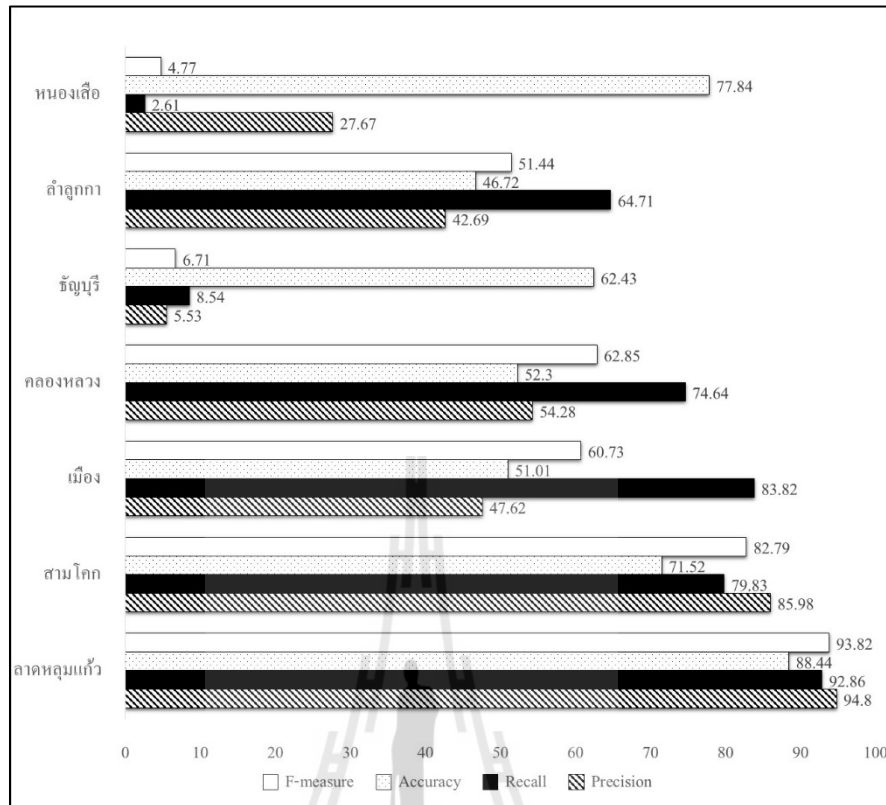


รูปที่ ก.4 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งโดยใช้ข้อมูลแม่น้ำสายหลักอำเภอสามโคก

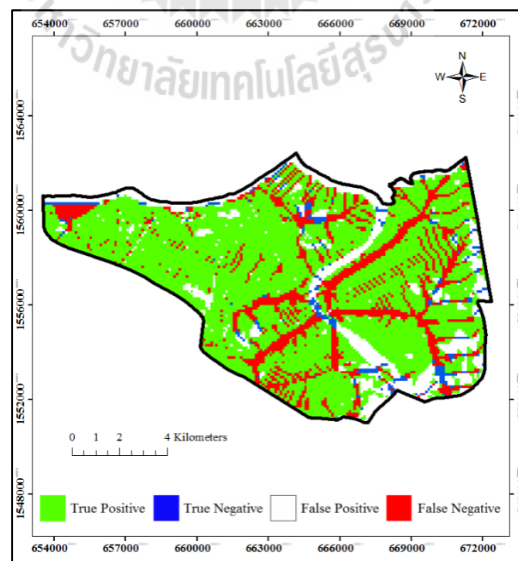
### 1.3 กรณีที่ใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขร่วมกับสตรีมเบิร์ตน์นิงกรณีพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย

สำหรับผลการประเมินในกรณีใช้วิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิงซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข และเวกเตอร์แมพแม่น้ำทั้งสายหลักและสายย่อยที่ได้จากการดิจิทัล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความถูกต้องของการจำลองจำแนกในแต่ละอำเภอ ซึ่งประกอบด้วย 7 อำเภอ และความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด สำหรับความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในแต่ละอำเภอ พบว่า มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 88.44% 71.52% 51.01% 52.30% 62.43% 46.72% และ 78.84% ความระลึกละกับ 92.86% 79.83% 83.82% 74.64% 8.54% 64.71% และ 2.61% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 94.80% 85.98% 47.62% 54.28% 5.53% 42.69% และ 27.67% ค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 93.82% 82.79% 60.73% 62.85% 6.71% 51.44% และ 4.77% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของอำเภอลาดหลุมแก้ว สามโคก เมืองคลองหลวง ัญบุรี ลำลูกกา และหนองเสือ ตามลำดับ แสดงผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ดังรูปที่ ก.5 และตัวอย่างผลการจำลองการเกิดอุทกภัยดังรูปที่ ก.6 จากผลการจำลองดังกล่าว พบว่า อำเภอที่พยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องมากที่สุดโดยใช้วิธีการนี้ คือ อำเภอลาดหลุมแก้ว ส่วนอำเภอที่พยากรณ์ถูกต้องน้อยที่สุด คือ อำเภอลำลูกกา เมื่อตรวจสอบข้อมูลการเกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง พบว่า อำเภอลาดหลุมแก้วเกิดอุทกภัยเกือบทั้งพื้นที่ ส่วนอำเภอลำลูกกา มีพื้นที่เกิดอุทกภัยค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าผลการพยากรณ์โดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการนี้ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย

สำหรับความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 63.02% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 60.80% ค่าความระลึกละกับ 69.44% และค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 64.84% และจากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิงด้วยแม่น้ำสายหลักและสายย่อยถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม แต่ใกล้เคียงกับวิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิงด้วยแม่น้ำสายหลัก และผลการพยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย เช่นเดียวกันสำหรับผลการจำลองอุทกภัยในพื้นที่บริเวณ อำเภอัญบุรี และ อำเภอหนองเสือ ผลที่ได้ยังมีความผิดพลาดทั้งสองกรณี สาเหตุความผิดพลาดอาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกจริงในแต่ละพื้นที่อาจมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากกระบวนการประมาณค่า



รูปที่ ก.5 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยในแต่ละอำเภอ



รูปที่ ก.6 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยอำเภอสามโคก

## 2. ผลการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ทิศทางการไหลด้วยวิธีการที่พัฒนา

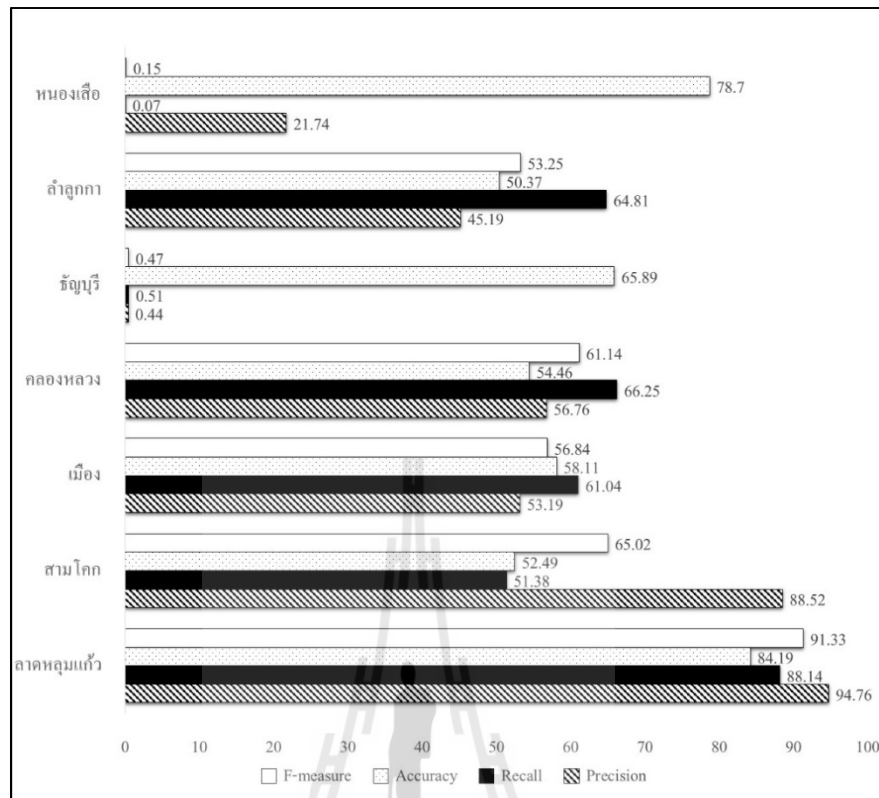
### 2.1 กรณีที่ใช้ทิศทางการไหลแบบที่ 1 ไม่พิจารณาเพื่อรองรับน้ำเอ่อ

#### 2.1.1 กรณีพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก

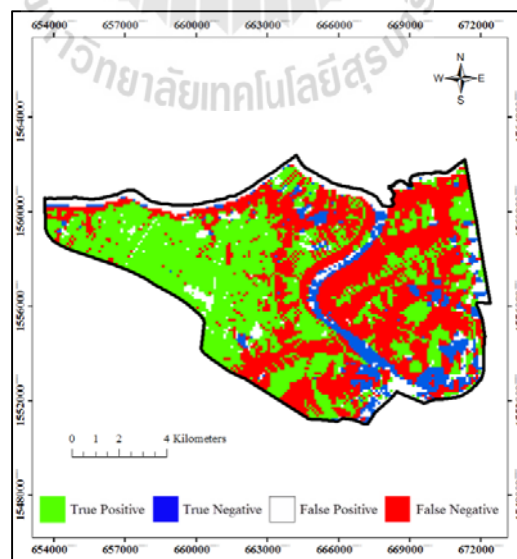
สำหรับผลการประเมินในกรณีใช้วิธีการที่พัฒนาซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขและแม่น้ำสายหลักที่ได้จากการจำแนกแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความถูกต้องของการจำลองจำแนกในแต่ละอำเภอ ซึ่งประกอบด้วย 7 อำเภอ และความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด สำหรับความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในแต่ละอำเภอ พบว่า มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 84.19% 52.49% 58.11% 54.46% 65.89% 50.37% และ 78.70% ความระลอกเท่ากับ 88.14% 51.38% 61.04% 66.25% 0.51% 64.81% และ 0.07% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 94.76% 88.52% 53.19% 56.76% 0.44% 45.19% และ 21.74% ค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 91.33% 65.02% 56.84% 61.14% 0.47% 53.25% และ 0.15% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของอำเภอลาดหลุมแก้ว สามโคก เมือง คลองหลวง ัญบุรี ลำลูกกา และหนองเสือ ตามลำดับ แสดงผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ดังรูปที่ ก.7 และตัวอย่างผลการจำลองการเกิดอุทกภัยดังรูปที่ ก.8 จากผลการจำลองดังกล่าว พบว่า อำเภอที่พยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องมากที่สุดโดยใช้วิธีการนี้ คือ อำเภอลาดหลุมแก้ว ส่วนอำเภอที่พยากรณ์ถูกต้องน้อยที่สุด คือ อำเภอลำลูกกา เมื่อตรวจสอบข้อมูลการเกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง พบว่า อำเภอลาดหลุมแก้วเกิดอุทกภัยเกือบทั้งพื้นที่ ส่วนอำเภอลำลูกกา มีพื้นที่เกิดอุทกภัยค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าผลการพยากรณ์โดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการนี้ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย

สำหรับความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 63.33% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 63.38% ค่าความระลอกเท่ากับ 59.91% และค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 61.60% และจากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการที่พัฒนาด้วยข้อมูลแม่น้ำสายหลักถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิมแต่ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการสตรีมเบิรน์นิง และผลการพยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย แต่ในพื้นที่บริเวณ อำเภอัญบุรี และอำเภอหนองเสือ ผลที่ได้ยังมีความผิดพลาดทั้งสองกรณี





รูปที่ ก.7 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีวิธีการที่พัฒนาโดยใช้เฉพาะแม่น้ำสายหลักในแต่ละอำเภอ

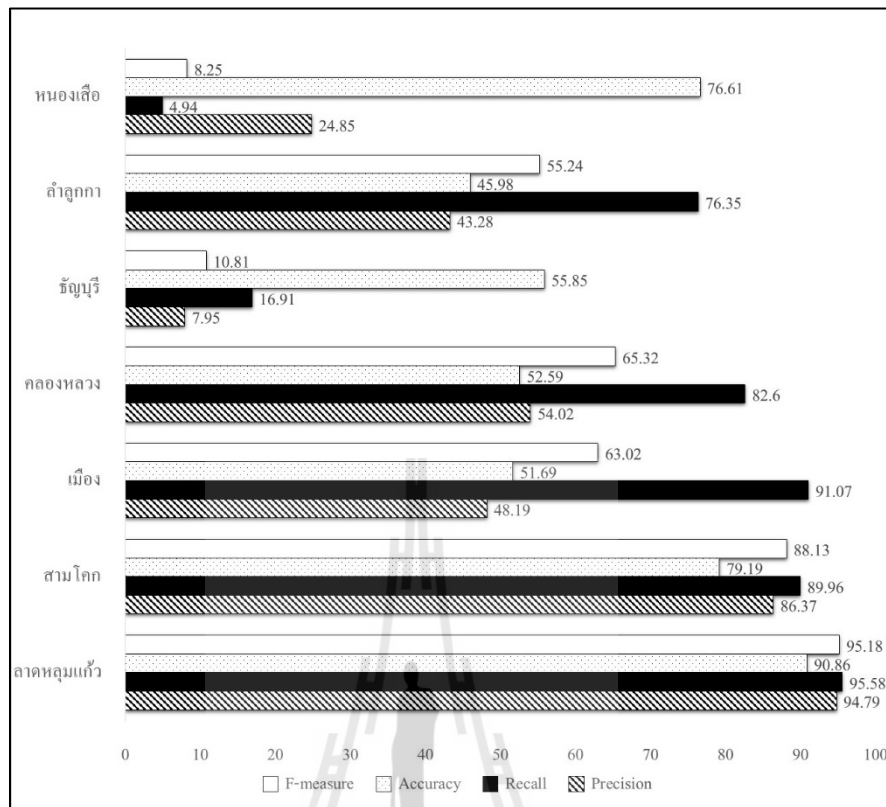


รูปที่ ก.8 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาโดยใช้เฉพาะแม่น้ำสายหลักอำเภอสามโคก

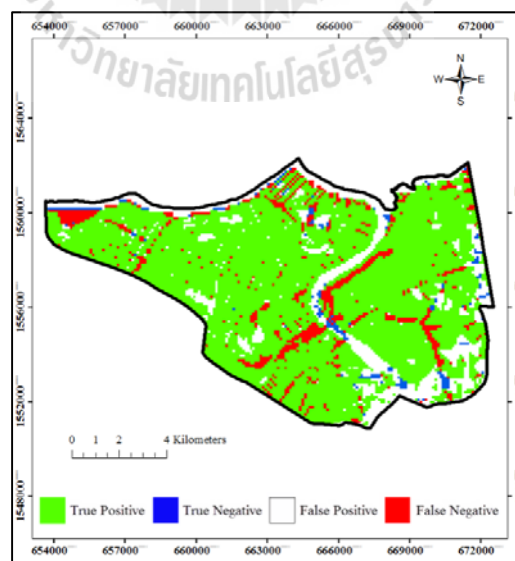
## 2.1.2 กรณีพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย

สำหรับผลการประเมินในกรณีใช้วิธีการที่พัฒนาซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขและแม่น้ำสายหลักและสายย่อยที่ได้จากการจำแนกแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความถูกต้องของการจำลองจำแนกในแต่ละอำเภอ ซึ่งประกอบด้วย 7 อำเภอ และความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด สำหรับความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในแต่ละอำเภอ พบว่า มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 90.86% 79.19% 51.69% 52.59% 55.85% 45.98% และ 76.61% ความระลึกละเอียดเท่ากับ 95.98% 89.86% 91.07% 82.60% 16.91% 76.35% และ 4.94% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 94.79% 86.37% 48.19% 54.02% 7.95% 43.28% และ 24.85% ค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 95.18% 88.13% 63.02% 65.32% 10.81% 55.24% และ 8.25% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของอำเภอลาดหลุมแก้ว สามโคก เมือง คลองหลวง ัญบุรี ลำลูกกา และหนองเสือตามลำดับ แสดงผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ดังรูปที่ ก.9 และตัวอย่างผลการจำลองการเกิดอุทกภัยดังรูปที่ ก.10 จากผลการจำลองดังกล่าว พบว่า อำเภอที่พยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องมากที่สุดโดยใช้วิธีการนี้ คือ อำเภอลาดหลุมแก้ว ส่วนอำเภอที่พยากรณ์ถูกต้องน้อยที่สุด คือ อำเภอลำลูกกา เมื่อตรวจสอบข้อมูลการเกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง พบว่า อำเภอลาดหลุมแก้วเกิดอุทกภัยเกือบทั้งพื้นที่ ส่วนอำเภอลำลูกกามีพื้นที่เกิดอุทกภัยค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าผลการพยากรณ์โดยใช้ทิศทางไหลที่ได้จากวิธีการนี้ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย

สำหรับความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 63.05% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 59.69% ค่าความระลึกละเอียดเท่ากับ 76.18% และค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 66.94% และจากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการที่พัฒนาด้วยข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อยถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม แต่ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการสตรีมเบรินนิง และผลการพยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย แต่ในพื้นที่บริเวณอำเภอัญบุรี และอำเภอหนองเสือ ผลที่ได้ยังมีความผิดพลาดทั้งสองกรณี



รูปที่ ก.9 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการที่พัฒนาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยในแต่ละอำเภอ

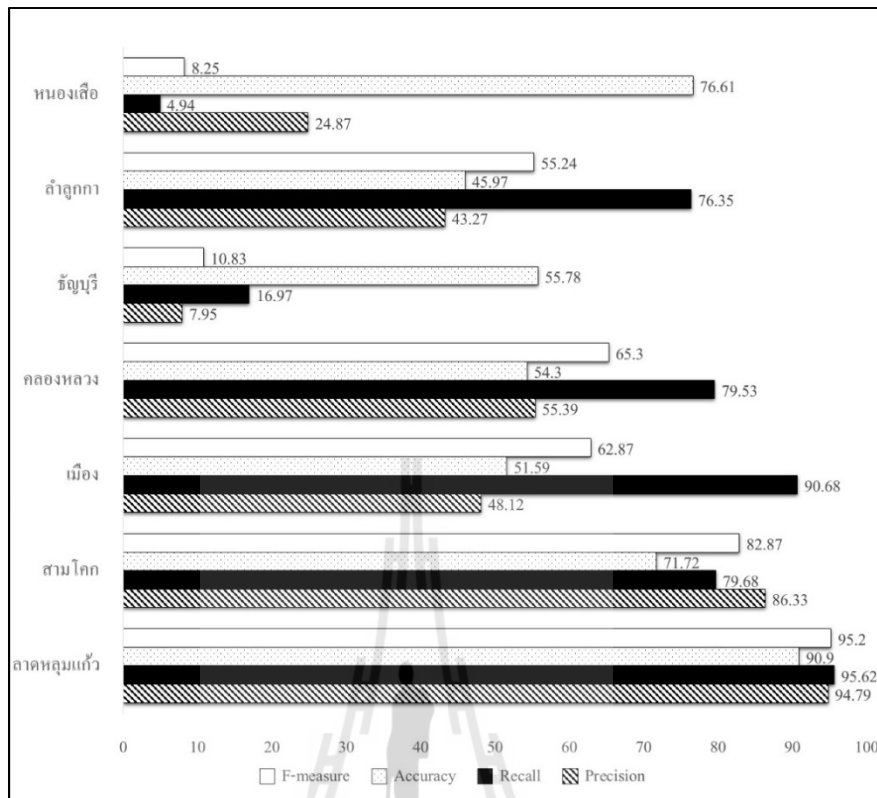


รูปที่ ก.10 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยอำเภอสามโคก

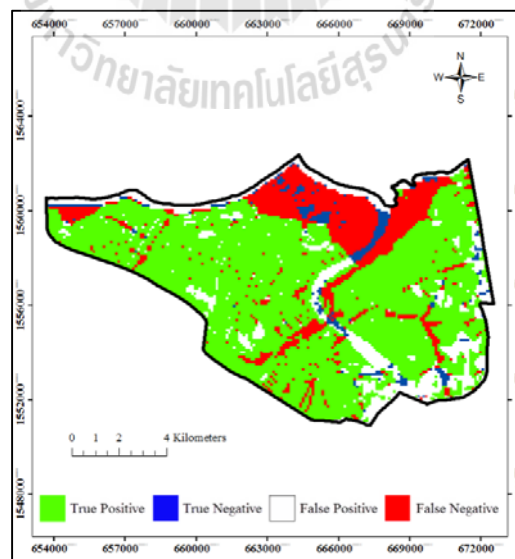
## 2.2 กรณีที่ใช้ทิศทางการไหลแบบที่ 2 พิจารณาเพื่อให้รองรับน้ำเอ่อโดยใช้วิธีการเพิ่มความสูง

สำหรับผลการประเมินในกรณีใช้วิธีการที่พัฒนาซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข และแม่น้ำสายหลักและสายย่อยที่ได้จากการจำแนกแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข โดยพิจารณากรณีน้ำเอ่อโดยวิธีเพิ่มความสูง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความถูกต้องของการจำลองจำแนกในแต่ละอำเภอ ซึ่งประกอบด้วย 7 อำเภอ และความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด สำหรับความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในแต่ละอำเภอ พบว่า มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 90.90% 71.72% 51.59% 54.30% 55.78% 45.97% และ 76.61% ความระลอกเท่ากับ 95.62% 79.68% 90.68% 79.53% 16.97% 76.35% และ 4.94% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 94.79% 86.33% 48.12% 55.39% 7.95% 43.27% และ 24.87% ค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 95.20% 82.87% 62.87% 65.30% 10.83% 55.24% และ 8.25% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของอำเภอลาดหลุมแก้ว สามโคก เมือง คลองหลวง ชัยบุรี ลำลูกกา และหนองเสือ ตามลำดับ แสดงผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ดังรูปที่ ก.11 และตัวอย่างผลการจำลองการเกิดอุทกภัยดังรูปที่ ก.12 จากผลการจำลองดังกล่าว พบว่า อำเภอที่พยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องมากที่สุด โดยใช้วิธีการนี้ คือ อำเภอลาดหลุมแก้ว ส่วนอำเภอที่พยากรณ์ถูกต้องน้อยที่สุด คือ อำเภอลำลูกกา เมื่อตรวจสอบข้อมูลการเกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง พบว่า อำเภอลาดหลุมแก้วเกิดอุทกภัยเกือบทั้งพื้นที่ ส่วนอำเภอลำลูกกามีพื้นที่เกิดอุทกภัยค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าผลการพยากรณ์โดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการนี้ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย

สำหรับความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 62.84% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 59.80% ค่าความระลอกเท่ากับ 74.14% และค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 66.20% และจากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการที่พัฒนาด้วยข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อย โดยใช้วิธีการเพิ่มความสูงกรณีพิจารณาน้ำเอ่อถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม แต่ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการสตรีมเบรินนิง และผลการพยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย แต่ในพื้นที่บริเวณ อำเภอชัยบุรี และอำเภอหนองเสือ ผลที่ได้ยังมีความผิดพลาดทั้งสองกรณี จากการพิจารณาผลการจำลองอุทกภัยกรณีน้ำเอ่อโดยการเพิ่มความสูง พบว่า ผลที่ได้แตกต่างจากกันน้อยกว่ากรณีไม่พิจารณาน้ำเอ่อ ซึ่งผลที่ได้จากการพิจารณาน้ำเอ่อด้วยการเพิ่มความสูง ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความถูกต้อง ความแม่นยำ ความระลอก และอัตราการรู้จำ ลดลงจากเดิมที่ไม่พิจารณกรณีน้ำเอ่อแสดงผลการจำลองการเกิดอุทกภัยดังรูปที่ 4.43



รูปที่ ก.11 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการที่พัฒนา และวิธีการเพิ่มค่าความสูงโดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยในแต่ละอำเภอ

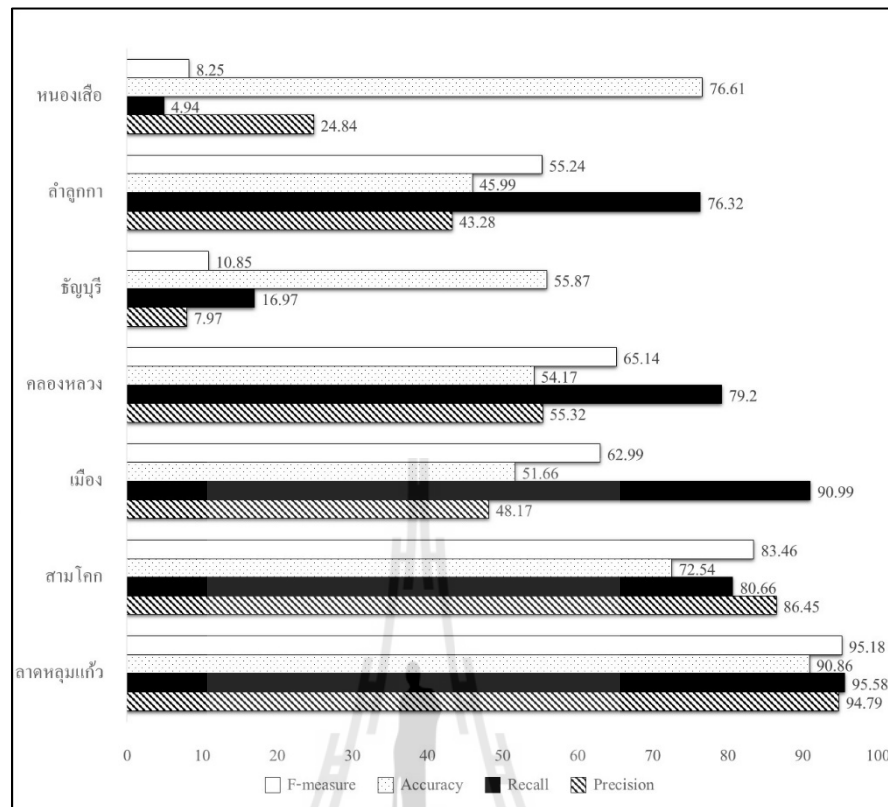


รูปที่ ก.12 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาและวิธีการเพิ่มค่าความสูงโดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยอำเภอสามโคก

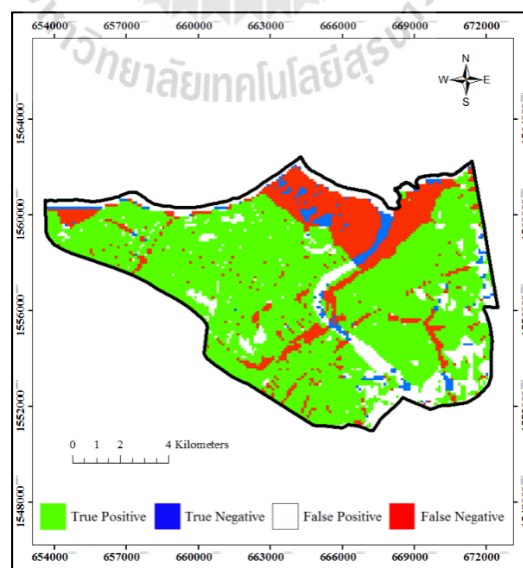
### 2.3 กรณีที่ใช้ทิศทางการไหลแบบที่ 3 พิจารณาเพื่อให้รองรับน้ำเอ่อโดยใช้วิธีการลดค่าความสูง

สำหรับผลการประเมินในกรณีใช้วิธีการที่พัฒนาซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข และแม่น้ำสายหลักและสายย่อยที่ได้จากการจำแนกแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข โดยพิจารณากรณีน้ำเอ่อโดยวิธีลดค่าความสูง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความถูกต้องของการจำลองจำแนกในแต่ละอำเภอ ซึ่งประกอบด้วย 7 อำเภอ และความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด สำหรับความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยในแต่ละอำเภอ พบว่า มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 90.86% 72.54% 51.66% 54.17% 55.87% 45.99% และ 76.61% ความระลอกเท่ากับ 95.58% 80.66% 90.99% 79.20% 16.97% 76.32% และ 4.94% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 94.79% 86.33% 48.12% 55.39% 7.95% 43.27% และ 24.87% ค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 95.18% 83.46% 62.99% 65.14% 10.85% 55.24% และ 8.25% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของอำเภอลาดหลุมแก้ว สามโคก เมือง คลองหลวง ัญบุรี ลำลูกกา และหนองเสือ ตามลำดับ แสดงผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัย ดังรูปที่ ก.13 และตัวอย่างผลการจำลองการเกิดอุทกภัยดังรูปที่ ก.14 จากผลการจำลองดังกล่าว พบว่า อำเภอที่พยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องมากที่สุด โดยใช้วิธีการนี้ คือ อำเภอลาดหลุมแก้ว ส่วนอำเภอที่พยากรณ์ถูกต้องน้อยที่สุด คือ อำเภอลำลูกกา เมื่อตรวจสอบข้อมูลการเกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นจริง พบว่า อำเภอลาดหลุมแก้วเกิดอุทกภัยเกือบทั้งพื้นที่ ส่วนอำเภอลำลูกกามีพื้นที่เกิดอุทกภัยค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าผลการพยากรณ์โดยใช้ทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการนี้ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย

สำหรับความถูกต้องในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 62.92% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 59.86% ค่าความระลอกเท่ากับ 74.25% และค่าอัตราการรู้จำเท่ากับ 66.28% และจากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการที่พัฒนาด้วยข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อย โดยใช้วิธีการลดค่าความสูงกรณีพิจารณาน้ำเอ่อถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม แต่ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการสตรีมเบรินนิง และผลการพยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย แต่ในพื้นที่บริเวณ อำเภอัญบุรี และอำเภอหนองเสือ ผลที่ได้ยังมีความผิดพลาดทั้งสองกรณี จากการพิจารณาผลการจำลองอุทกภัยกรณีน้ำเอ่อโดยการเพิ่มค่าความสูง พบว่า ผลที่ได้แตกต่างจากกันน้อยกว่ากรณีไม่พิจารณาน้ำเอ่อ ซึ่งผลที่ได้จากการพิจารณาน้ำเอ่อด้วยการลดค่าความสูง ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความถูกต้อง ความแม่นยำ ความระลอก และอัตราการรู้จำ ลดลงจากเดิมที่ไม่พิจารณากรณีน้ำเอ่อ



รูปที่ ก.13 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยกรณีด้วยวิธีการที่พัฒนาและวิธีการลดค่าความสูงโดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยในแต่ละอำเภอ



รูปที่ ก.14 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนาและวิธีการลดค่าความสูงโดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยอำเภอสามโคก

จากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยพิจารณาน้ำเอ่อ โดยใช้ 2 วิธี ได้แก่ การเพิ่มค่าความสูง และการลดค่าความสูง ผลที่ได้ พบว่า ทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งไม่แตกต่างจากกรณีที่ไม่มีการพิจารณากรณีน้ำเอ่อ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา คือ ความสูงของพื้นที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์ทิศทางการไหลกรณีน้ำเอ่อ โดยใช้ค่าความสูงเป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ จึงไม่มีผลต่อพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์โดยพิจารณาน้ำเอ่อโดยใช้ค่าความสูงภูมิประเทศ นอกจากนี้จากการศึกษาการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยพิจารณาน้ำเอ่อ พบว่า วิธีการเพิ่มค่าความสูงไม่เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ภูมิประเทศที่เป็นที่ราบ เพราะผลจากการวิเคราะห์ส่งผลให้พื้นที่ซึ่งราบอยู่แล้ว เกิดพื้นที่ราบเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการวิเคราะห์น้ำเอ่อในพื้นที่ราบควรใช้วิธีการลดค่าความสูง อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการลดค่าความสูงมีข้อควรระวัง คือ การลดค่าความสูงไม่ได้ลดค่าความสูงเฉพาะบริเวณพื้นที่ซึ่งเกิดปัญหา แต่ยังส่งผลกระทบต่อบริเวณพื้นที่รอบข้างด้วย ซึ่งจะทำให้กระทบต่อความถูกต้องของค่าความสูงที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์

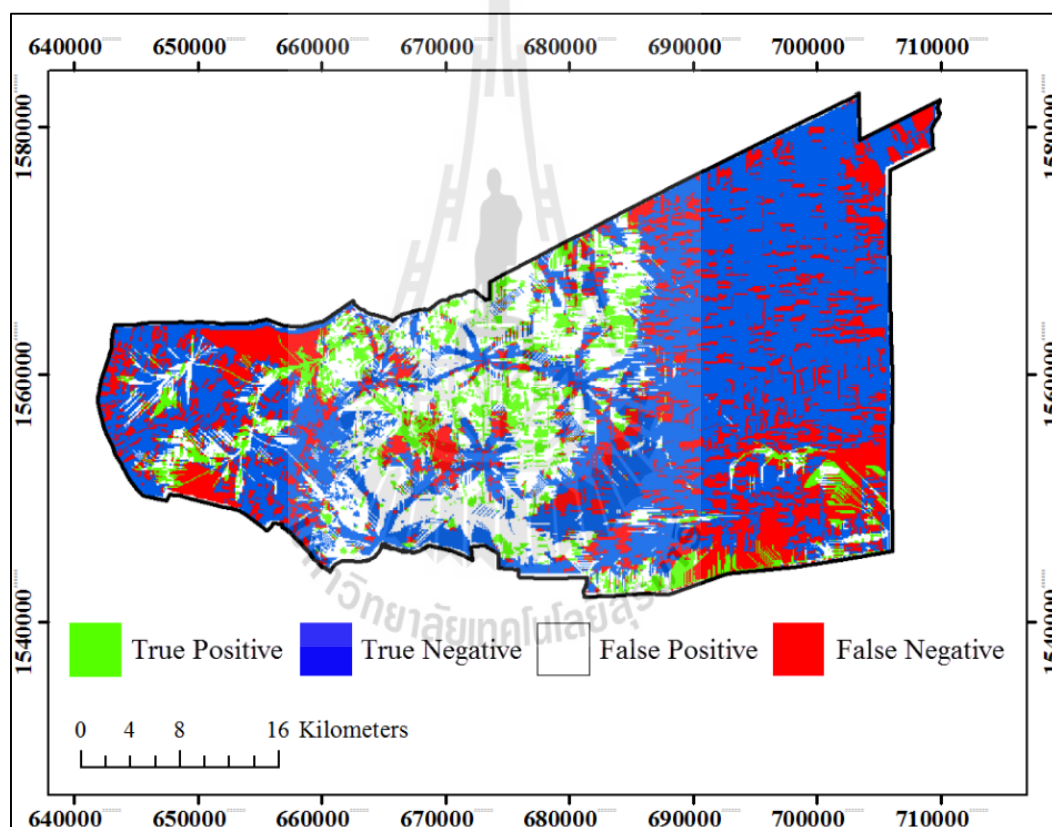
### 3. ผลการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ทิศทางการไหลด้วยวิธีการที่พัฒนาของปี ค.ศ. 2006 และ ค.ศ. 2010

เนื่องจากการเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2011 เป็นอุทกภัยซึ่งไม่ได้เกิดจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกินหรือฝนตกมากผิดปกติในพื้นที่เป็นปัจจัยหลักเพียงปัจจัยเดียว แต่อุทกภัยดังกล่าวเกิดขึ้นเพราะมีปัจจัยอื่น ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ไหลมาจากตอนบนของพื้นที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการพิจารณาปัจจัยดังกล่าว ดังนั้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ทิศทางการไหลสำหรับการจำลองอุทกภัยที่พัฒนาขึ้นจึงจำลองการเกิดอุทกภัยในปีอื่น ได้แก่ ปี ค.ศ. 2006 และ ปี ค.ศ. 2010 ซึ่งการเกิดอุทกภัยในปี ค.ศ. 2006 มีลักษณะคล้ายกับปี 2011 คือ เป็นมหาอุทกภัยที่มีพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยเกือบทั้งจังหวัด ความเสียหายอยู่ในระดับสูงมาก เนื่องมาจากผลกระทบที่ส่งผลมาจากพื้นที่ตอนบนของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยการบริหารจัดการปริมาณน้ำ ส่วนการเกิดอุทกภัยปี ค.ศ. 2010 เป็นอุทกภัยซึ่งแตกต่างจาก 2 ปีดังกล่าว การเกิดอุทกภัยของปีดังกล่าวเป็นอุทกภัยที่เกิดในพื้นที่ซึ่งมีความถี่ในการเกิดอุทกภัยแบบดังกล่าวค่อนข้างบ่อย

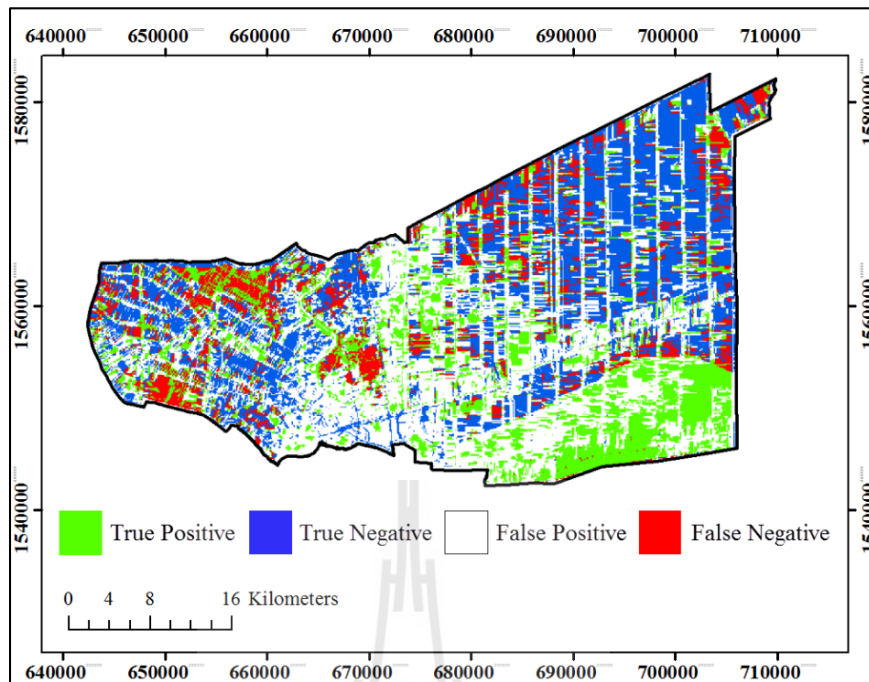


### 3.1 ผลการจำลองอุทกภัยปี ค.ศ. 2006

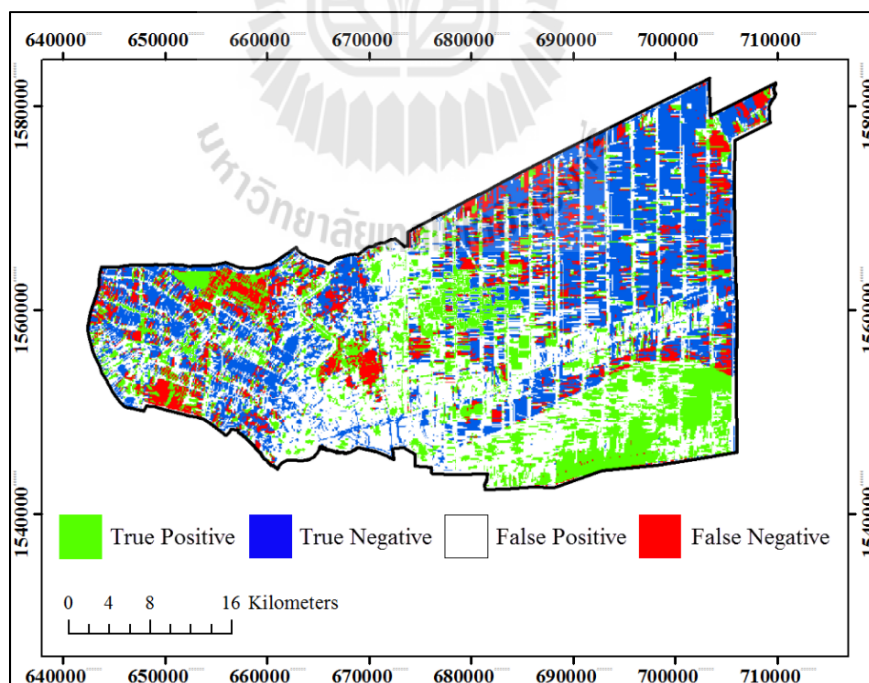
สำหรับผลการประเมินการจำลองอุทกภัยในปี ค.ศ. 2006 ในกรณีใช้วิธีการที่พัฒนาซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข และแม่น้ำสายหลักและสายย่อยที่ได้จากการจำแนกแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข พบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 65.87% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 33.80% ค่าความระลึกลับเท่ากับ 59.36% และค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 43.08% และจากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการที่พัฒนาด้วยข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อยถูกต้องใกล้เคียงกับปี ค.ศ. 2011 และผลการพยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย



รูปที่ ก.15 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมปี ค.ศ. 2006



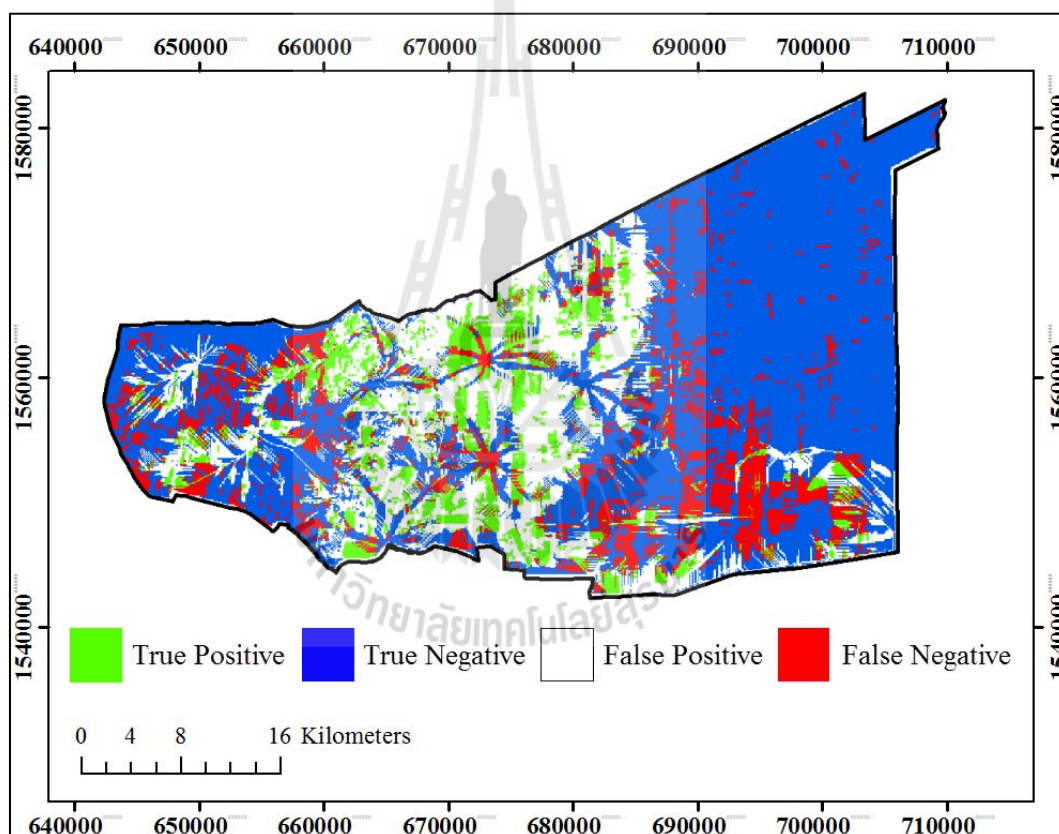
รูปที่ ก.16 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตริมเบิร์กทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย  
ปี ค.ศ. 2006



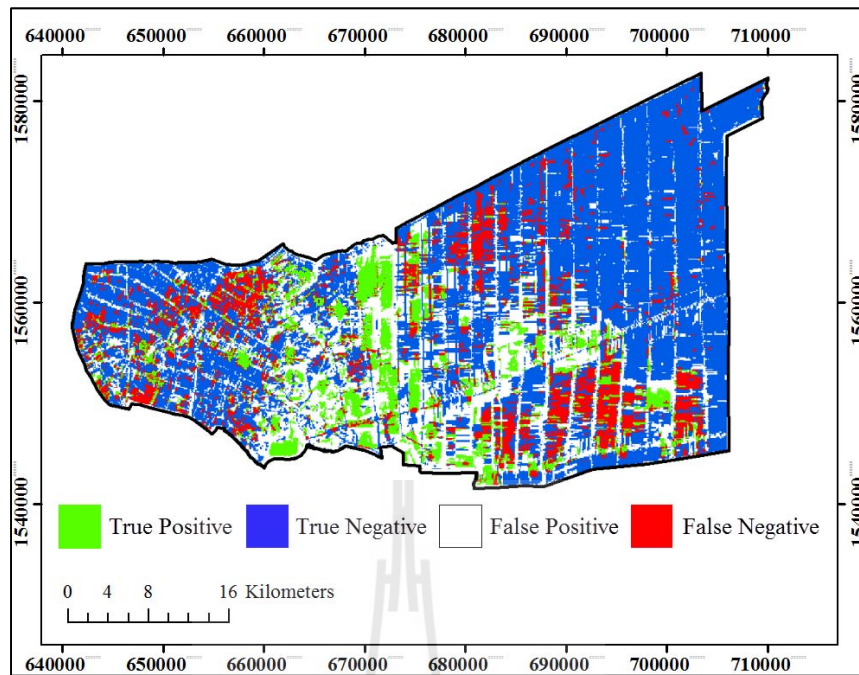
รูปที่ ก.17 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนา โดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย  
ปี ค.ศ. 2006

### 3.2 ผลการจำลองอุทกภัยปี ค.ศ. 2010

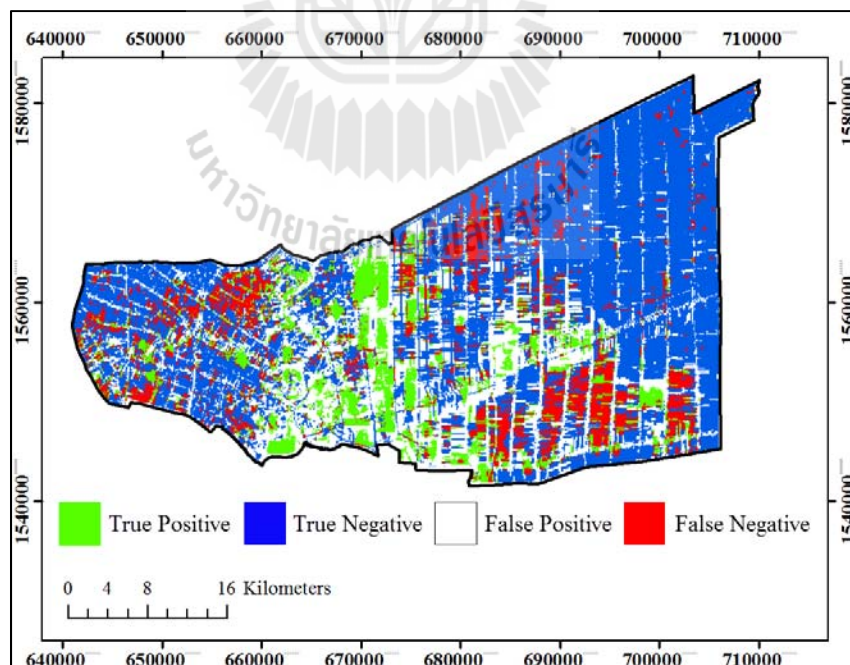
สำหรับผลการประเมินการจำลองอุทกภัยในปี ค.ศ. 2010 ในกรณีใช้วิธีการที่พัฒนาซึ่งใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข และแม่น้ำสายหลักและสายย่อยที่ได้จากการจำแนกแม่น้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลขพบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 77.86% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 33.57% ค่าความระลึกลับเท่ากับ 53.12% และค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 41.14% และจากการวิเคราะห์ พบว่า ความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการที่พัฒนาด้วยข้อมูลแม่น้ำสายหลักและสายย่อยถูกต้องมากกว่าปี ค.ศ. 2011 และผลการพยากรณ์ส่วนใหญ่ถูกต้องทั้งในกรณีพยากรณ์ว่าไม่เกิดอุทกภัย และเกิดอุทกภัย



รูปที่ ก.18 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการเดิมปี ค.ศ. 2010



รูปที่ ก.19 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย  
ปี ค.ศ. 2010



รูปที่ ก.20 ผลการจำลองอุทกภัยด้วยวิธีการที่พัฒนา โดยใช้ทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย  
ปี ค.ศ. 2010

จากการวิเคราะห์ความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานี ปี ค.ศ. 2011 โดยประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ในแต่ละอำเภอโดยใช้ 7 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิมวิธีการ สตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลักวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังนี้

**อำเภอลาดหลุมแก้ว** เมื่อพิจารณาผลการจำลองการเกิดอุทกภัย พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 90% ส่วนวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขพิกัดการเกิดอุทกภัยถูกต้องเพียง 10%

**อำเภอสามโคก** เมื่อพิจารณาผลการจำลองการเกิดอุทกภัย พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 79% ส่วนวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขพิกัดการเกิดอุทกภัยถูกต้องเพียง 24%

**อำเภอเมือง** เมื่อพิจารณาผลการจำลองการเกิดอุทกภัย พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 51% ส่วนวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขพิกัดการเกิดอุทกภัยถูกต้องประมาณ 55% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความระลึก พบว่า 3 วิธีดังกล่าวมีค่าความระลึกประมาณ 90% แต่วิธีการเดิมมีค่าความระลึกเพียง 6%

**อำเภอคลองหลวง** เมื่อพิจารณาผลการจำลองการเกิดอุทกภัย พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 54% ส่วนวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขพิกัดการเกิดอุทกภัยถูกต้องประมาณ 46% อย่างไรก็ตาม



เมื่อพิจารณาค่าความระลึก พบว่า 3 วิธีดังกล่าวมีค่าความระลึกประมาณ 80% แต่วิธีการเดิมมีค่าความระลึกเพียง 26%

**อำเภอชัยบุรี** เมื่อพิจารณาผลการจำลองการเกิดอุทกภัย พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 55% ส่วนวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขพิกัดการเกิดอุทกภัยถูกต้องถึง 82% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ พบว่า 3 วิธีดังกล่าวมีค่าความระลึกประมาณ 16.97% แต่วิธีการเดิมมีค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำน้อยกว่า 1% แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองมีความผิดพลาดสูงมากในกรณีที่เกิดอุทกภัยพื้นที่ดังกล่าวเกิดอุทกภัยจริง แต่จากการจำลองผลลัพธ์ที่ได้ คือ ไม่เกิดอุทกภัย สำหรับในส่วนผลการจำลองว่าไม่เกิดอุทกภัย และพื้นที่ดังกล่าวไม่เกิดอุทกภัยจริงมีความถูกต้องสูง ซึ่งจากวิเคราะห์ผลการจำลองการเกิดอุทกภัยของอำเภอชัยบุรี พบว่า ความผิดพลาดดังกล่าวอาจมีผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนที่นำมาใช้ในการทดสอบยังไม่ละเอียดมากพอ เช่นเดียวกับผลลัพธ์ของอำเภอหนองเสือ

**อำเภอลำลูกกา** เมื่อพิจารณาผลการจำลองการเกิดอุทกภัย พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 46% ส่วนวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขพิกัดการเกิดอุทกภัยถูกต้องประมาณ 56% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความระลึก พบว่า 3 วิธีดังกล่าวมีค่าความระลึกประมาณ 76% แต่วิธีการเดิมมีค่าความระลึกเพียง 4%

**อำเภอหนองเสือ** เมื่อพิจารณาผลการจำลองการเกิดอุทกภัย พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการเดิม โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 78% ส่วนวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง พิกัดการเกิดอุทกภัยถูกต้อง 76% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความแม่นยำ พบว่า 3 วิธีดังกล่าวมีค่าความแม่นยำเพียง 25% แต่วิธีการเดิมมีค่าความระลึกถึง 60% ส่วนค่าความระลึกทุกวิธีให้

ผลลัพธ์ที่มีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองมีความผิดพลาดสูงมากในกรณีที่เกิดอุทกภัยพื้นที่ดังกล่าวเกิดอุทกภัยจริง แต่จากการจำลองผลลัพธ์ที่ได้ คือ ไม่เกิดอุทกภัย ซึ่งจากวิเคราะห์ผลการจำลองการเกิดอุทกภัยของอำเภอชัยบุรี พบว่า การจำลองทุกรูปแบบที่มีการทดลองในงานวิจัยนี้ ผลลัพธ์ที่ได้ของอำเภอหนองเสือยังไม่สามารถจำลองให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องสูงในกรณีที่พื้นที่ดังกล่าวเกิดอุทกภัยซึ่งความผิดพลาดในส่วนนี้อาจเกิดจากปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณน้ำฝนที่ตกจริงในแต่ละพื้นที่อาจมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากกระบวนการประมาณค่า เช่นบางพื้นที่ฝนตกหนัก บางพื้นที่ฝนตกน้อย ทำให้เมื่อประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดฝนเพียงสถานีเดียวในพื้นที่อาจไม่เพียงพอ แสดงผลลัพธ์การจำลองโดยซ้อนทับตำแหน่งจุดตรวจวัดปริมาณน้ำฝนดังรูปที่ 4.63 ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับการประมาณค่าปริมาณน้ำฝน โดยอาจพิจารณาการประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศร่วมด้วย เพราะข้อดีของข้อมูลเรดาร์ คือ สามารถทราบข้อมูลแบบเรียลไทม์ อีกทั้งข้อมูลที่ได้มีความละเอียดมากกว่า แสดงตัวอย่างข้อมูลเรดาร์ในภาคผนวก ก ในรูปที่ ก.25

ตารางที่ ก.1 เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยแต่ละอำเภอในปี ค.ศ. 2011

วิธีการ		1	2	3	4	5	6	7
ลาดหลุมแก้ว	Accuracy	10.42	84.19	88.44	84.19	90.86	90.90	90.86
	Precision	96.20	94.76	94.80	94.76	94.79	94.79	94.79
	Recall	5.40	88.14	92.86	88.14	95.98	95.62	95.58
	F-measure	10.23	91.33	93.82	91.33	95.18	95.20	95.18
สามโคก	Accuracy	24.92	52.65	71.52	52.49	79.19	71.72	72.54
	Precision	87.35	87.71	85.98	88.52	86.37	86.33	86.45
	Recall	14.76	52.22	79.83	51.38	89.86	79.68	80.66
	F-measure	25.20	65.46	82.79	65.04	88.13	82.87	83.46
เมือง	Accuracy	55.01	57.56	51.01	58.11	51.69	51.59	51.66
	Precision	51.76	52.61	47.62	53.19	48.19	48.12	48.17
	Recall	6.41	61.46	83.82	61.04	91.07	90.68	90.99
	F-measure	11.40	56.69	60.73	56.84	63.02	62.87	62.99

ตารางที่ ก.1 เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยแต่ละอำเภอในปี ค.ศ. 2011(ต่อ)

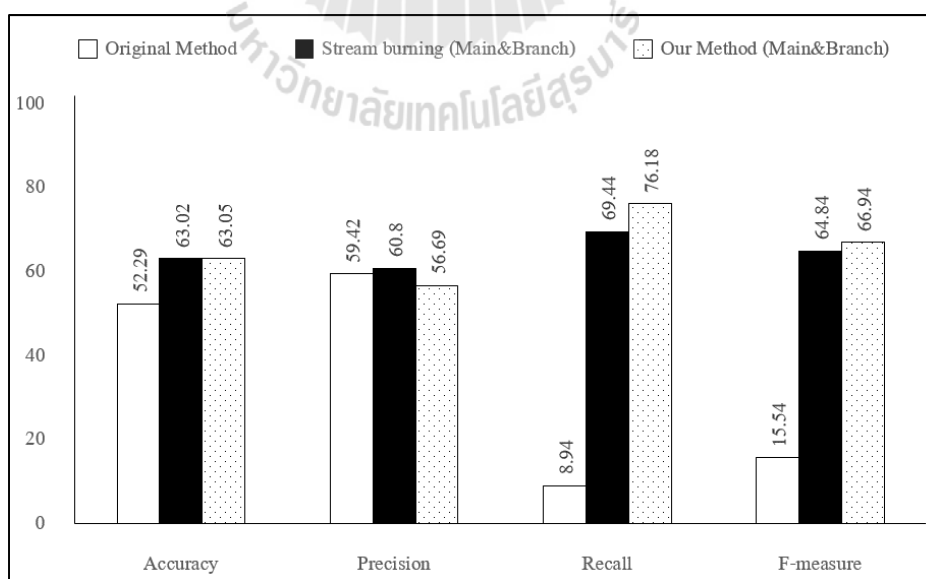
วิธีการ		1	2	3	4	5	6	7
คลองหลวง	Accuracy	46.77	54.46	52.30	54.46	52.59	54.30	54.17
	Precision	52.18	56.76	54.28	56.76	54.02	55.39	55.32
	Recall	18.13	66.25	74.64	66.25	82.60	79.55	79.20
	F-measure	26.91	61.14	62.85	61.14	65.32	65.30	65.14
ชัยบุรี	Accuracy	82.22	65.89	62.43	65.89	55.85	55.78	55.87
	Precision	0.46	0.44	5.53	0.44	7.95	7.95	7.95
	Recall	0.06	0.51	8.54	0.51	16.91	16.97	16.97
	F-measure	0.10	0.47	6.71	0.47	10.81	10.83	10.85
ลำลูกกา	Accuracy	56.03	50.37	46.72	50.37	45.98	45.97	45.99
	Precision	46.28	45.19	42.69	45.19	43.28	43.27	43.28
	Recall	4.95	64.81	64.71	64.81	76.35	76.35	76.32
	F-measure	8.9	53.25	51.44	53.25	55.24	55.24	55.24
หนองเสือ	Accuracy	78.84	78.70	77.84	78.70	76.61	76.61	76.61
	Precision	60.00	21.74	27.67	21.74	24.85	24.87	24.84
	Recall	0.09	0.07	2.61	0.07	4.94	4.94	4.94
	F-measure	0.17	0.15	4.77	0.15	8.25	8.25	8.25

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานี ปี ค.ศ. 2011 โดยประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ในภาพรวมทั้งจังหวัดโดยใช้ 7 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิม วิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิง โดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก วิธีการสตรีมเบิร์ตน์นิง โดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาเฉพาะแม่น้ำสายหลัก วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง ซึ่งผลการประเมิน พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการเพิ่มค่าความสูง และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยร่วมกับวิธีการลดค่าความสูง โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 62% ส่วนวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูง

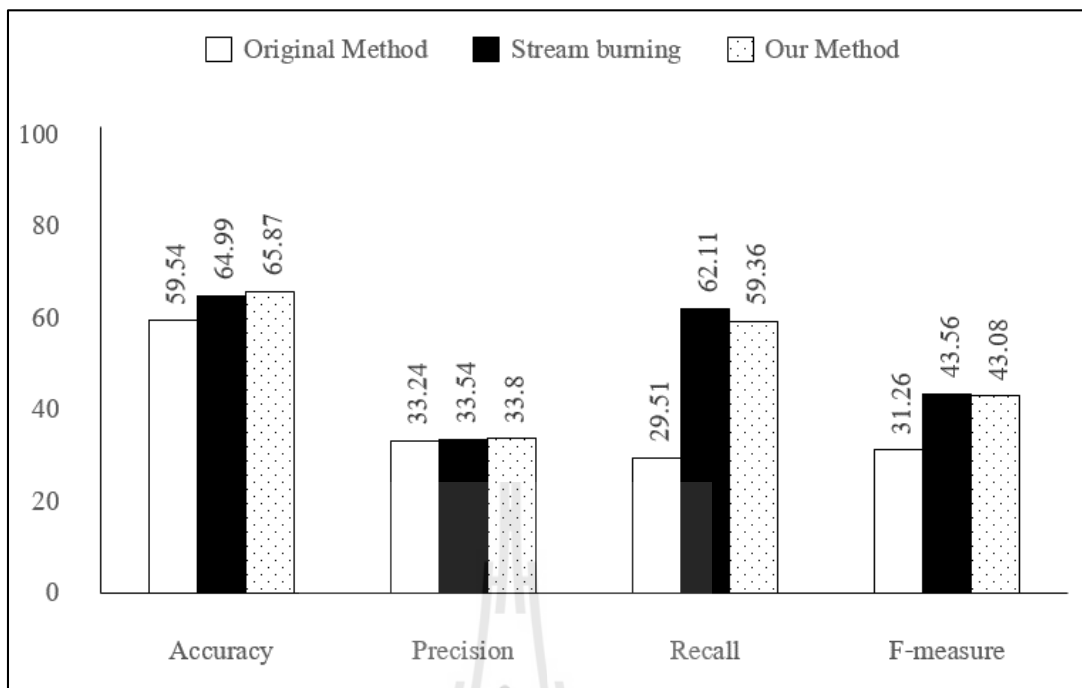


เชิงเลขพยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องประมาณ 52% อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อพิจารณาค่าความระลึก พบว่า 3 วิธีดังกล่าวมีค่าความระลึกประมาณ 75% แต่วิธีการเดิมมีค่าความระลึกเพียง 8%

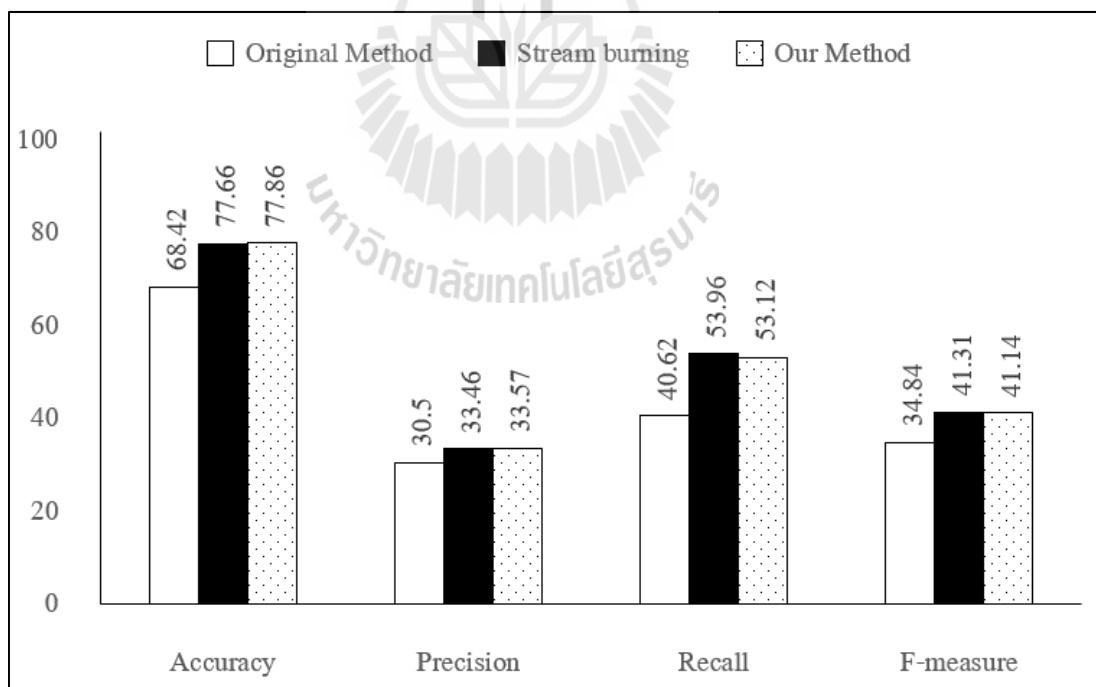
สำหรับการจำลองอุทกภัยของปี ค.ศ. 2006 และ ค.ศ. 2010 ประเมินเพียง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการเดิม วิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย และวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย เพราะว่ามีอีก 4 วิธีดังกล่าว ผลลัพธ์ที่ได้ไม่แตกต่างกับวิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย และวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่งโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องประเมินวิธีการดังกล่าวสำหรับข้อมูลการจำลองอุทกภัยในปี ค.ศ. 2006 และ ค.ศ. 2010 พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาค่าความถูกต้อง ค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าอัตราการรู้จำ คือ วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อย โดยมีค่าความถูกต้องประมาณ 65% สำหรับปี ค.ศ. 2006 และประมาณ 77% สำหรับปี ค.ศ. 2010 ส่วนวิธีการเดิมที่ใช้เฉพาะแบบจำลองความสูงเชิงเลขพยากรณ์การเกิดอุทกภัยถูกต้องประมาณ 59% สำหรับปี ค.ศ. 2006 และประมาณ 68% สำหรับปี ค.ศ. 2010 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความระลึก พบว่า วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยมีค่าความระลึกประมาณ 59% สำหรับปี ค.ศ. 2006 และประมาณ 53% สำหรับปี ค.ศ. 2010 แต่วิธีการเดิมมีค่าความระลึกเพียง 29% สำหรับปี ค.ศ. 2006 และประมาณ 40% สำหรับปี ค.ศ. 2010 จากผลการจำลองการเกิดอุทกภัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่พัฒนาโดยพิจารณาทั้งแม่น้ำสายหลักและสายย่อยให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากกว่าวิธีการเดิม



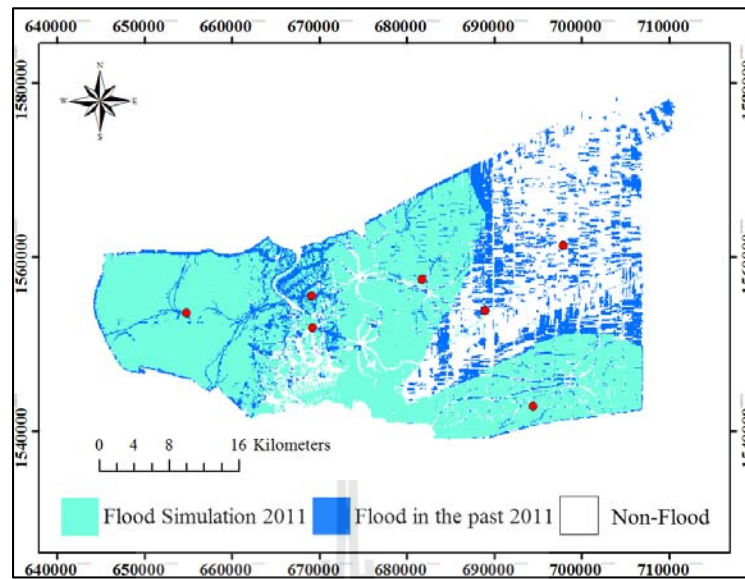
รูปที่ ก.21 เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานีใน ปี ค.ศ. 2011



รูปที่ ก.22 เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานีในปี ค.ศ. 2006

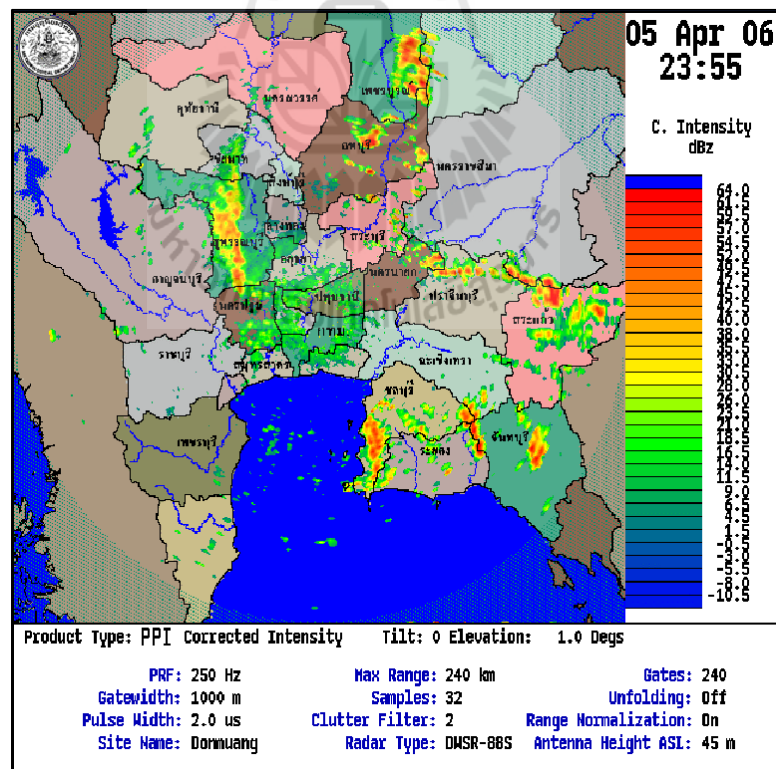


รูปที่ ก.23 เปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานีในปี ค.ศ. 2010



รูปที่ ก.24 ผลการจำลองอุทกภัยจังหวัดปทุมธานีใน ปี ค.ศ. 2011 และข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน

#### 4. ตัวอย่างข้อมูลเรดาร์



รูปที่ ก.25 ตัวอย่างข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุพัตรา พุฒินาวรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2526 จังหวัดชุมพร เริ่มศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านควด จังหวัดชุมพร ระดับชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนละแมวิทยา จังหวัดชุมพร และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต (คอมพิวเตอร์ธุรกิจ) เกียรตินิยมอันดับสอง คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปี พ.ศ. 2550 หลังจากนั้นได้เข้าทำงานในตำแหน่งนักวิชาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ พร้อมกันนี้ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท ในปี พ.ศ. 2553 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี และในปีการศึกษา 2555 ได้รับทุนจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก ในหลักสูตรวิทยาการสารสนเทศศษญีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้วิจัยมีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญทางด้านการจำลองอุทกภัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการรับรู้ระยะไกล