

แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองแบบ  
และการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม



นาย อนุรักษ์ บุญระมัญญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

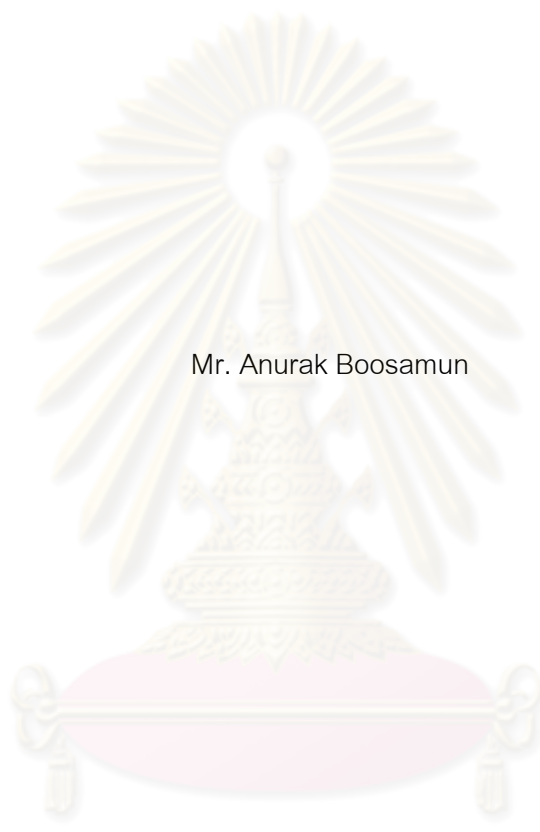
สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MATHEMATICAL MODEL FOR SIMULATION  
AND VISUALIZATION OF FLOOD



Mr. Anurak Boosamun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Applied Mathematics and Computational Science

Department of Mathematics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองแบบ  
และการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม

โดย

นาย อนุรักษ์ บุญสมัญญ์

สาขาวิชา

คณิตศาสตร์ประยุกต์และวิทยาการคอมพิวเตอร์


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ สุชาติ ศิริพันธ์


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


อาจารย์ ดร. สมพร ช่วยอารีย์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

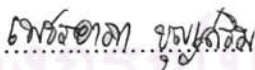
  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

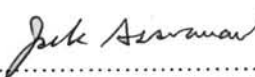
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรชัย สาตราวาหา)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ สุชาติ ศิริพันธ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(อาจารย์ ดร. สมพร ช่วยอารีย์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. เพชรอาภา บุญเสริม)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. จักร์ อัครวานันท์)

อนุรักษ์ บุญระมัญญ : แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองแบบและการสร้างภาพ  
 นามธรรมของน้ำท่วม (MATHEMATICAL MODEL FOR SIMULATION AND  
 VISUALIZATION OF FLOOD) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. สุชาติ ตีรพันธ์,  
 อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ.ดร. สมพร ช่วยอารีย์, 73 หน้า.

การจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมเป็นปัญหาที่น่าสนใจหากสามารถ  
 แสดงให้เห็นถึงพื้นที่เสี่ยงภัยที่เกิดจากน้ำท่วมก่อนที่จะเกิดขึ้นจริงได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้  
 เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของน้ำบนพื้นผิวภูมิประเทศจริงโดยอาศัยความรู้  
 ทางชลศาสตร์และการคำนวณเชิงตัวเลขที่อธิบายรูปแบบการแพร่ของน้ำที่แสดงผลเป็นภาพ  
 นามธรรมของน้ำท่วมในบริเวณต่าง ๆ ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ในการจำลองได้ใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์  
 คือ กริดข้อมูลความสูงที่มีความละเอียด 92.5 เมตร ทั้งแนวแกน X และ Y ผ่านทางโปรแกรม  
 Google Earth ทำให้สามารถแสดงภาพพื้นที่และระดับน้ำที่คาดว่าจะท่วมในพื้นที่ต่าง ๆ รวมถึง  
 การบอกตำแหน่งและที่ตั้งของพื้นที่เสี่ยงภัยได้ แบบจำลองนี้ได้พัฒนาขึ้นเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถ  
 ใช้ประโยชน์เพื่อการทำนายบริเวณน้ำท่วมเพื่อการป้องกันและเตือนภัย นอกจากนี้ยังสามารถ  
 นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำอีกด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา คณิตศาสตร์  
 สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์และ  
 วิทยาการคณนา  
 ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อ นิสิต.....อนุรักษ์ บุญระมัญญ.....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....สุชาติ ตีรพันธ์.....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....สมพร ช่วยอารีย์.....

## 5272616023 : MAJOR APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATIONAL SCIENCE  
 KEYWORDS: SIMULATION AND VISUALIZATION / FLOODING / HYDRAULICS /  
 NUMERICAL METHOD

ANURAK BOOSAMUN : MATHEMATICAL MODEL FOR SIMULATION AND  
 VISUALIZATION OF FLOOD. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUSHADA SIRIPANT,  
 CO-ADVISOR: SOMPORN CHUAI-AREE, Ph.D., 73 pp.

Modeling and visualization of flooding is an interesting problem if it can be presented to predict the risk area of flooding before it's time. The objective of this research is to find a mathematical model of water flow on a real surface of landform using hydrology and numerical computation to explain the diffusion of water. The result is implemented in term of visualization in 2D and 3D. The model used the geography of grid data of height with resolution 92.5 meter both in X and Y directions through the Google Earth which support the result that can be shown the area and the height of water flooding of the risk area. This model is used to develop the software for predicting the flood area in order to create a system of prevention and hazard. It could also be used to analyze for the water management.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Mathematics

Field of Study: Applied Mathematics and  
 Computational Science

Academic Year: 2010

Student's Signature..... A. Boosamun.....

Advisor's Signature..... S. Siripant.....

Co-advisor's Signature..... Somporn Chuai-aree.....



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุชาติดา ศิริพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ท่านได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาต่าง ๆ อีกทั้งยังให้กำลังใจที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สมพร ช่วยอารีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ท่านได้กรุณาช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดี ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. พรชัย สาทรรวหา ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร. เพชรอรามา บุญเสริม กรรมการ และ รองศาสตราจารย์ ดร. จักร์ อัครวานันท์ ที่ท่านช่วยเหลือตรวจสอบการทำงานวิจัยนี้ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดารวมทั้งพี่ชายของผู้วิจัยที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำงานวิจัยนี้ ทำให้ผู้วิจัยมีกำลังใจที่จะทำงานวิจัยและทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
บทที่ 2.....	2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
บทที่ 3.....	5
แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ .....	5
บทที่ 4.....	15
ขั้นตอนวิธีการคำนวณหาผลลัพธ์จากแบบจำลอง.....	15
4.1 วิธีปริมาตรจำกัด .....	15
4.2 การคำนวณค่าฟังก์ชัน.....	18
4.3 การสร้างข้อมูลใหม่ .....	22
4.4 การคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง .....	25
4.5 ความมีเสถียรของผลลัพธ์ .....	27
4.6 การกำหนดเงื่อนไขขอบ .....	28
4.7 อัลกอริทึมสำหรับการจำลองน้ำท่วม .....	30
บทที่ 5.....	31
การสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม .....	31
5.1 การพล็อตภาพ 3 มิติ .....	31
5.2 การลงสีภาพด้วยการคำนวณค่าสี RGB.....	33
5.3 การลงสีภาพโดยไม่ใช้ค่าสี RGB.....	35
5.4 การแสดงผลผ่านโปรแกรม Google Earth.....	36

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6.....	39
การจำลองแบบและผลลัพธ์จากการจำลอง.....	39
6.1 การจำลองเขื่อนแตก.....	39
6.2 การจำลองการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางและพื้นผิวภูมิประเทศ.....	42
6.3 การจำลองน้ำท่วม.....	43
บทที่ 7.....	46
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	46
7.1 แบบจำลองน้ำท่วม.....	46
7.2 แบบแผนการคำนวณ.....	46
7.3 การแสดงผลลัพธ์จากแบบจำลอง.....	46
7.4 ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม.....	47
รายการอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	51
ก. อัลกอริทึมสำหรับการจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม.....	52
ข. ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองการไหลของน้ำในรูปแบบ 1 มิติ.....	64
ค. ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองเขื่อนแตก.....	65
ง. ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม.....	68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	73



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 6.1 แสดงพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์วัดระดับความลึกของน้ำ.....	39
ตารางที่ 6.2 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการจำลอง.....	41



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ภาพแสดงส่วนประกอบของแบบจำลองในงานวิจัยของ Md. Jahangir Alam et al.....	2
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงผลลัพธ์จากแบบจำลองในงานวิจัยของ B.Benes and R.Forsbach.....	4
รูปที่ 3.1 ภาพแสดงการไหลเข้าออกของน้ำ ณ จุด $x, y$ ใด ๆ (ทางซ้ายมือ) และภาพแสดงปริมาตรควบคุม ณ จุด $x, y$ ใด ๆ (ทางขวามือ).....	5
รูปที่ 3.2 ภาพแรงดันที่กระทำกับของไหล.....	9
รูปที่ 3.3 ภาพตัดตามยาวแสดงความสูงของภูมิประเทศ.....	10
รูปที่ 4.1 ภาพแสดงกริดข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์.....	15
รูปที่ 4.2 ภาพแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่จะใช้ในการคำนวณค่าฟังก์ชันตามแนวแกน $x$ และ $y$ .....	18
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงค่าความลึกของการไหล และความลึกของน้ำระหว่างเซลล์ $C_{i,j}$ และ $C_{i+1,j}$ .....	20
รูปที่ 4.4 ภาพแสดงค่าความลึกของการไหล และความลึกของน้ำระหว่างเซลล์ $C_{i,j}$ และ $C_{i+1,j}$ .....	21
รูปที่ 4.5 ภาพแสดงค่าความลึกของการไหลที่ไหลเข้าและออก $C_{i,j}$ ทั้งสี่ด้าน.....	22
รูปที่ 4.6 ภาพแสดงการสร้างข้อมูลใหม่โดยวิธีการปรับค่าความชัน.....	23
รูปที่ 4.7 ภาพแสดงการสร้างข้อมูลใหม่โดยอาศัยค่าเฉลี่ยโดยตรง.....	23
รูปที่ 4.8 ภาพแสดงแนวคิดวิธีการทำให้ผลลัพธ์ที่ไม่เรียบให้มีความเรียบมากขึ้น.....	26
รูปที่ 4.9 ภาพแสดงขอบของกริดข้อมูลใน 2 มิติ.....	29
รูปที่ 4.10 ผังงานสำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม.....	30
รูปที่ 5.1 ภาพแสดงรูปแบบการพล็อตภาพด้วยคำสั่ง Triangle Strip ของ OpenGL.....	31
รูปที่ 5.2 ภาพแสดงพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากการพล็อตภาพ 3 มิติ ด้วยชุดคำสั่งของ OpenGL.....	32
รูปที่ 5.3 ภาพผลลัพธ์ที่มีการปรับสเกลของความสูงที่แตกต่างกัน.....	32
รูปที่ 5.4 ภาพแสดงการพล็อตภาพ 2 ชั้น โดยชั้นบนคือระดับของน้ำ และชั้นล่างคือความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ.....	33
รูปที่ 5.5 แสดงการหาช่วงของสีให้กับข้อมูล.....	33
รูปที่ 5.6 ภาพผลลัพธ์ที่ทำการลงสีด้วยการคำนวณค่าสี RGB.....	35
รูปที่ 5.7 ภาพแสดงการแม็บบิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียมกับกริดข้อมูล.....	35
รูปที่ 5.8 แสดงการลงสีภาพภูมิประเทศโดยใช้สีของภาพถ่ายดาวเทียม.....	36

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.9 ภาพโปรแกรม Google Earth .....	37
รูปที่ 5.10 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคำสั่งสคริปในการซ้อนภาพผลลัพธ์ ผ่านโปรแกรม Google Earth .....	37
รูปที่ 5.11 ภาพผลลัพธ์ที่ทำการซ้อนภาพเพื่อแสดงผลผ่านโปรแกรม Google Earth .....	38
รูปที่ 6.1 ภาพแสดงเขื่อนจำลองที่ใช้ในการจำลองเขื่อนแตก.....	39
รูปที่ 6.2 ภาพแสดงหน้าตัดขวางของพื้นที่จำลอง.....	39
รูปที่ 6.3 ภาพแสดงตำแหน่งและขนาดของสิ่งกีดขวาง.....	39
รูปที่ 6.4 ภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งเครื่องตรวจวัดระดับน้ำ.....	39
รูปที่ 6.5 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ณ เวลาที่ $t = 0.9$ วินาที .....	40
รูปที่ 6.6 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ณ เวลาที่ $t = 3.9$ วินาที .....	40
รูปที่ 6.7 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ณ เวลาที่ $t = 10.95$ วินาที .....	40
รูปที่ 6.8 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ณ เวลาที่ $t = 18.15$ วินาที .....	40
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G1 .....	41
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G2 .....	41
รูปที่ 6.11 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G3 .....	41
รูปที่ 6.12 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G4 .....	41
รูปที่ 6.13 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G5 .....	41
รูปที่ 6.14 ภาพแสดงการจำลองการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางประเภททรงกระบอก .....	42
รูปที่ 6.15 ภาพแสดงการจำลองการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางลักษณะนูนสูง.....	42
รูปที่ 6.16 ภาพแสดงการจำลองการไหลของน้ำผ่านทางลาดชัน .....	42
รูปที่ 6.17 ภาพแสดงการจำลองฝนตกบนพื้นผิวภูมิประเทศ.....	42
รูปที่ 6.18 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกบนพื้นผิวภูมิประเทศ.....	43
รูปที่ 6.19 ภาพแสดงบริเวณที่ทำการจำลองน้ำท่วม.....	43
รูปที่ 6.20 ภาพจำลอง 2 มิติ แสดงพื้นที่ท่วมบริเวณอำเภอหนองเรือ.....	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.21 ภาพจำลอง 3 มิติ แสดงพื้นที่ท่วมบริเวณอำเภอหนองเรือ.....	44
รูปที่ 6.22 ภาพพื้นที่น้ำท่วมจากแบบจำลอง (ทางซ้ายมือ) กับภาพถ่ายดาวเทียมจาก www.gistda.or.th (ทางขวามือ) .....	45
รูปที่ 6.23 แสดงภาพซ้อนทับระหว่างพื้นที่ท่วมจากแบบจำลองและพื้นที่ท่วมจริง .....	45
รูปที่ ก.1 แสดงรหัสเทียมสำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้น .....	52
รูปที่ ก.2 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน Keppoint (i, j).....	53
รูปที่ ก.3 แสดงรหัสเทียมสำหรับการกำหนดค่าขอบของกริดข้อมูล .....	54
รูปที่ ก.4 แสดงรหัสเทียมสำหรับการสร้างข้อมูลที่ขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์.....	55
รูปที่ ก.5 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน dvz (a, b) ที่ใช้สำหรับ การป้องกันความผิดพลาดจากการหารที่ตัวหารเป็นศูนย์.....	56
รูปที่ ก.6 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน MM (a, b) สำหรับการปรับค่าความชัน .....	56
รูปที่ ก.7 แสดงรหัสเทียมสำหรับการหาค่าฟังก์ชันตรงขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์.....	57
รูปที่ ก.8 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน $NumerFX(l_W, u_W, v_W, l_E, u_E, v_E)$ .....	58
รูปที่ ก.9 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน $NumerFY(l_N, u_N, v_N, l_S, u_S, v_S)$ .....	58
รูปที่ ก.10 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่า $\Delta t_k$ .....	59
รูปที่ ก.11 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่า $\bar{W}^k$ .....	59
รูปที่ ก.12 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่า $\Delta t$ .....	60
รูปที่ ก.13 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่า $\bar{W}^{n+1}$ .....	60
รูปที่ ก.14 แสดงรหัสเทียมสำหรับการพล็อตภาพนามธรรมของน้ำท่วมในรูปแบบของ 3 มิติ ....	61
รูปที่ ก.15 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่าสี RGB.....	61
รูปที่ ก.16 แสดงรหัสเทียมสำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม .....	62
รูปที่ ก.17 แสดงรหัสเทียมสำหรับการกำหนดพื้นที่ฝนตก .....	63
รูปที่ ข.1 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมสำหรับการจำลองการไหลของน้ำในรูปแบบ 1 มิติ .....	64
รูปที่ ข.2 ภาพแสดงการจำลองการไหลของน้ำในรูปแบบ 1 มิติ.....	64
รูปที่ ค.1 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมสำหรับการจำลองเขื่อนแตก.....	65
รูปที่ ค.2 ภาพแสดงการพล็อตกราฟผลลัพธ์ของซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองเขื่อนแตก.....	66
รูปที่ ค.3 ภาพแสดงการบันทึกผลลัพธ์ในรูปแบบของข้อมูลเพื่อนำไปใช้สำหรับการ เปรียบเทียบความถูกต้อง.....	66

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ค.4 ภาพแสดงส่วนของการเลือกแบบจำลองและรูปแบบการสร้างข้อมูล บริเวณขอบของแต่ละเซลล์ .....	67
รูปที่ ค.5 ภาพแสดงส่วนของการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของการไหลของน้ำ.....	67
รูปที่ ง.1 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมสำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของ น้ำท่วม .....	68
รูปที่ ง.2 ภาพแสดงหน้าจอหลักของซอฟต์แวร์.....	69
รูปที่ ง.3 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการเลือกพื้นที่จำลอง.....	69
รูปที่ ง.4 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการจำลองแบบ.....	70
รูปที่ ง.5 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการกำหนดค่าพารามิเตอร์.....	70
รูปที่ ง.6 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการแสดงข้อมูลผลลัพธ์ .....	71
รูปที่ ง.7 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการปรับแต่งสีของภาพ .....	71
รูปที่ ง.8 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการบันทึกภาพผลลัพธ์ .....	72

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัญหาน้ำท่วมเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผู้ที่ประสบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาน้ำท่วมฉับพลันที่เกิดจากน้ำป่าไหลหลาก น้ำทะเลหนุน เขื่อนแตก รวมถึงปัญหาน้ำท่วมที่เกิดจากคลื่นยักษ์สึนามิ เหตุการณ์เหล่านี้หากไม่มีการเตือนภัยหรือป้องกันล่วงหน้าก็อาจจะทำให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิต ทรัพย์สิน และจิตใจของผู้ที่ประสบภัยได้

จากอดีตจนถึงปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบกับภัยน้ำท่วมอยู่เสมอ การสร้างแบบจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยทำให้เห็นถึงพื้นที่เสี่ยงภัยก่อนที่ปัญหาน้ำท่วมจะเกิดขึ้นจริง ทำให้สามารถบอกถึงแนวโน้มของปัญหาน้ำท่วมเพื่อที่จะเตือนภัยและหาวิธีป้องกัน แก้ไข รวมถึงจัดการกับปัญหาน้ำท่วมได้ นอกจากนี้ถ้าหากผลลัพธ์จากการจำลองสามารถที่จะบอกถึงตำแหน่งที่ตั้ง อำเภอ จังหวัดของพื้นที่เสี่ยงภัยได้ด้วยแล้วก็จะทำให้การเตือนภัยเพื่อป้องกันและวางแผนในการจัดการปัญหาน้ำท่วมที่อาจจะเกิดขึ้นนั้นทำได้ดียิ่งขึ้น

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ทำให้สามารถที่จะรู้ถึงข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งและข้อมูลทางกายภาพต่าง ๆ ของภูมิประเทศจริงในแต่ละพื้นที่ได้ ทำให้การศึกษาและการจำลองเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติต่าง ๆ โดยอาศัยข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์นั้นทำได้ดีและสะดวกยิ่งขึ้น ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเตือนภัยและการจัดการแก้ไขปัญหาจากเหตุการณ์ร้ายแรงที่อาจจะเกิดขึ้น

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมและพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงผลภาพนามธรรมของน้ำท่วมในรูปแบบของภาพกราฟิกส์ 2 มิติ และ 3 มิติ อีกทั้งยังนำผลลัพธ์ที่ได้แสดงผ่านโปรแกรม Google Earth เพื่อบอกตำแหน่งที่ตั้งและข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่เสี่ยงภัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอรายละเอียดของงานซึ่งประกอบด้วย บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เห็นแนวคิดและปัญหาความผิดพลาดที่ควรได้รับการพิจารณาและแก้ไขจากงานวิจัยอื่น ๆ จากนั้นก็จะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการคำนวณหาผลลัพธ์จากแบบจำลองในบทที่ 3 และ บทที่ 4 ตามลำดับ ส่วนรายละเอียดของขั้นตอนการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมและผลลัพธ์จากการจำลองนั้นจะกล่าวถึงในบทที่ 5 และบทที่ 6 และส่วนสุดท้ายคือบทที่ 7 จะกล่าวถึงบทสรุป ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นรวมถึงสิ่งที่จะพัฒนาต่อในอนาคตต่อไป



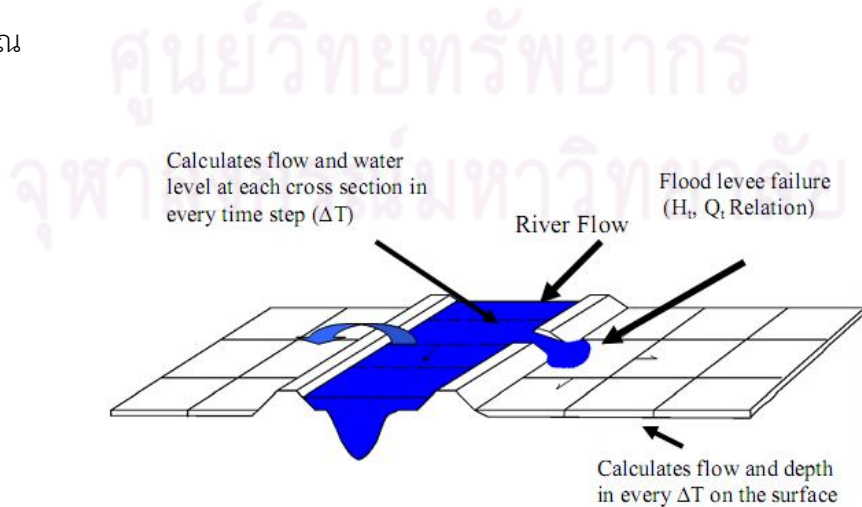
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างแบบจำลองน้ำท่วมนั้นได้มีการทำวิจัยกันหลายรูปแบบ มีทั้งแบบจำลองที่ไม่คำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของน้ำ [1] และแบบจำลองที่คำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของน้ำ [4, 13, 14, 19, 22, 26, 27] ซึ่งแบบจำลองน้ำท่วมในงานวิจัยนี้จะเป็นแบบจำลองที่คำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของน้ำตามหลักชลศาสตร์ โดยจะเป็นแบบจำลองที่สามารถอธิบายการแพร่กระจายตัวของน้ำไปตามพื้นผิวภูมิประเทศจริงได้ โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยที่สร้างแบบจำลองน้ำท่วมในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้ได้ทำการรวบรวมและสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เห็นถึงแนวความคิด ปัญหาและควรพัฒนาต่อยอดดังต่อไปนี้

Douglas Alsdof et al. [19] ได้สร้างแบบจำลองการแพร่ของน้ำที่อธิบายการท่วมของน้ำบริเวณลุ่มแม่น้ำอะเมซอนโดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำในแม่น้ำอะเมซอนและปริมาณน้ำฝนในแต่ละเวลามาเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อที่จะคำนวณหาพื้นที่น้ำท่วมจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น

Md. Jahangir Alam et al. [22] ทำการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมบริเวณลุ่มน้ำโขงจากสมการอนุกรมมวลและอนุกรมโมเมนตัม โดยที่แบบจำลองประกอบด้วยสมการในรูปแบบของ 1 มิติสำหรับการคำนวณหาระดับน้ำในแม่น้ำโขงโดยนำข้อมูลอัตราการไหลของน้ำที่จุดต้นน้ำและทำน้ำในปีที่เคยเกิดน้ำท่วมมาใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับจุดต้นน้ำและทำน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ 1 มิติ จะนำมาใช้เป็นเงื่อนไขภายในสำหรับสมการ 2 มิติ ที่จะคำนวณเพื่อหาระดับน้ำที่ไหลเข้าท่วมพื้นที่ที่ทำการจำลอง แต่งานวิจัยนี้มีข้อควรพัฒนาในส่วนของการคำนวณเชิงตัวเลขที่ทำให้ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณไม่เท่ากับผลรวมของปริมาณน้ำที่นำเข้าไปในระบบที่กำลังคำนวณ



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงส่วนประกอบของแบบจำลองในงานวิจัยของ Md. Jahangir Alam et al.

T.R. Hagen et al. [31] ได้ทำการจำลองการไหลของน้ำบนพื้นผิวภูมิประเทศด้วยระบบสมการน้ำตื้น (Shallow Water Equation) โดยใช้วิธีปริมาตรจำกัด (finite volume method) ในการหาผลลัพท์ โดยแบบจำลองสามารถแสดงให้เห็นถึงการไหลของน้ำบนพื้นผิวภูมิประเทศได้ นอกจากนี้ยังได้บอกถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Md. Jahangir Alam โดยได้บอกถึงสาเหตุของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นว่าเกิดจากผลลัพท์ความลึกของน้ำที่ได้จากแบบจำลองนั้นมีค่าติดลบ ซึ่งความลึกของน้ำที่มีค่าติดลบนั้นไม่ถูกต้องตามลักษณะทางกายภาพของน้ำ อีกทั้งยังส่งผลให้ปริมาณของน้ำเพิ่มขึ้นจากปริมาณของน้ำในระบบที่กำลังคำนวณอยู่ด้วย

A. Boosamun et al. [14] ได้ทำการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมด้วยสมการคลื่น (Wave Equation) ใน 2 มิติ พบปัญหาค่าความลึกของน้ำที่ติดลบเมื่อทำการจำลองการไหลของน้ำบนพื้นผิวภูมิประเทศ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณของน้ำเพิ่มขึ้นจากปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในระบบที่กำลังคำนวณ

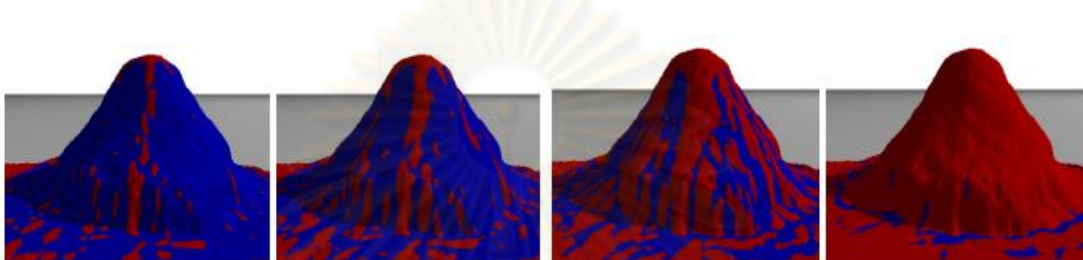
ศศิเกษม สัทธรรมสกุล [9] ได้สร้างแบบจำลองเขื่อนแตกด้วยสมการน้ำตื้น โดยวิธี ปริมาตรจำกัด พบปัญหาการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางประเภทนูนสูง โดยที่แบบจำลองดังกล่าวไม่สามารถควบคุมให้น้ำไหลผ่านสิ่งกีดขวางให้ถูกต้องตามความเป็นจริงได้ กล่าวคือไม่ว่าจะใช้สิ่งกีดขวางที่มีความสูงมากเท่าไรก็ตาม น้ำก็จะไหลข้ามสิ่งกีดขวางนั้นไปได้ ซึ่งในความเป็นจริงนั้นการที่น้ำจะไหลข้ามสิ่งกีดขวางที่สูงกว่าระดับน้ำมาก ๆ นั้นในธรรมชาติมีความเป็นไปได้น้อย

O. Delestre et al. [26] ทำการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบนพื้นผิวภูมิประเทศ โดยใช้ระบบสมการน้ำตื้น ใน 1 มิติ พร้อมกับการนำเสนอรูปแบบการคำนวณที่แก้ไขปัญหาเรื่องของน้ำที่ติดลบ และสิ่งกีดขวางที่เกิดขึ้นในงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งแบบแผนการคำนวณในรูปแบบดังกล่าวเป็นวิธีการประมาณคำตอบที่คำนึงถึงลักษณะทางเรขาคณิตของภูมิประเทศ ซึ่งแนวคิดการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาข้อผิดพลาดต่าง ๆ ยังถูกพบในงานวิจัยของ M. Elena et al. [24] และ Sudi Mungkasi [29] อีกด้วย

นอกจากงานวิจัยที่อาศัยลักษณะการหาค่าตอบที่เป็นความลึกของน้ำบนกริดข้อมูล 1 มิติ และ 2 มิติตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีแบบจำลองการไหลของน้ำในลักษณะของการอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาค (particles) และแบบจำลองในลักษณะของ 3 มิติ ที่สามารถจำลองและแก้ไขปัญหของบางแบบจำลองที่ได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวความคิดในการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมในงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยดังกล่าวโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

B. Neidhold et al. [17] ได้ทำการสร้างแบบจำลองการกัดเซาะของน้ำที่ไหลบนพื้นผิวภูมิประเทศ โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของแต่ละอนุภาคของน้ำ และใช้กฎของนิวตันมาอธิบายการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคเมื่อรวมกันหลาย ๆ อนุภาคทำให้สามารถจำลองการถูกกัดเซาะของพื้นผิวภูมิประเทศได้

B. Benes and R. Forsbach [16] ได้ทำการสร้างแบบจำลองการกัดเซาะของน้ำ ด้วยแนวคิดการแพร่กระจายตัวของน้ำที่มองน้ำในรูปแบบของลูกบาศก์ที่ถูกแบ่งออกไปยังจุดต่าง ๆ ผลลัพธ์จากการจำลองนั้นสามารถจำลองการไหลบนพื้นผิวและการกัดเซาะของน้ำได้



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงผลลัพธ์จากแบบจำลองในงานวิจัยของ B. Benes and R. Forsbach

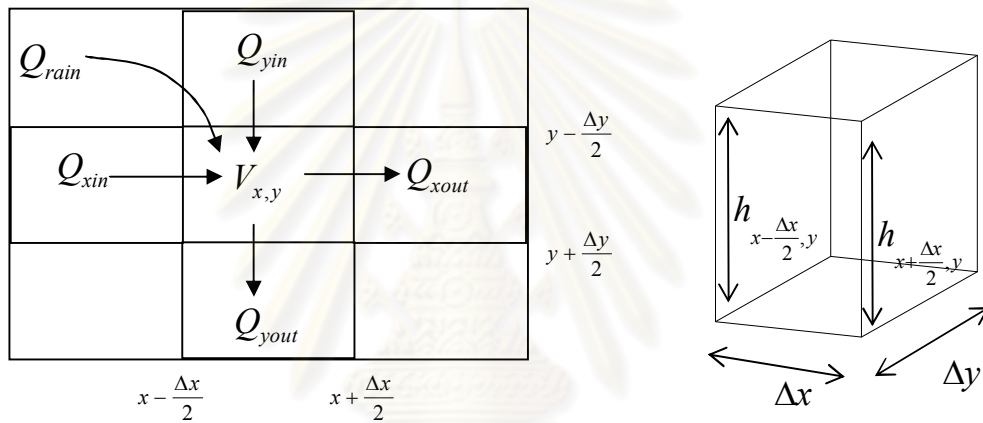
Nathan Holmberg et al. [25] นำเสนอแบบจำลองที่มีแนวความคิดการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยอาศัยสมการของแบร์นูลลีที่อธิบายการไหลของน้ำในท่อนำมาใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคของน้ำ

E. Audusse et al. [20] ได้พัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางและการพัดพาของตะกอน ด้วยสมการ Saint-venant ด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นชั้น ๆ แล้วทำการคำนวณผลลัพธ์ในแต่ละชั้น

แบบจำลองต่าง ๆ ในงานวิจัยที่ได้กล่าวไปนั้น จะเห็นได้ว่ามีบางแบบจำลองที่มีความผิดพลาดในเชิงกายภาพ แม้ว่าจะมีผู้คิดแบบจำลองและแบบแผนการคำนวณที่แก้ปัญหาข้อผิดพลาดดังกล่าวได้แล้วแต่แบบแผนการคำนวณต่าง ๆ นั้นก็มีความซับซ้อนไม่น้อยแบบจำลองและแบบแผนการคำนวณในงานวิจัยนี้จึงต้องนำปัญหา แนวคิดและข้อผิดพลาดต่าง ๆ มาพิจารณาเพื่อลดความซับซ้อนของแบบแผนการคำนวณและไม่ก่อให้เกิดข้อผิดพลาดต่าง ๆ ดังที่กล่าวมา

### บทที่ 3 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมในงานวิจัยนี้จะพิจารณาสร้างแบบจำลองบนพื้นฐานของสมการน้ำตื้น (Shallow water equation) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้อธิบายการไหลของน้ำในแม่น้ำและบริเวณชายฝั่ง ดังนั้นในการนำสมการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการจำลองน้ำท่วมซึ่งเป็นการไหลของน้ำบนพื้นผิวภูมิประเทศจริงนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงแบบแผนการคำนวณและพิจารณาปัจจัยในเรื่องของอัตราน้ำฝนเข้ามาด้วย ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถพิจารณาจากหลักอนุรักษมวลและอนุรักษโมเมนตัมได้ดังนี้



**รูปที่ 3.1** ภาพแสดงการไหลเข้าออกของน้ำ ณ จุด  $x,y$  ใด ๆ (ทางซ้ายมือ) และภาพแสดงปริมาตรควบคุม ณ จุด  $x,y$  ใด ๆ (ทางขวามือ)

จากรูปจะเห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ ณ จุด  $x,y$  นั้นสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างปริมาณของน้ำที่ไหลเข้ามาทางหน้าตัดที่  $x - \frac{\Delta x}{2}, y$  ในหนึ่งหน่วยเวลากับปริมาณน้ำที่ไหลออกทางหน้าตัดที่  $x + \frac{\Delta x}{2}, y$  ในหนึ่งหน่วยเวลา รวมกับผลต่างระหว่างปริมาณของน้ำที่ไหลเข้ามาทางหน้าตัดที่  $x, y - \frac{\Delta y}{2}$  ในหนึ่งหน่วยเวลากับปริมาณน้ำที่ไหลออกทางหน้าตัดที่  $x, y + \frac{\Delta y}{2}$  ในหนึ่งหน่วยเวลา นั่นคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ ณ จุด  $x,y$  จะเท่ากับอัตราการไหลเข้าลบด้วยอัตราการไหลออกตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  ซึ่งสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial V}{\partial t} = Q_{xin} - Q_{xout} + Q_{yin} - Q_{yout}$$

และเมื่อพิจารณาปริมาตรของน้ำฝนที่ไหลเข้าสู่จุด  $x, y$  โดยตรงโดยที่ไม่ได้ไหลมาจากจุดอื่นด้วยแล้วจะได้ว่า

$$\frac{\partial V}{\partial t} = Q_{xin} - Q_{xout} + Q_{yin} - Q_{yout} + Q_{rain} \quad (3.1)$$

โดยที่  $V$  คือปริมาตรของน้ำ ณ จุด  $x, y$   $Q_{xin}, Q_{xout}$  คืออัตราการไหลเข้าและออกตามแนวแกน  $x$   $Q_{yin}, Q_{yout}$  คืออัตราการไหลเข้าและออกตามแนวแกน  $y$  และ  $Q_{rain}$  คือปริมาตรน้ำฝนที่ตกลงมา ณ จุด  $x, y$  ต่อหนึ่งหน่วยเวลา

เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำนั้นสามารถหาได้จากผลคูณของความเร็วของการไหลกับพื้นที่หน้าตัดของการไหล และปริมาตรของน้ำ ณ จุด  $x, y$  คือพื้นที่ฐานคูณกับความลึกของน้ำดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{\partial(\Delta x \cdot \Delta y \cdot h)}{\partial t} = (u \cdot \Delta y \cdot h)_{xin} - (u \cdot \Delta y \cdot h)_{xout} + (v \cdot \Delta x \cdot h)_{yin} - (v \cdot \Delta x \cdot h)_{yout} + Q_{rain} \quad (3.2)$$

โดยที่  $u, v$  คือความเร็วของการไหลตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ  $h$  คือความลึกของน้ำ ณ จุด  $x, y$   $\Delta x, \Delta y$  คือความยาวและความกว้างของปริมาตรควบคุม

เนื่องจาก  $\Delta x$  และ  $\Delta y$  นั้นเป็นค่าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลา เพราะฉะนั้นจะทำการหารตลอดสมการ (3.2) ด้วย  $\Delta x$  และ  $\Delta y$  จะได้ว่า

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{(uh)_{xin} - (uh)_{xout}}{\Delta x} + \frac{(vh)_{yin} - (vh)_{yout}}{\Delta y} + \frac{Q_{rain}}{\Delta x \cdot \Delta y}$$

เนื่องจากในที่นี่กำลังพิจารณาน้ำที่ไหลเข้ามาทางหน้าตัดที่  $x - \frac{\Delta x}{2}, y$  และไหลออกทางหน้าตัดที่  $x + \frac{\Delta x}{2}, y$  ในทิศทางตามแนวแกน  $x$  ส่วนทิศทางตามแนวแกน  $y$  นั้นกำลังพิจารณาน้ำที่ไหลเข้ามาทางหน้าตัดที่  $x, y - \frac{\Delta y}{2}$  และไหลออกทางหน้าตัดที่  $x, y + \frac{\Delta y}{2}$  นั่นคือ

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{(uh)_{x-\frac{\Delta x}{2}, y} - (uh)_{x+\frac{\Delta x}{2}, y}}{\Delta x} + \frac{(vh)_{x, y-\frac{\Delta y}{2}} - (vh)_{x, y+\frac{\Delta y}{2}}}{\Delta y} + \frac{Q_{rain}}{\Delta x \cdot \Delta y} \quad (3.3)$$



ในส่วนของค่า  $(uh)_{x-\frac{\Delta x}{2},y}$ ,  $(uh)_{x+\frac{\Delta x}{2},y}$ ,  $(vh)_{x,y-\frac{\Delta y}{2}}$  และ  $(vh)_{x,y+\frac{\Delta y}{2}}$  ในสมการ (3.3) นั้น สามารถประมาณค่าได้ด้วยการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor's Series) รอบจุด  $x,y$  ได้ดังนี้

$$(uh)_{x-\frac{\Delta x}{2},y} = (uh)_{x,y} - \frac{\partial(uh)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} + O(\Delta x^2) \quad (3.4)$$

$$(uh)_{x+\frac{\Delta x}{2},y} = (uh)_{x,y} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} + O(\Delta x^2) \quad (3.5)$$

$$(vh)_{x,y-\frac{\Delta y}{2}} = (vh)_{x,y} - \frac{\partial(vh)}{\partial y} \frac{\Delta y}{2} + O(\Delta y^2) \quad (3.6)$$

$$(vh)_{x,y+\frac{\Delta y}{2}} = (vh)_{x,y} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} \frac{\Delta y}{2} + O(\Delta y^2) \quad (3.7)$$

ทำการแทนค่า  $(uh)_{x-\frac{\Delta x}{2},y}$ ,  $(uh)_{x+\frac{\Delta x}{2},y}$ ,  $(vh)_{x,y-\frac{\Delta y}{2}}$  และ  $(vh)_{x,y+\frac{\Delta y}{2}}$  จากสมการที่ (3.4), (3.5), (3.6) และ (3.7) ลงในสมการ (3.3) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\left[ (uh)_{x,y} - \frac{\partial(uh)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} + O(\Delta x^2) \right] - \left[ (uh)_{x,y} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} + O(\Delta x^2) \right]}{\Delta x} \\ &+ \frac{\left[ (vh)_{x,y} - \frac{\partial(vh)}{\partial y} \frac{\Delta y}{2} + O(\Delta y^2) \right] - \left[ (vh)_{x,y} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} \frac{\Delta y}{2} + O(\Delta y^2) \right]}{\Delta y} \\ &+ \frac{Q_{rain}}{\Delta x \cdot \Delta y} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความลึกของน้ำในแต่ละจุดใด ๆ สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = q \quad (3.8)$$

เมื่อ  $q$  คืออัตราของน้ำฝนที่ตกลงมา ณ จุด  $x, y$  (เมตร/วินาที) โดยที่  $q = \frac{Q_{rain}}{\Delta x \cdot \Delta y}$



จากสมการที่ (3.8) จะเห็นได้ว่ามีสิ่งที่จะต้องพิจารณาหาความสัมพันธ์กันต่อซึ่งก็คืออัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความยาว  $uh$  และ  $vh$  โดยในที่นี้จะทำการหาค่าของ  $uh$  ก่อน ส่วนค่าของ  $vh$  นั้นก็สามารถพิจารณาได้ในทำนองเดียวกัน ซึ่งการหาค่า  $uh$  สามารถพิจารณาได้ดังนี้

โดยหลักอนุรักษ์โมเมนตัมสามารถที่จะพิจารณาในทำนองเดียวกันกับอนุรักษ์มวลด้วยการแทนค่าความลึกของน้ำในสมการที่ (3.8) เป็นปริมาณโมเมนตัมต่อปริมาตรควบคุมและพิจารณาแรงภายนอกที่มากกระทำกับของไหลแทนที่อัตราของน้ำฝนซึ่งก็คือปริมาณน้ำจากภายนอกจะได้ว่า

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = F$$

โดยที่  $M$  คือปริมาณโมเมนตัมต่อปริมาตรควบคุม

$F$  คือแรงจากภายนอกที่มากกระทำกับของไหล

เนื่องจากปริมาณโมเมนตัมต่อปริมาตรควบคุมคือ  $\rho \cdot Q_x \cdot \Delta x$  เมื่อ  $\rho$  คือความหนาแน่นของน้ำและ  $Q_x$  คืออัตราการไหลตามแนวแกน  $x$  ดังนั้นจะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโมเมนตัมต่อปริมาตรควบคุมเป็นดังนี้

$$\frac{\partial(\rho Q_x \Delta x)}{\partial t} + \frac{\partial(u\rho Q_x \Delta x)}{\partial x} + \frac{\partial(v\rho Q_x \Delta x)}{\partial y} = F \quad (3.9)$$

ต่อไปจะทำการพิจารณาหาแรงจากภายนอกที่มากกระทำกับของไหลซึ่งในทางชลศาสตร์มีแรงที่เกี่ยวข้องด้วยกันหลายสิ่งแต่ในที่นี้จะพิจารณาเพียง 3 สิ่งได้แก่ แรงที่เกิดจากผลต่างของแรงดันแรงโน้มถ่วงของโลก และแรงเสียดทานที่ท้องน้ำกระทำกับของไหล นั่นคือ

$$F = F_p + F_g + F_{fx} \quad (3.10)$$

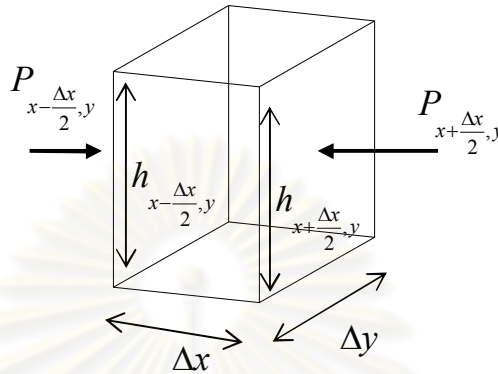
เมื่อ  $F_p$  คือค่าของแรงที่เกิดจากผลต่างของแรงดัน  $F_g$  คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลก และ  $F_{fx}$  คือค่าแรงเสียดทานที่ท้องน้ำกระทำกับของไหล

ดังนั้นจากสมการ (3.9) และ (3.10) จะได้ว่า

$$\frac{\partial(\rho Q_x \Delta x)}{\partial t} + \frac{\partial(u\rho Q_x \Delta x)}{\partial x} + \frac{\partial(v\rho Q_x \Delta x)}{\partial y} = F_p + F_g + F_{fx} \quad (3.11)$$

จากสมการ (3.11) จะเห็นได้ว่าจะต้องพิจารณาหาสมการที่จะมาอธิบายแรงต่าง ๆ ที่มากระทำกับของไหลโดยสามารถพิจารณาแรงที่มากระทำในแต่ละส่วนได้ดังนี้

### แรงที่เกิดจากผลต่างของแรงดัน (The pressure force)



รูปที่ 3.2 ภาพแรงดันที่กระทำกับของไหล

พิจารณาแรงดันที่เกิดขึ้น ณ จุด  $x, y$  จากผลต่างของแรงดันที่หน้าตัด  $x - \frac{\Delta x}{2}, y$  กับหน้าตัดที่  $x + \frac{\Delta x}{2}, y$  จะได้ว่า

$$F_p = \Delta P = P_{x-\frac{\Delta x}{2},y} - P_{x+\frac{\Delta x}{2},y}$$

เนื่องจาก  $P = \rho \cdot g \cdot h$  ดังนั้นจะได้ว่า

$$F_p = (\rho \cdot g \cdot h)_{x-\frac{\Delta x}{2}} - (\rho \cdot g \cdot h)_{x+\frac{\Delta x}{2}}$$

โดยการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์รอบจุด  $x, y$  จะได้ว่า

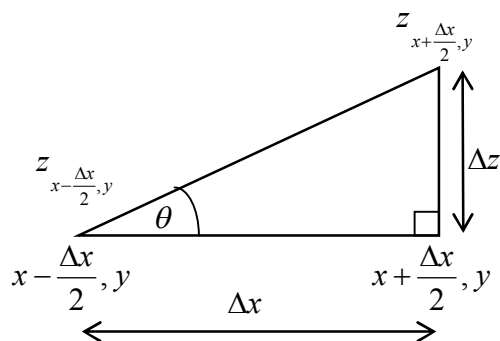
$$F_p = -\frac{\partial(\rho \cdot g \cdot h)}{\partial x} \Delta x$$

ดังนั้นแรงดันที่กระทำกับทั้งพื้นที่หน้าตัดของน้ำคือ

$$F_p = -\frac{\partial(\rho \cdot g \cdot h)}{\partial x} \Delta x A = -\frac{\partial(\rho \cdot g \cdot h)}{\partial x} \Delta x \Delta y h \quad (3.12)$$

เมื่อ  $A$  คือพื้นที่หน้าตัดของน้ำในปริมาตรควบคุม

### แรงโน้มถ่วงของโลก (The gravitational force)



รูปที่ 3.3 ภาพตัดตามยาวแสดงความสูงของภูมิประเทศ

สำหรับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับของไหลสามารถพิจารณาจาก

$$F_g = mg \sin \theta = \rho \Delta x \Delta y h g \sin \theta$$

โดยที่  $\theta$  คือมุมที่ท้องน้ำกระทำต่อแนวราบ

จากรูปที่ 3.3 สามารถพิจารณาค่าของ  $\sin \theta$  ได้ดังนี้

$$\sin \theta = \frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2}}$$

โดยที่  $z$  คือความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ

ดังนั้นจะได้ว่า

$$F_g = \rho \Delta x \Delta y h g \frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2}} \quad (3.13)$$

เนื่องจาก  $\Delta z = z_{x + \frac{\Delta x}{2}, y} - z_{x - \frac{\Delta x}{2}, y}$  เมื่อทำการกระจายด้วยอนุกรมเทย์เลอร์จะได้ว่า

$$\Delta z = \frac{\partial z}{\partial x} \Delta x \quad (3.14)$$

เมื่อแทนค่าจากสมการ (3.14) ลงในสมการ (3.13) จะได้ว่าค่าของแรงโน้มถ่วงของโลกคือ

$$F_g = \rho \Delta x \Delta y h g \frac{\frac{\partial z}{\partial x} \Delta x}{\sqrt{\Delta x^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x} \Delta x\right)^2}} = \rho \Delta x \Delta y h g \frac{\partial z}{\partial x} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2}} \quad (3.15)$$

โดยการหารพหุนามจะได้ว่า

$$\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2}} = \sqrt{1-\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^4 + \dots} \quad (3.16)$$

แทนค่าจากสมการ (3.16) ลงในสมการ (3.15) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} F_g &= \rho \Delta x \Delta y h g \frac{\partial z}{\partial x} \sqrt{1-\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^4 + \dots} \\ &= \rho \Delta x \Delta y h g \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 - \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^4 + \dots} \\ &= \rho \Delta x \Delta y h g \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + O\left(\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^4\right)} \\ &\approx \rho \Delta x \Delta y h g \frac{\partial z}{\partial x} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะใช้ค่าของแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นดังนี้

$$F_g = \rho \Delta x \Delta y h g \frac{\partial z}{\partial x} \quad (3.17)$$

**แรงเสียดทานที่ท้องน้ำกระทำกับของไหล (The bed frictions force)**

สำหรับแรงเสียดทานที่ท้องน้ำกระทำกับของไหลนั้นจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ตามสมการของ Manning ดังนี้

$$S_{fx} = \frac{n^2 |Q| Q_x}{h^{4/3} A^2} = \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} u}{h^{4/3}} \quad \text{และ} \quad S_{fy} = \frac{n^2 |Q| Q_y}{h^{4/3} A^2} = \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} v}{h^{4/3}}$$

และจะได้ว่าแรงเสียดทานที่ท้องน้ำกระทำกับของไหลทั้งปริมาตรควบคุมคือ

$$F_{fx} = -\rho g S_{fx} V = -\rho g S_{fx} \Delta x \Delta y h = -\rho g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} u \Delta x \Delta y h}{h^{4/3}} \quad (3.18)$$

นำความสัมพันธ์ของแรงที่มากระทำกับของไหลซึ่งได้แก่ค่า  $F_p$ ,  $F_g$  และ  $F_{fx}$  จากสมการ (3.12), (3.17) และ (3.18) แทนลงในสมการ (3.11) จะได้ว่า

$$\frac{\partial(\rho Q_x \Delta x)}{\partial t} + \frac{\partial(u\rho Q_x \Delta x)}{\partial x} + \frac{\partial(v\rho Q_x \Delta x)}{\partial y} = \rho \Delta x \Delta y \left[ -g \frac{\partial h}{\partial x} h + gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} uh}{h^{4/3}} \right]$$

เนื่องจาก  $\rho \Delta x \Delta y$  เป็นค่าคงที่ดังนั้นจะทำการหารตลอดด้วย  $\rho \Delta x \Delta y$  จะได้ว่า

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2 h)}{\partial x} + \frac{\partial(vuh)}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial x} h + gh \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} uh}{h^{4/3}}$$

ดังนั้นอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความยาวตามแนวแกน x คือ

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2 h)}{\partial x} + \frac{\partial(vuh)}{\partial y} + \frac{g}{2} \frac{\partial h^2}{\partial x} = gh \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} uh}{h^{4/3}} \quad (3.19)$$

ในทำนองเดียวกันจะได้ว่าอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความยาวตามแนวแกน y คือ

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2 h)}{\partial y} + \frac{g}{2} \frac{\partial h^2}{\partial y} = gh \frac{\partial z}{\partial y} - g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} vh}{h^{4/3}} \quad (3.20)$$

จากสมการ (3.8), (3.19) และ (3.20) จะได้แบบจำลองสำหรับการจำลองน้ำท่วมเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} &= q \\ \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2 h)}{\partial x} + \frac{\partial(vuh)}{\partial y} + \frac{g}{2} \frac{\partial h^2}{\partial x} &= gh \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} uh}{h^{4/3}} \\ \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2 h)}{\partial y} + \frac{g}{2} \frac{\partial h^2}{\partial y} &= gh \frac{\partial z}{\partial y} - g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2} vh}{h^{4/3}} \end{aligned} \quad (3.21)$$

เมื่อ  $h$  คือความลึกของน้ำ (เมตร)  $u, v$  คือความเร็วของการไหล (เมตร/วินาที) ตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ  $z$  คือความสูงของภูมิประเทศ (เมตร)  $n$  คือสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (วินาที/เมตร<sup>1/3</sup>)  $g$  คือความเร่งโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที<sup>2</sup>)  $q$  คืออัตราน้ำฝน (เมตร/วินาที) และ  $t$  คือเวลา (วินาที)

โดยระบบสมการ (3.21) สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \frac{\partial f(\bar{w})}{\partial x} + \frac{\partial g(\bar{w})}{\partial y} = \bar{z} + \bar{s} \quad (3.22)$$

$$\text{โดยที่ } \bar{w} = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix}, \quad f(\bar{w}) = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + g \frac{h^2}{2} \\ uvh \end{bmatrix}, \quad g(\bar{w}) = \begin{bmatrix} vh \\ vuh \\ v^2h + g \frac{h^2}{2} \end{bmatrix}, \quad \bar{z} = \begin{bmatrix} 0 \\ gh \frac{\partial z}{\partial x} \\ gh \frac{\partial z}{\partial y} \end{bmatrix}$$

$$\text{และ } \bar{s} = \begin{bmatrix} q \\ -\frac{gn^2 \sqrt{u^2 + v^2} uh}{(h)^{4/3}} \\ -\frac{gn^2 \sqrt{u^2 + v^2} vh}{(h)^{4/3}} \end{bmatrix}$$

และสามารถเขียนสมการ (3.22) ในรูปคเวอซีลิเนียร์โดยใช้กฎลูกโซ่ได้ดังนี้

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \frac{\partial g(\bar{w})}{\partial \bar{w}} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} = \bar{z} + \bar{s} \quad (3.23)$$

พิจารณาค่าเมทริกซ์จาโคเบียน  $\frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$  และ  $\frac{\partial g(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$  ได้ดังนี้

$$\frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial uh}{\partial h} & \frac{\partial uh}{\partial uh} & \frac{\partial uh}{\partial vh} \\ \frac{\partial \left( \frac{(uh)^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right)}{\partial \frac{uh}{h}} & \frac{\partial \left( \frac{(uh)^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right)}{\partial \frac{uh}{h}} & \frac{\partial \left( \frac{(uh)^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right)}{\partial \frac{vh}{h}} \\ \frac{\partial \frac{uhvh}{h}}{\partial h} & \frac{\partial \frac{uhvh}{h}}{\partial uh} & \frac{\partial \frac{uhvh}{h}}{\partial vh} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -u^2 + gh & 2u & 0 \\ -uv & v & u \end{bmatrix}$$

โดยสามารถหาค่าเฉพาะของเมทริกซ์ดังกล่าวได้จาก

$$\det \left( \frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}} - \lambda I \right) = 0$$



เนื่องจาก

$$\det\left(\frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}} - \lambda I\right) = \begin{vmatrix} -\lambda & 1 & 0 \\ -u^2 + gh & 2u - \lambda & 0 \\ -uv & v & u - \lambda \end{vmatrix} = (-\lambda)(2u - \lambda)(u - \lambda) - (u - \lambda)(-u^2 + gh)$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ว่า} \quad (-\lambda)(2u - \lambda)(u - \lambda) - (u - \lambda)(-u^2 + gh) = 0 \quad (3.24)$$

ซึ่งจะได้ค่าเฉพาะของเมทริกซ์จาโคเบียน  $\frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$  จากการหาคำรากของสมการ (3.24) ดังนี้

$$\lambda_{x1} = u - \sqrt{gh}, \quad \lambda_{x2} = u, \quad \lambda_{x3} = u + \sqrt{gh}$$

เมื่อ  $\lambda_{x1}, \lambda_{x2}, \lambda_{x3}$  คือค่าเฉพาะของเมทริกซ์จาโคเบียน  $\frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$

ในทางคล้ายกันจะได้ค่าของเมทริกซ์จาโคเบียน  $\frac{\partial g(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$  เป็นดังนี้

$$\frac{\partial g(\bar{w})}{\partial \bar{w}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -uv & v & u \\ -v^2 + gh & 0 & 2v \end{bmatrix}$$

ซึ่งเมทริกซ์ดังกล่าวมีค่าเฉพาะเป็นดังนี้

$$\lambda_{y1} = v - \sqrt{gh}, \quad \lambda_{y2} = v, \quad \lambda_{y3} = v + \sqrt{gh}$$

เมื่อ  $\lambda_{y1}, \lambda_{y2}, \lambda_{y3}$  คือค่าเฉพาะของเมทริกซ์จาโคเบียน  $\frac{\partial g(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$

ค่าเฉพาะของเมทริกซ์จาโคเบียน  $\frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$  และ  $\frac{\partial g(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$  นั้นจะได้นำไปใช้ในการคำนวณหา

คำตอบของระบบสมการ (3.21) เพื่อใช้สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม ซึ่งจะได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีเหล่านั้นในบทถัดไป

## บทที่ 4

### ขั้นตอนวิธีการคำนวณหาผลลัพธ์จากแบบจำลอง

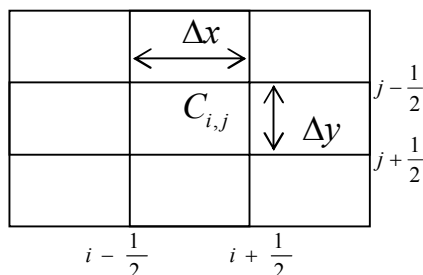
จากที่ได้เกริ่นเอาไว้แล้วในตอนต้นของบทที่ 3 ว่าแบบจำลองในงานวิจัยนี้อยู่บนพื้นฐานของสมการน้ำตื้นซึ่งเป็นสมการที่ใช้สำหรับการจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำและบริเวณที่เป็นชายฝั่งนั้น ในขั้นตอนการหาผลลัพธ์จากแบบจำลองดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีแบบแผนการคำนวณที่ไม่ทำให้แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาดในเชิงกายภาพดังเช่นบางงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังนั้นแบบจำลองและแบบแผนการคำนวณในงานวิจัยนี้จึงต้องมีคุณสมบัติ 3 สิ่งดังนี้

- 1) แบบจำลองสามารถจัดการกับการจำลองน้ำไหลผ่านสิ่งกีดขวางประเภทผนัง สิ่งกีดขวางประเภทนูนสูง และการไหลของน้ำบนพื้นผิวภูมิประเทศได้
- 2) ผลรวมผลลัพธ์ปริมาณของน้ำที่ได้จากแบบจำลองจะต้องเท่ากับปริมาณของน้ำที่มีอยู่เดิมรวมกับปริมาณของน้ำที่เพิ่มเข้ามาในระบบที่กำลังคำนวณ
- 3) ผลลัพธ์ควมลึกของน้ำที่ได้จากแบบจำลองต้องมีค่าไม่เป็นลบ

ในการหาผลลัพธ์จากแบบจำลองดังที่ได้แสดงไว้ในระบบสมการ (3.21) ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีปริมาตรจำกัดซึ่งเป็นวิธีที่มีผู้นำไปใช้ในการแก้ปัญหสมการน้ำตื้นกันอย่างแพร่หลาย กับวิธี HLL [15] เพื่อใช้สำหรับการคำนวณค่าฟลักซ์ และที่ขาดไม่ได้คือวิธีการจัดการกับสิ่งกีดขวางที่จะทำให้แบบจำลองไม่เกิดข้อผิดพลาดในเชิงกายภาพต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ทำให้การจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมสมบูรณ์และถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยขั้นตอนวิธีการคำนวณในแต่ละส่วนสามารถแสดงได้ดังนี้

#### 4.1 วิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method)

วิธีปริมาตรจำกัดเป็นวิธีเชิงตัวเลขที่หาคำตอบของปัญหาในรูปแบบของปริพันธ์ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการดังกล่าวมาใช้หาคำตอบของระบบสมการ (3.21) เพื่อใช้สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมโดยในการหาผลลัพธ์จะมองข้อมูลเป็นเซลล์สี่เหลี่ยมบนกริดข้อมูล 2 มิติ ดังรูป



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงกริดข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์

โดยในแต่ละเซลล์จะแทนด้วย  $C_{i,j}$  ซึ่งจะมีข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ความลึกของน้ำ ( $h_{i,j}$ ) อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความยาว ( $uh_{i,j}, vh_{i,j}$ ) และความสูงของพื้นดิน ( $z_{i,j}$ ) อยู่ในแต่ละเซลล์โดยในการคำนวณในแต่ละรอบการทำซ้ำจะคำนวณในแต่ละเซลล์จนครบทุกเซลล์ที่ต้องการคำนวณซึ่งรายละเอียดของวิธีการปริมาตรจำกัดในการหาผลลัพธ์ที่ต้องการเป็นดังนี้

จากระบบสมการ (3.21) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \frac{\partial f(\bar{w})}{\partial x} + \frac{\partial g(\bar{w})}{\partial y} = \bar{z} + \bar{s} \quad (4.1)$$

ทำการอินทิเกรตตลอดสมการ (4.1) บนเซลล์  $C_{i,j}$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \iint_{C_{i,j}} \bar{w} dx dy + \iint_{C_{i,j}} \frac{\partial f(\bar{w})}{\partial x} dx dy + \iint_{C_{i,j}} \frac{\partial g(\bar{w})}{\partial y} dx dy &= \iint_{C_{i,j}} (\bar{z} + \bar{s}) dx dy \\ \frac{\partial}{\partial t} \iint_{C_{i,j}} \bar{w} dx dy + \int_{j-1/2}^{j+1/2} f(\bar{w})_{i-1/2}^{i+1/2} dy + \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(\bar{w})_{j-1/2}^{j+1/2} dx &= \iint_{C_{i,j}} (\bar{z} + \bar{s}) dx dy \end{aligned} \quad (4.2)$$

ต่อไปทำการอินทิเกรตสมการ (4.2) ในเวลาตั้งแต่เวลาที่  $n$  จนถึง  $n+1$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \iint_{C_{i,j}} \bar{w}|_n^{n+1} dx dy + \int_n^{n+1} \int_{j-1/2}^{j+1/2} f(\bar{w})_{i-1/2}^{i+1/2} dy dt + \int_n^{n+1} \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(\bar{w})_{j-1/2}^{j+1/2} dx dt &= \int_n^{n+1} \iint_{C_{i,j}} (\bar{z} + \bar{s}) dx dy dt \\ \iint_{C_{i,j}} \bar{w}^{n+1} dx dy - \iint_{C_{i,j}} \bar{w}^n dx dy &= - \left[ \int_n^{n+1} \int_{j-1/2}^{j+1/2} f(\bar{w}_{i+1/2,y}) dy dt - \int_n^{n+1} \int_{j-1/2}^{j+1/2} f(\bar{w}_{i-1/2,y}) dy dt \right] \\ &\quad - \left[ \int_n^{n+1} \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(\bar{w}_{x,j+1/2}) dx dt - \int_n^{n+1} \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(\bar{w}_{x,j-1/2}) dx dt \right] \\ &\quad + \int_n^{n+1} \iint_{C_{i,j}} \bar{z} dx dy dt + \int_n^{n+1} \iint_{C_{i,j}} \bar{s} dx dy dt \end{aligned} \quad (4.3)$$

หารตลอดสมการที่ (4.3) ด้วยพื้นที่ของเซลล์  $\Delta x \cdot \Delta y$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta x \cdot \Delta y} \iint_{C_{i,j}} \bar{w}^{n+1} dx dy &= \frac{1}{\Delta x \cdot \Delta y} \iint_{C_{i,j}} \bar{w}^n dx dy \\ &- \frac{1}{\Delta x \cdot \Delta y} \left[ \int_n^{n+1} \int_{j-1/2}^{j+1/2} f(\bar{w}_{i+1/2,y}) dy dt - \int_n^{n+1} \int_{j-1/2}^{j+1/2} f(\bar{w}_{i-1/2,y}) dy dt \right] \\ &- \frac{1}{\Delta x \cdot \Delta y} \left[ \int_n^{n+1} \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(\bar{w}_{x,j+1/2}) dx dt - \int_n^{n+1} \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(\bar{w}_{x,j-1/2}) dx dt \right] \\ &+ \frac{1}{\Delta x \cdot \Delta y} \int_n^{n+1} \iint_{C_{i,j}} \bar{z} dx dy dt + \frac{1}{\Delta x \cdot \Delta y} \int_n^{n+1} \iint_{C_{i,j}} \bar{s} dx dy dt \end{aligned}$$

และจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta x \cdot \Delta y} \iint_{C_{i,j}} \bar{w}^{n+1} dx dy &= \frac{1}{\Delta x \cdot \Delta y} \iint_{C_{i,j}} \bar{w}^n dx dy \\ &- \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \frac{1}{\Delta t \cdot \Delta y} \int_n^{n+1} \int_{j-1/2}^{j+1/2} f(\bar{w}_{i+1/2,y}) dy dt - \frac{1}{\Delta t \cdot \Delta y} \int_n^{n+1} \int_{j-1/2}^{j+1/2} f(\bar{w}_{i-1/2,y}) dy dt \right] \\ &- \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[ \frac{1}{\Delta t \cdot \Delta x} \int_n^{n+1} \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(\bar{w}_{x,j+1/2}) dx dt - \frac{1}{\Delta t \cdot \Delta x} \int_n^{n+1} \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(\bar{w}_{x,j-1/2}) dx dt \right] \\ &+ \Delta t \left[ \frac{1}{\Delta t \cdot \Delta x \cdot \Delta y} \int_n^{n+1} \iint_{C_{i,j}} \bar{z} dx dy dt + \frac{1}{\Delta t \cdot \Delta x \cdot \Delta y} \int_n^{n+1} \iint_{C_{i,j}} \bar{s} dx dy dt \right] \end{aligned}$$

ซึ่งสามารถจัดรูปสมการดังกล่าวได้เป็นดังนี้

$$\bar{W}_{i,j}^{n+1} = \bar{W}_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} [\bar{F}_{i+1/2,j}^n - \bar{F}_{i-1/2,j}^n] - \frac{\Delta t}{\Delta y} [\bar{G}_{i,j+1/2}^n - \bar{G}_{i,j-1/2}^n] + \Delta t \bar{Z}_{i,j}^n + \Delta t \bar{S}_{i,j}^n \quad (4.4)$$

โดยที่  $\bar{W}_{i,j}^n$  คือค่าประมาณคำตอบของเซลล์  $C_{i,j}$  ที่เวลา  $n$

$\bar{F}_{i-1/2,j}^n, \bar{F}_{i+1/2,j}^n$  คือค่าประมาณของฟลักซ์ที่จุด  $i-1/2, j$  และ  $i+1/2, j$

$\bar{G}_{i,j-1/2}^n, \bar{G}_{i,j+1/2}^n$  คือค่าประมาณของฟลักซ์ที่จุด  $i, j-1/2$  และ  $i, j+1/2$

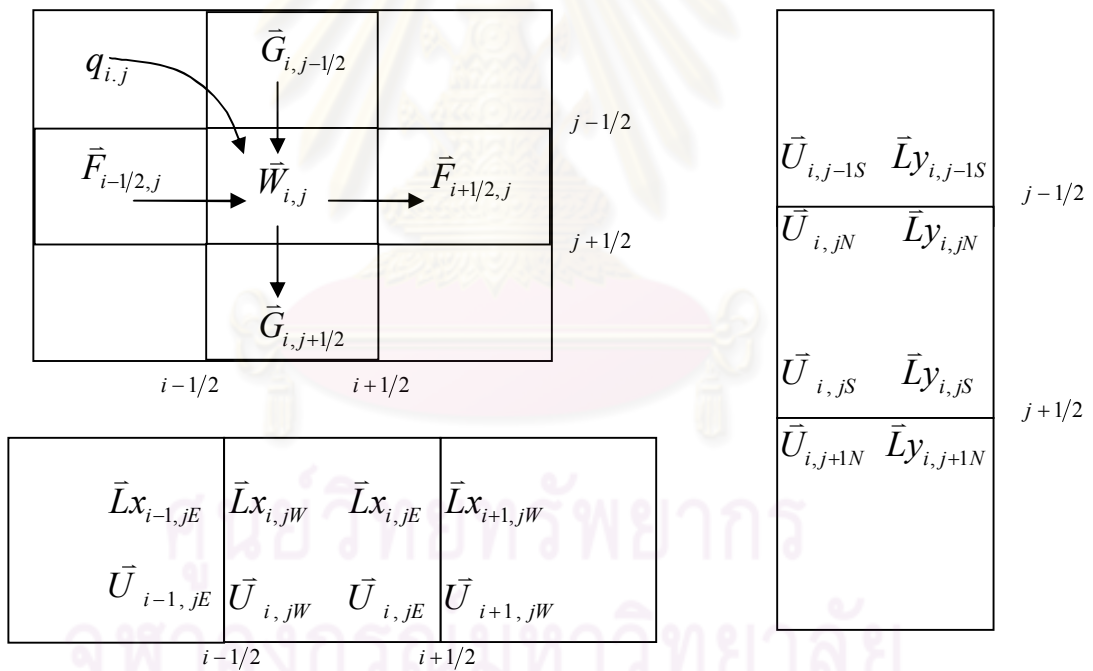
$\bar{Z}_{i,j}^n, \bar{S}_{i,j}^n$  คือเวกเตอร์พจน์แรงโน้มถ่วงของโลกและเวกเตอร์พจน์แหล่งต้นทาง

สมการที่ได้มาตามสมการ (4.4) นั้นจะได้นำไปใช้ในการหาค่าผลลัพธ์เชิงตัวเลขซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการดังกล่าวไม่สามารถที่จะหาคำตอบโดยการแทนค่าข้อมูลได้โดยตรงเนื่องจากข้อมูลที่จุด  $i-1/2, j$   $i+1/2, j$   $i, j-1/2$  และ  $i, j+1/2$  นั้นไม่มี ดังนั้นในการหาค่าผลลัพธ์จึงต้องมีวิธีการที่จะประมาณค่าฟลักซ์ที่จุดต่าง ๆ ตามที่สมการ (4.4) ต้องการ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

### 4.2 การคำนวณค่าฟลักซ์ (Flux Calculation)

จากหัวข้อที่แล้วเราได้สมการ (4.4) ซึ่งเป็นสมการที่จะนำมาใช้ในการหาผลลัพท์ของแบบจำลองซึ่งในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการคำนวณหาค่าฟลักซ์ที่ขอบทั้งสองด้านของเซลล์ที่กำลังคำนวณอยู่ซึ่งได้แก่  $\bar{F}_{i-1/2,j}^n$ ,  $\bar{F}_{i+1/2,j}^n$ ,  $\bar{G}_{i,j-1/2}^n$  และ  $\bar{G}_{i,j+1/2}^n$  โดยที่ค่าฟลักซ์เหล่านี้จะถูกคำนวณด้วยวิธีการคำนวณค่าฟลักซ์เชิงตัวเลข (numerical flux) โดยการประยุกต์ใช้วิธี HLL

วิธี HLL ถูกพัฒนาขึ้นโดย A.Harten P.Lax และ B. Van Leer ในปี 1983 ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับการแก้ปัญหาในระบบสมการไฮเพอโบลิกและปัญหาความไม่ต่อเนื่องที่ถูกเรียกว่า “ปัญหาของรีมันน์” (Riemann Problem [6]) แต่ในการคำนวณในเรื่องของการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางบนพื้นผิวภูมิประเทศนั้นนอกจากจะใช้การคำนวณหาค่าฟลักซ์จากวิธี HLL แล้วยังต้องมีวิธีการเพิ่มเติมในการควบคุมเรื่องสิ่งกีดขวางด้วยเพื่อไม่ให้ผลลัพท์เกิดความผิดพลาดและมีคุณสมบัติของแบบจำลองตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นของบทนี้ โดยวิธีการที่เพิ่มเติมมานั้นได้ถูกค้นพบในงานวิจัยของ O. Delestre et al. [26] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่จะใช้ในการคำนวณค่าฟลักซ์ตามแนวแกน x และ y

จากรูปที่ 4.2 การคำนวณหาของฟลักซ์  $\bar{F}_{i-1/2,j}^n$ ,  $\bar{F}_{i+1/2,j}^n$ ,  $\bar{G}_{i,j-1/2}^n$  และ  $\bar{G}_{i,j+1/2}^n$  สามารถหาได้จากสูตรการคำนวณตามสมการ (4.5)-(4.8) ดังนี้

$$\bar{F}_{i-1/2,j}^n = F(\bar{U}_{i-1,jE}^n, \bar{U}_{i,jW}^n) + \bar{L}x_{i,jW}^n \quad (4.5)$$

$$\bar{F}_{i+1/2,j}^n = F(\bar{U}_{i,jE}^n, \bar{U}_{i+1,jW}^n) + \bar{L}x_{i,jE}^n \quad (4.6)$$

$$\bar{G}_{i,j-1/2}^n = G(\bar{U}_{i,j-1S}^n, \bar{U}_{i,jN}^n) + \bar{L}y_{i,jN}^n \quad (4.7)$$

$$\bar{G}_{i,j+1/2}^n = G(\bar{U}_{i,jS}^n, \bar{U}_{i,j+1N}^n) + \bar{L}y_{i,jS}^n \quad (4.8)$$

$$\text{โดยที่ } \bar{F} = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix}, \bar{G} = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix}, \bar{U} = \begin{bmatrix} l \\ u \\ v \end{bmatrix}, \bar{L}x = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{g}{2}(h^2 - l^2) \\ 0 \end{bmatrix} \text{ และ } \bar{L}y = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{g}{2}(h^2 - l^2) \end{bmatrix}$$

เมื่อ  $l$  คือความลึกของการไหล  $u, v$  คือความเร็วของการไหลตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ  $h$  คือความลึกของน้ำ และ  $uh, vh$  คืออัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความยาวตามแนวแกน  $x$  และ  $y$

จากสมการที่ (4.5) - (4.8) นั้นมีสิ่งหนึ่งที่สำคัญคือการคำนวณค่าของฟังก์ชัน  $F(\bar{U}_W, \bar{U}_E)$  และ  $G(\bar{U}_N, \bar{U}_S)$  ซึ่งจะคำนวณด้วยวิธี HLL ดังนี้

$$F(\bar{U}_W, \bar{U}_E) = \frac{a^+ \cdot f(\bar{U}_W) - a^- \cdot f(\bar{U}_E) + a^+ \cdot a^- \cdot (w(\bar{U}_E) - w(\bar{U}_W))}{a^+ - a^-} \quad (4.9)$$

$$G(\bar{U}_N, \bar{U}_S) = \frac{b^+ \cdot g(\bar{U}_N) - b^- \cdot g(\bar{U}_S) + b^+ \cdot b^- \cdot (w(\bar{U}_S) - w(\bar{U}_N))}{b^+ - b^-} \quad (4.10)$$

$$\text{เมื่อ } f(\bar{U}) = \begin{bmatrix} u \cdot l \\ u^2 \cdot l + g \cdot \frac{l^2}{2} \\ u \cdot v \cdot l \end{bmatrix}, g(\bar{U}) = \begin{bmatrix} v \cdot l \\ v \cdot u \cdot l \\ v^2 \cdot l + g \cdot \frac{l^2}{2} \end{bmatrix} \text{ และ } w(\bar{U}) = \begin{bmatrix} l \\ u \cdot l \\ v \cdot l \end{bmatrix}$$

โดยที่  $a^+, a^-, b^+, b^-$  คือความเร็วคลื่นซึ่งสามารถคำนวณค่าได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$a^+ = \max(u_W + \sqrt{g \cdot l_W}, u_E + \sqrt{g \cdot l_E}, 0) \quad (4.11)$$

$$a^- = \min(u_W - \sqrt{g \cdot l_W}, u_E - \sqrt{g \cdot l_E}, 0) \quad (4.12)$$

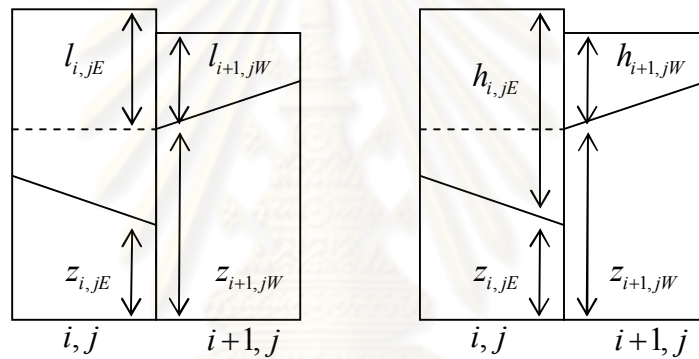


$$b^+ = \max(v_N + \sqrt{g \cdot l_N}, v_S + \sqrt{g \cdot l_S}, 0) \quad (4.13)$$

$$b^- = \min(v_N - \sqrt{g \cdot l_N}, v_S - \sqrt{g \cdot l_S}, 0) \quad (4.14)$$

โดยที่ค่า  $u_W \pm \sqrt{g \cdot l_W}$ ,  $u_E \pm \sqrt{g \cdot l_E}$ ,  $v_N \pm \sqrt{g \cdot l_N}$  และ  $v_S \pm \sqrt{g \cdot l_S}$  คือค่าเฉพาะของจาโคเบียนเมทริกซ์  $\frac{\partial f(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$  และ  $\frac{\partial g(\bar{w})}{\partial \bar{w}}$

นอกจากค่าฟังก์ชัน  $F(\bar{U}_W, \bar{U}_E)$  และ  $G(\bar{U}_N, \bar{U}_S)$  ที่สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (4.9) และ (4.10) แล้ว ยังต้องมีการพิจารณาหาค่าของความลึกของการไหล ( $l$ ) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่จะคอยควบคุมการจำลองการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงค่าความลึกของการไหลและความลึกของน้ำระหว่างเซลล์  $C_{i,j}$  และ  $C_{i+1,j}$

ค่าความลึกของการไหลในงานวิจัยนี้นั้นก็คือค่าความลึกของน้ำเฉพาะส่วนที่สามารถไหลจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งได้ (ดูรูปที่ 4.3) ซึ่งการหาค่าความลึกของการไหลระหว่างเซลล์สองเซลล์ที่อยู่ติดกันสามารถพิจารณาหาค่าได้ดังนี้

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่ากรณีที่กำลังพิจารณาอยู่เป็นกรณีที่  $z_{i,jE} < z_{i+1,jW}$  ซึ่งจะได้ค่าความลึกของการไหล  $l_{i,jE}$  ซึ่งก็คือค่าความลึกของน้ำที่สามารถไหลจาก  $C_{i,j}$  ไปยัง  $C_{i+1,j}$  เป็นดังนี้

$$l_{i,jE} = h_{i,jE} + z_{i,jE} - z_{i+1,jW}$$

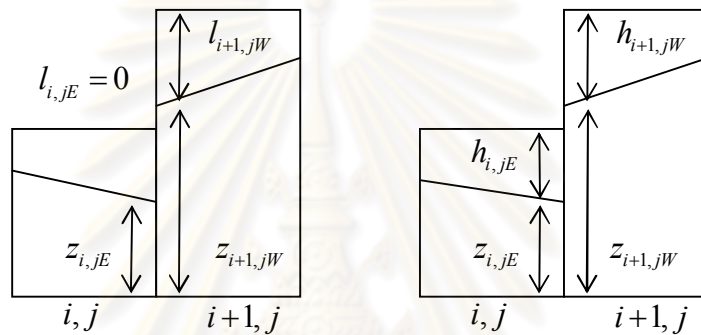
แต่ถ้าเป็นกรณีที่  $z_{i,jE} \geq z_{i+1,jW}$  นั้นจะได้ว่าค่า  $l_{i,jE}$  คือ

$$l_{i,jE} = h_{i,jE} + z_{i,jE} - z_{i,jE}$$

ดังนั้นถ้าพิจารณาทั้งสองกรณีรวมกันจะได้ว่า

$$l_{i,jE} = h_{i,jE} + z_{i,jE} - \max(z_{i,jE}, z_{i+1,jW}) \quad (4.15)$$

แต่เนื่องจากค่าที่ได้จากสมการ (4.15) นั้นอาจมีกรณีที่ค่าความลึกของการไหลมีค่าติดลบซึ่งค่าความลึกของการไหลที่มีค่าเป็นลบนั้นไม่ถูกต้องตามความเป็นจริงและอาจทำให้การคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลองผิดพลาดได้ ซึ่งในกรณีที่ค่าความลึกของการไหลมีค่าเป็นลบนั้นสามารถพิจารณาจากรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงค่าความลึกของการไหลและความลึกของน้ำระหว่างเซลล์  $C_{i,j}$  และ  $C_{i+1,j}$

จากรูปจะเห็นได้ว่ากรณีดังกล่าวนั้นความลึกของการไหล  $l_{i,jE}$  นั้นควรมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากน้ำที่  $C_{i,j}$  ไม่สามารถไหลไปยัง  $C_{i+1,j}$  ได้ ดังนั้นสมการ (4.15) จึงควรแก้ไขเป็นดังนี้

$$l_{i,jE} = \max(0, h_{i,jE} + z_{i,jE} - \max(z_{i,jE}, z_{i+1,jW})) \quad (4.16)$$

โดยในการคำนวณค่าฟลักซ์  $\bar{F}_{i-1/2,j}^n$ ,  $\bar{F}_{i+1/2,j}^n$ ,  $\bar{G}_{i,j-1/2}^n$  และ  $\bar{G}_{i,j+1/2}^n$  นั้นจะต้องทำการคำนวณหาค่าความลึกของการไหลที่ขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์ทั้งไหลเข้าและออกดังนี้

$$l_{i,jW} = \max(0, h_{i,jW} + z_{i,jW} - \max(z_{i-1,jE}, z_{i,jW})) \quad (4.17)$$

$$l_{i,jE} = \max(0, h_{i,jE} + z_{i,jE} - \max(z_{i,jE}, z_{i+1,jW})) \quad (4.18)$$

$$l_{i,jN} = \max(0, h_{i,jN} + z_{i,jN} - \max(z_{i,j-1S}, z_{i,jN})) \quad (4.19)$$

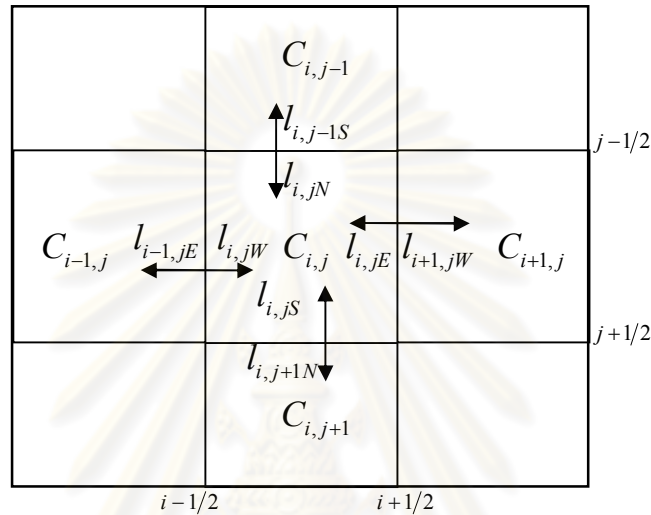
$$l_{i,jS} = \max(0, h_{i,jS} + z_{i,jS} - \max(z_{i,jS}, z_{i,j+1N})) \quad (4.20)$$

$$l_{i-1,jE} = \max(0, h_{i-1,jE} + z_{i-1,jE} - \max(z_{i-1,jE}, z_{i,jW})) \quad (4.21)$$

$$l_{i+1,jW} = \max(0, h_{i+1,jW} + z_{i+1,jW} - \max(z_{i,jE}, z_{i+1,jW})) \quad (4.22)$$

$$l_{i,j-1S} = \max(0, h_{i,j-1S} + z_{i,j-1S} - \max(z_{i,j-1S}, z_{i,jN})) \quad (4.23)$$

$$l_{i,j+1N} = \max(0, h_{i,j+1N} + z_{i,j+1N} - \max(z_{i,jS}, z_{i,j+1N})) \quad (4.24)$$



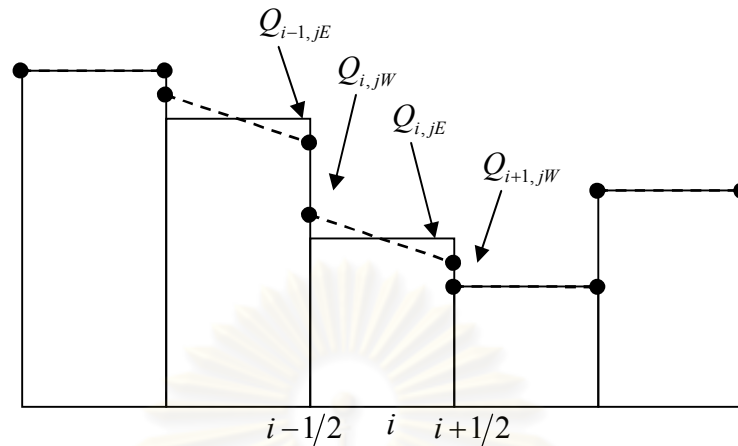
รูปที่ 4.5 ภาพแสดงค่าความลึกของการไหลที่ไหลเข้าและออก  $C_{i,j}$  ทั้งสี่ด้าน

จากสูตรการคำนวณต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าฟลักซ์นั้นจะเห็นได้ว่าแต่ละค่าฟลักซ์ต้องการข้อมูล ณ จุดที่อยู่ขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์ แต่ข้อมูลที่มีนั้นจะอยู่ที่จุดกึ่งกลางของแต่ละเซลล์ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการที่จะสร้างชุดข้อมูลใหม่ตรงบริเวณขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์ เพื่อที่จะนำข้อมูลใหม่เหล่านั้นมาใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ ซึ่งวิธีการสร้างข้อมูลตรงบริเวณขอบของแต่ละเซลล์นั้นจะได้กล่าวถึงในหัวข้อการสร้างข้อมูลใหม่ต่อไป

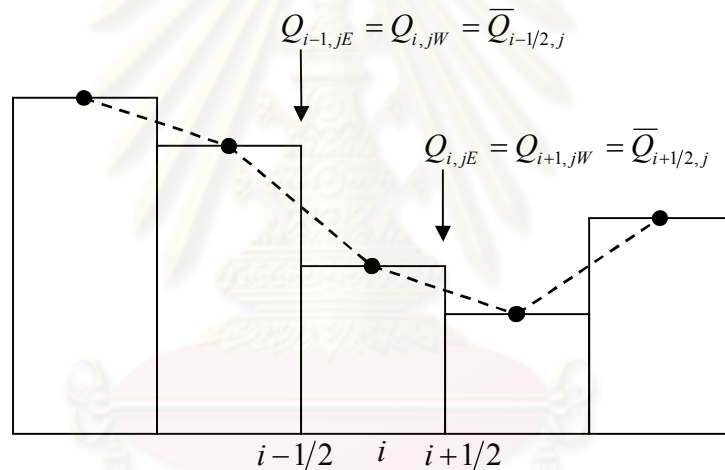
### 4.3 การสร้างข้อมูลใหม่ (Reconstruction)

จากหัวข้อที่แล้วจะเห็นได้ว่าสูตรการคำนวณต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าฟลักซ์นั้นต้องการข้อมูลตรงบริเวณที่ขอบของแต่ละเซลล์ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะได้อธิบายถึงวิธีการสร้างข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการคำนวณค่าฟลักซ์รวมถึงข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าของแรงโน้มถ่วงของโลกด้วย ซึ่งข้อมูลที่จะสร้างขึ้นใหม่นั้นอาจใช้ค่าจากจุดศูนย์กลางของแต่ละเซลล์มากำหนดให้กับข้อมูลที่ขอบของเซลล์โดยตรงนั่นคือการกำหนดให้  $Q_{i,jW}^n = Q_{i,jE}^n = Q_{i,jN}^n = Q_{i,jS}^n = Q_{i,j}^n$  แต่การสร้างข้อมูลด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้มีค่าความถูกต้องเพียงอันดับหนึ่งจึงต้องมีวิธีการสร้างข้อมูลที่จะเพิ่มความถูกต้องให้แก่ผลลัพธ์โดยการนำข้อมูลที่อยู่ ณ จุดศูนย์กลางของ  $C_{i,j}$  กับเซลล์

ที่อยู่รอบ ๆ  $C_{i,j}$  ซึ่งได้แก่  $C_{i-1,j}, C_{i+1,j}, C_{i,j-1}, C_{i,j+1}$  มาผ่านกระบวนการวิธีปรับค่าความชันซึ่งวิธีการและสูตรการคำนวณดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 4.6 ภาพแสดงการสร้างข้อมูลใหม่โดยวิธีการปรับค่าความชัน



รูปที่ 4.7 ภาพแสดงการสร้างข้อมูลใหม่โดยอาศัยค่าเฉลี่ยโดยตรง

จากรูปที่ 4.6 เป็นการสร้างข้อมูลที่จุดขอบของแต่ละเซลล์โดยใช้วิธีการปรับค่าความชันซึ่งในกรณีที่ค่าความชันที่จุด  $i+1/2, j$  และ  $i-1/2, j$  มีเครื่องหมายเหมือนกันนั้นจะใช้ค่าความชันของจุดที่มีค่าความชันน้อยกว่ามาสร้างเป็นข้อมูลใหม่ที่ขอบของ  $C_{i,j}$  แต่ถ้าเป็นกรณีที่ความชันมีเครื่องหมายตรงกันข้ามกันจะใช้ข้อมูล ณ จุดศูนย์กลางของ  $C_{i,j}$  มากำหนดให้กับข้อมูลใหม่ที่ขอบของ  $C_{i,j}$  ซึ่งวิธีการดังกล่าวนั้นเป็นการสร้างข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยที่จุด  $i+1/2, j$  หรือ  $i-1/2, j$  ข้างใดข้างหนึ่งมากำหนดค่าข้อมูลใหม่ที่จะสร้างตรงที่ขอบของ  $C_{i,j}$  ส่วนอีกข้างหนึ่งที่ไม่ได้ใช้ค่าเฉลี่ยก็ต้องปรับค่าให้สมดุลกับอีกข้างหนึ่ง ซึ่งถ้าใช้ค่าเฉลี่ยที่จุด  $i+1/2, j$  และ  $i-1/2, j$  มากำหนดให้กับค่าที่ขอบของ  $C_{i,j}$  โดยตรง (ดูรูปที่ 4.7) ก็จะทำให้ค่าของ  $Q_{i-1,jE} = Q_{i,jW}$  และ  $Q_{i,jE} = Q_{i+1,jW}$  ซึ่งจะส่งผลให้ค่าฟังก์ชันที่คำนวณได้เป็นศูนย์ทำให้ไม่เกิดการไหลทั้งที่ระดับน้ำของ

เซลล์ทั้งสองแตกต่างกัน นอกจากนี้การสร้างข้อมูลใหม่ให้มีค่าความชันที่จุดศูนย์กลางของแต่ละเซลล์นั้นมิต่ำน้อยที่สุด ก็จะทำให้ผลลัพธ์มีความเสถียรเพราะถ้าความชันที่จุดศูนย์กลางมีค่ามากก็อาจจะทำให้ผลลัพธ์เกิดการแกว่งจนลู่ออกได้

ในการปรับค่าความชันของแต่ละเซลล์  $C_{i,j}$  เพื่อสร้างข้อมูลใหม่ที่จุดขอบของแต่ละเซลล์นั้น มีสูตรสำหรับการคำนวณเป็นดังนี้

$$Q_{i,jW} = Q_{i,j} - \frac{1}{2} \sigma_{i,j} \Delta x \quad (4.25)$$

$$Q_{i,jE} = Q_{i,j} + \frac{1}{2} \sigma_{i,j} \Delta x \quad (4.26)$$

$$Q_{i,jN} = Q_{i,j} - \frac{1}{2} \delta_{i,j} \Delta y \quad (4.27)$$

$$Q_{i,jS} = Q_{i,j} + \frac{1}{2} \delta_{i,j} \Delta y \quad (4.28)$$

เมื่อ  $Q_{i,j}$  คือข้อมูลที่ต้องการสร้างข้อมูลใหม่ ซึ่งในที่นี้จะเป็น  $h_{i,j}$ ,  $u_{i,j}$ ,  $v_{i,j}$  หรือ  $z_{i,j}$  ก็ได้  
 $\sigma_{i,j}$  และ  $\delta_{i,j}$  คือตัวปรับค่าความชัน (Slope limiter)

โดยที่

$$\sigma_{i,j} = MM \left( \frac{Q_{i+1,j} - Q_{i,j}}{\Delta x}, \frac{Q_{i,j} - Q_{i-1,j}}{\Delta x} \right) \quad (4.29)$$

$$\delta_{i,j} = MM \left( \frac{Q_{i,j+1} - Q_{i,j}}{\Delta y}, \frac{Q_{i,j} - Q_{i,j-1}}{\Delta y} \right) \quad (4.30)$$

ซึ่ง  $MM(a,b)$  คือฟังก์ชันสำหรับการปรับค่าความชันโดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$MM(a,b) = \left( \frac{\text{sign}(a) + \text{sign}(b)}{2} \right) \cdot \min(|a|, |b|) \quad (4.31)$$

เมื่อ  $\text{sign}(a)$  และ  $\text{sign}(b)$  มีค่าเป็น -1, 1 ตามแต่เครื่องหมายของ  $a$  และ  $b$

ถึงตอนนี้เราได้สูตรสำหรับการสร้างข้อมูลใหม่ตรงบริเวณขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์แล้วซึ่งข้อมูลที่จะนำมาสร้างข้อมูลใหม่เพื่อใช้สำหรับการหาค่าฟลักซ์นั้นได้แก่ ความลึกของน้ำ  $h$  และ

ความเร็วของการไหล  $u$  และ  $v$  นอกจากนี้ยังต้องสร้างข้อมูลใหม่ในส่วนของความสูงภูมิประเทศ  $z$  ด้วยเพื่อจะนำไปใช้ในการคำนวณค่าความลึกของการไหลและค่าของแรงโน้มถ่วงของโลก โดยวิธีการหาผลลัพท์ของแบบจำลองจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

#### 4.4 การคำนวณหาผลลัพท์ของแบบจำลอง

จากหัวข้อที่ผ่าน ๆ มานี้ทำให้เราได้สมการที่จะใช้ในการหาผลลัพท์ของแบบจำลองคือสมการ (4.4) โดยที่สมการดังกล่าวต้องใช้ข้อมูลที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่แล้วเพื่อคำนวณค่าฟลักซ์และค่าแรงโน้มถ่วงของโลกตามที่สมการต้องการ ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงวิธีการหาผลลัพท์ของแบบจำลองในแต่ละพจน์ที่มีอยู่ในสมการดังนี้

การคำนวณหาผลลัพท์จากแบบจำลองจะทำการคำนวณหาผลลัพท์ในแต่ละเวลาแล้วแสดงผลลัพท์ที่ได้ จากนั้นก็วนมาทำซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ โดยผลลัพท์ ณ เวลาที่  $n+1$  สามารถคำนวณจากข้อมูล ณ เวลาที่  $n$  จากสมการ (4.4) ที่นำมาแสดงในสมการ (4.32) ดังนี้

$$\bar{W}_{i,j}^{n+1} = \bar{W}_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} [\bar{F}_{i+1/2,j}^n - \bar{F}_{i-1/2,j}^n] - \frac{\Delta t}{\Delta y} [\bar{G}_{i,j+1/2}^n - \bar{G}_{i,j-1/2}^n] + \Delta t \bar{Z}_{i,j}^n + \Delta t \bar{S}_{i,j}^n \quad (4.32)$$

เมื่อ  $\bar{W}_{i,j}^{n+1}$  คือข้อมูล ณ เวลาใหม่ที่จะทำการคำนวณซึ่งเป็นตัวไม่ทราบค่า

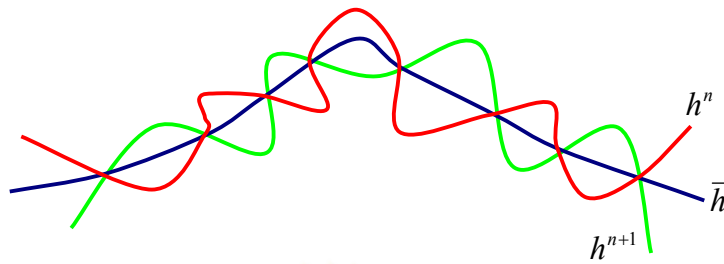
$$\bar{W}_{i,j}^n \text{ คือข้อมูล ณ เวลาเดิมซึ่งเป็นตัวที่ทราบค่าโดยที่ } \bar{W}_{i,j}^n = \begin{bmatrix} h_{i,j}^n \\ (uh)_{i,j}^n \\ (vh)_{i,j}^n \end{bmatrix}$$

$$\text{และ } \bar{Z}_{i,j}^n = \begin{bmatrix} 0 \\ g \cdot h_{i,j}^n \cdot \frac{(z_{i,j}^{nW} - z_{i,j}^{nE})}{\Delta x} \\ g \cdot h_{i,j}^n \cdot \frac{(z_{i,j}^{nN} - z_{i,j}^{nS})}{\Delta y} \end{bmatrix}, \bar{S}_{i,j}^n = \begin{bmatrix} q_{i,j}^n \\ -g \cdot \frac{n^2 \sqrt{(u_{i,j}^n)^2 + (v_{i,j}^n)^2} (uh)_{i,j}^n}{(h_{i,j}^n)^{4/3}} \\ -g \cdot \frac{n^2 \sqrt{(u_{i,j}^n)^2 + (v_{i,j}^n)^2} (vh)_{i,j}^n}{(h_{i,j}^n)^{4/3}} \end{bmatrix}$$

จากสมการ (4.32) จะเห็นได้ว่าค่าฟลักซ์  $\bar{F}_{i-1/2,j}^n$ ,  $\bar{F}_{i+1/2,j}^n$ ,  $\bar{G}_{i,j-1/2}^n$  และ  $\bar{G}_{i,j+1/2}^n$  นั้นสามารถหาได้จากสมการ (4.5) - (4.8) ส่วนค่า  $\bar{Z}_{i,j}^n$  ซึ่งก็คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลกจะหาจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่สร้างใหม่ตามวิธีการในหัวข้อที่ผ่านมา



แต่อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ (4.32) นั้นอาจมีความไม่เรียบเกิดขึ้นดังนั้นก็จำเป็นต้องมีวิธีการที่จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความเรียบดังนี้



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงแนวคิดวิธีการทำให้ผลลัพธ์ที่ไม่เรียบให้มีความเรียบมากขึ้น

จากรูปจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่เกิดความไม่เรียบสามารถทำให้เรียบขึ้นได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{h}$ ) ระหว่างสองผลลัพธ์ ณ เวลาที่ต่างกัน ( $h^n$  และ  $h^{n+1}$ ) โดยในการหาผลลัพธ์ในงานวิจัยนี้จะใช้การหาผลลัพธ์ด้วยวิธี Second-Order TVD Runge-Kutta [18] ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

- 1) ทำการคำนวณค่าตามสมการ (4.32) โดยจะตัดพจน์แหล่งต้นทางออกไปก่อนดังนี้

$$\bar{W}_{i,j}^{(1)} = \bar{W}_{i,j}^n - \frac{\Delta t_1}{\Delta x} [\bar{F}_{i+1/2,j}^n - \bar{F}_{i-1/2,j}^n] - \frac{\Delta t_1}{\Delta y} [\bar{G}_{i,j+1/2}^n - \bar{G}_{i,j-1/2}^n] + \Delta t_1 \bar{Z}_{i,j}^n \quad (4.33)$$

- 2) ทำซ้ำสมการ (4.33) โดยใช้ข้อมูล  $\bar{W}_{i,j}^{(1)}$  ที่ได้จากข้อแรก

$$\bar{W}_{i,j}^{(2)} = \bar{W}_{i,j}^{(1)} - \frac{\Delta t_2}{\Delta x} [\bar{F}_{i+1/2,j}^{(1)} - \bar{F}_{i-1/2,j}^{(1)}] - \frac{\Delta t_2}{\Delta y} [\bar{G}_{i,j+1/2}^{(1)} - \bar{G}_{i,j-1/2}^{(1)}] + \Delta t_2 \bar{Z}_{i,j}^{(1)} \quad (4.34)$$

- 3) ทำการหาค่าเฉลี่ยระหว่างค่าที่ได้จากสมการ (4.34) กับข้อมูลเดิม

$$\bar{W}_{i,j}^{(3)} = \frac{\bar{W}_{i,j}^n + \bar{W}_{i,j}^{(2)}}{2} \quad (4.35)$$

ในตอนนี้เราได้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ยังไม่รวมพจน์แหล่งต้นทางแล้ว ต่อไปจะทำการหาผลลัพธ์ที่เพิ่มเติมพจน์แหล่งต้นทางเข้ามาตามที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (4.32) ซึ่งจะได้ว่าผลลัพธ์ความลึกของน้ำคือ

$$h_{i,j}^{n+1} = h_{i,j}^{(3)} + \Delta t q_{i,j}^n \quad (4.36)$$

เมื่อ  $h_{i,j}^{(3)}$  คือความลึกของน้ำที่คำนวณได้จากสมการ (4.35)

$q_{i,j}^n$  คืออัตราการน้ำฝนที่เวลา  $n$  ณ เซลล์ที่  $i, j$

ส่วนการคำนวณค่า  $uh, vh$  ที่เพิ่มแรงเสียดทานเข้ามาสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีกึ่งปริยาย (Semi Implicit [23]) ดังนี้

$$(uh)_{i,j}^{n+1} = \frac{(uh)_{i,j}^{(3)}}{\left(1 + \Delta t \frac{g \cdot n^2 \sqrt{(u_{i,j}^n)^2 + (v_{i,j}^n)^2}}{(h_{i,j}^{n+1})^{4/3}}\right)} \quad (4.37)$$

และ

$$(vh)_{i,j}^{n+1} = \frac{(vh)_{i,j}^{(3)}}{\left(1 + \Delta t \frac{g \cdot n^2 \sqrt{(u_{i,j}^n)^2 + (v_{i,j}^n)^2}}{(h_{i,j}^{n+1})^{4/3}}\right)} \quad (4.38)$$

เมื่อ  $uh_{i,j}^{(3)}$  และ  $vh_{i,j}^{(3)}$  คือค่าผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ (4.35)

ถึงตอนนี้เราได้สูตรการคำนวณหาค่าตอบของแบบจำลอง ณ เวลาที่  $n+1$  โดยอาศัยข้อมูล ณ เวลาที่  $n$  โดยในการจำลองจะนำค่า  $\bar{W}_{i,j}^{n+1}$  มาแสดงผลลัพธ์จากนั้นก็ให้นำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่าตอบ ณ เวลาถัดไป ทำซ้ำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะหยุดการจำลองซึ่งในแต่ละรอบของการทำซ้ำนั้นยังต้องมีการคำนวณค่าของ  $\Delta t$  เพื่อใช้สำหรับการคำนวณหาค่าตอบจากสมการต่าง ๆ ด้วยซึ่งการคำนวณค่าของ  $\Delta t$  นั้นถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมากในขั้นตอนวิธีการหาผลลัพธ์เชิงตัวเลขซึ่งจะได้กล่าวถึงความสำคัญและวิธีการคำนวณในหัวข้อความมีเสถียรของผลลัพธ์ต่อไป

#### 4.5 ความมีเสถียรของผลลัพธ์ (stability condition)

จากที่ได้กล่าวแล้วว่า การคำนวณค่า  $\Delta t$  นั้นสำคัญมากเพราะถ้ากำหนดให้ค่า  $\Delta t$  มีค่ามากเกินไปก็ทำให้ผลลัพธ์เกิดการแกว่งหรือลู่ออกได้ แต่ถ้ากำหนดให้  $\Delta t$  มีค่าน้อยเกินไปก็ทำให้เห็นผลลัพธ์ช้าจนเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีสูตรสำหรับการคำนวณ  $\Delta t$  ซึ่งจากสมการ (4.33) และ (4.34) จะเห็นได้ว่าจะต้องทำการคำนวณค่าของ  $\Delta t_1$  และ  $\Delta t_2$  ในแต่ละรอบการทำซ้ำโดยมีเงื่อนไขตามรูปแบบของ CFL-condition [31] ดังนี้

$$\frac{\Delta t_k \cdot \lambda_{\max}}{\Delta A_{\min}} \leq 0.5 \quad \text{จะได้ว่า} \quad \Delta t_k \leq 0.5 \cdot \frac{\Delta A_{\min}}{\lambda_{\max}}, \quad k = 1, 2$$

เมื่อ  $\Delta A_{\min} = \min(\Delta x, \Delta y)$  และ  $\lambda_{\max}$  คือขนาดของความเร็วคลื่นสูงสุดโดยหาจาก

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_{X_{\max}}, \lambda_{Y_{\max}})$$

$$\text{โดยที่ } \lambda_{x \max} = \max_{1 \leq i, j \leq m_x - 2} (a_{i-1/2, j}^+, a_{i+1/2, j}^+, -a_{i-1/2, j}^-, -a_{i+1/2, j}^-)$$

$$\lambda_{y \max} = \max_{1 \leq i, j \leq m_y - 2} (b_{i, j-1/2}^+, b_{i, j+1/2}^+, -b_{i, j-1/2}^-, -b_{i, j+1/2}^-)$$

และเนื่องจากอาจมีกรณีที่  $\lambda_{\max}$  มีค่าเป็นศูนย์ซึ่งจะทำให้  $\Delta t_k$  มีค่าเป็นอนันต์ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดค่า  $\Delta t_k$  สำหรับกรณีนี้ด้วย ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นกับการจำลองเหตุการณ์ที่ไม่มีน้ำบนพื้นที่จำลองดังนั้นค่า  $\Delta t_k$  จะเป็นค่าคงที่ใด ๆ ก็ได้ โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า  $\Delta t_k$  ในกรณีที่  $\lambda_{\max} = 0$  ดังนี้

$$\Delta t_k \leq 0.5 \cdot \frac{\Delta A_{\min}}{g}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Delta t_k = \begin{cases} C \cdot \frac{\Delta A_{\min}}{\lambda_{\max}} & , \text{ if } \lambda_{\max} \neq 0 \\ C \cdot \frac{\Delta A_{\min}}{g} & , \text{ Otherwise} \end{cases} \quad (4.39)$$

เมื่อ  $0 < C \leq 0.5$  คือค่าคงที่  $g$  คือค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก ( $g = 9.814$ )

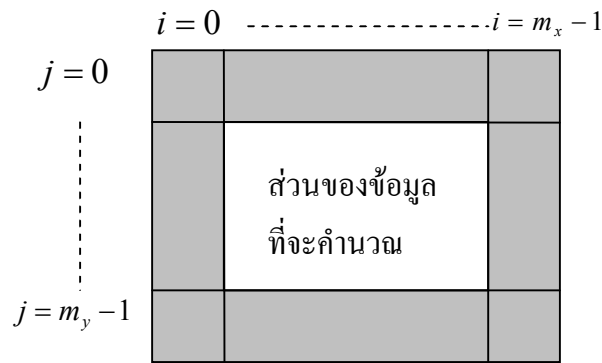
และจะได้  $\Delta t$  เพื่อใช้คำนวณผลลัพธ์ในสมการ (4.36), (4.37) และ (4.38) เป็นดังนี้

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} \quad (4.40)$$

จะสังเกตได้ว่าในขั้นตอนการคำนวณค่าของ  $\Delta t$  นั้นจะต้องมีการหาค่า  $\lambda_{\max}$  ในส่วนของการคำนวณหาค่าฟลักก่อนแล้วจึงจะทำการคำนวณค่า  $\Delta t_k$  เพื่อใช้สำหรับการหาค่าตอบจากสมการ (4.33) และ (4.34) ต่อจากนั้นจะทำการคำนวณค่า  $\Delta t$  เพื่อใช้หาผลลัพธ์ของแบบจำลอง ณ เวลา  $n+1$  ซึ่งขั้นตอนวิธีการคำนวณที่เป็นลำดับขั้นตอนที่แน่นอนนั้นจะได้กล่าวถึงในส่วนสุดท้ายของบทนี้คือหัวข้ออัลกอริทึมสำหรับการจำลองน้ำท่วมต่อไป

#### 4.6 การกำหนดเงื่อนไขขอบ (boundary condition)

ก่อนที่จะได้กล่าวถึงภาพรวมของขั้นตอนวิธีการในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองนั้นยังมีส่วนของการคำนวณส่วนหนึ่งที่จะต้องพิจารณาคำนวณหาค่าดังกล่าวเป็นพิเศษนั่นก็คือข้อมูลในส่วนขอบของกริดข้อมูลซึ่งแสดงอยู่ในรูปข้างล่างนี้



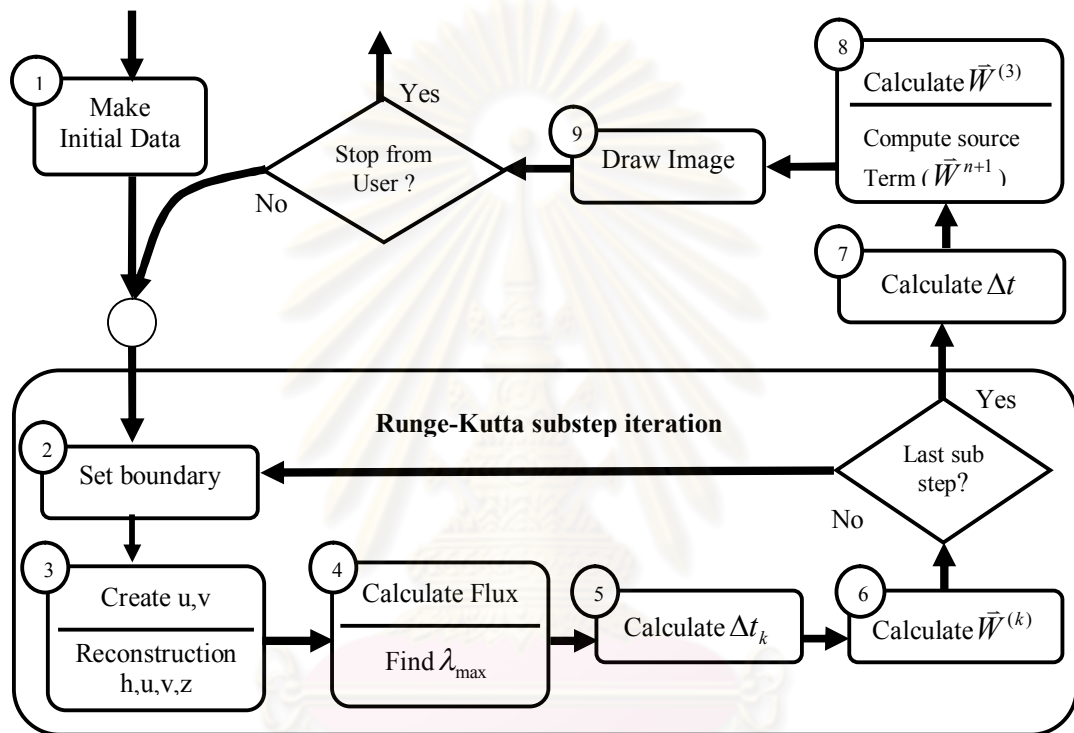
รูปที่ 4.9 ภาพแสดงขอบของกริดข้อมูลใน 2 มิติ

รูปที่ 4.9 คือรูปกริดข้อมูลที่จะทำการคำนวณหาผลลัพธ์ซึ่งจะเห็นว่าผลลัพธ์ตรงบริเวณที่เป็นขอบซึ่งได้แก่ตำแหน่งที่  $i = 0, j = 0, i = m_x - 1$  และ  $j = m_y - 1$  นั้นไม่สามารถคำนวณค่าได้ด้วยสูตรการคำนวณต่าง ๆ จากที่ได้กล่าวมาเนื่องจากมีข้อมูลไม่ครบตามที่สูตรการคำนวณต้องการ เช่น เมื่อ  $i = 0$  จะเห็นว่าค่า  $\bar{F}_{i-1/2,j}$  นั้นจะคำนวณไม่ได้เพราะไม่สามารถที่จะสร้างข้อมูล  $\bar{U}_{i,jW}$  และส่งผลให้ไม่สามารถที่จะคำนวณค่าของผลลัพธ์ตรงจุดดังกล่าวได้ ดังนั้นผลลัพธ์ตรงบริเวณขอบของกริดข้อมูลนั้นในงานวิจัยนี้จะไม่ทำการคำนวณค่าผลลัพธ์ตรงบริเวณดังกล่าว แต่จะกำหนดค่าให้กับบริเวณดังกล่าวแทน โดยถ้าต้องการขอบปิด คือ น้ำไม่สามารถที่จะไหลออกจากพื้นที่จำลองจะกำหนดให้ความสูงของภูมิประเทศตรงบริเวณขอบมีค่ามากพอที่จะไม่ให้น้ำไหลออกไปได้ เช่น กำหนดให้  $z_{0,j} = z_{m_x-1,j} = z_{i,0} = z_{i,m_y-1} = 9999$  และ กำหนดให้ข้อมูลความลึกและอัตราการไหลเป็นศูนย์นั่นคือกำหนดให้  $\bar{W}_{0,j} = \bar{W}_{m_x-1,j} = \bar{W}_{i,0} = \bar{W}_{i,m_y-1} = 0$  แต่ถ้าต้องการให้เป็นขอบเปิด คือ น้ำสามารถไหลออกจากพื้นที่ที่ทำการคำนวณได้ในทุกตำแหน่งที่เป็นขอบจะกำหนดความสูงของภูมิประเทศและข้อมูลอื่น ๆ ตรงบริเวณดังกล่าวมีค่าเท่ากับค่าข้อมูลที่อยู่ติดกับข้อมูลที่อยู่ตรงขอบนั้น นั่นคือกำหนดให้  $z_{0,j} = z_{1,j}$ ,  $z_{i,0} = z_{i,1}$ ,  $z_{m_x-1,j} = z_{m_x-2,j}$ ,  $z_{i,m_y-1} = z_{i,m_y-2}$ ,  $\bar{W}_{0,j} = \bar{W}_{1,j}$ ,  $\bar{W}_{i,0} = \bar{W}_{i,1}$ ,  $\bar{W}_{m_x-1,j} = \bar{W}_{m_x-2,j}$  และ  $\bar{W}_{i,m_y-1} = \bar{W}_{i,m_y-2}$  นอกจากนี้ยังต้องกำหนดค่าให้  $z_{0,jE} = z_{1,j}$ ,  $z_{m_x-1,jW} = z_{m_x-2,j}$ ,  $z_{i,0S} = z_{i,1}$ ,  $z_{i,m_y-1N} = z_{i,m_y-2}$ ,  $\bar{U}_{0,jE} = \bar{U}_{1,j}$ ,  $\bar{U}_{m_x-1,jW} = \bar{U}_{m_x-2,j}$ ,  $\bar{U}_{i,0S} = \bar{U}_{i,1}$  และ  $\bar{U}_{i,m_y-1N} = \bar{U}_{i,m_y-2}$  อีกด้วย

ในการกำหนดค่าขอบนั้นยังสามารถกำหนดในรูปแบบอื่น ๆ ได้อีกด้วย เช่น กำหนดความลึกของน้ำตรงบริเวณขอบเพื่อที่จะจำลองน้ำที่ไหลเข้ามาในพื้นที่จำลอง หรือจะกำหนดความสูงของพื้นดิน อัตราการไหลของน้ำตรงบริเวณขอบจากข้อมูลที่มีอยู่ก็ได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดเงื่อนไขขอบในแบบต่าง ๆ ก็จะส่งผลต่อผลลัพธ์ในการจำลองแตกต่างกันไป แต่ในงานวิจัยนี้จะกำหนดขอบเป็นแบบเปิดและปิดตามที่ได้กล่าวไปแล้วเท่านั้น

#### 4.7 อัลกอริทึมสำหรับการจำลองน้ำท่วม

ในหัวข้อที่ผ่านมา เราได้สูตรการคำนวณต่าง ๆ ที่จะใช้ในการคำนวณผลลัพธ์รวมถึงเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ต้องกำหนดให้กับข้อมูลในแบบแผนการคำนวณ ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในแต่ละหัวข้อนั้นนำมาจัดเรียงให้เป็นลำดับขั้นตอนเพื่อใช้สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมโดยที่ขั้นตอนวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงในรูปแบบของแผนผังงาน (Flow chart) ได้ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 4.10 ผังงานสำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม

ถึงตอนนี้เราได้แบบจำลองและวิธีการคำนวณในส่วนต่าง ๆ เพื่อหาผลลัพธ์ของแบบจำลองแล้ว แต่ยังมีสิ่งหนึ่งที่สำคัญต่อจากนี้นั่นคือการแสดงผลจากการจำลองและเพื่อให้การแสดงผลจากการจำลองนั้นชัดเจนยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการแสดงผลในรูปแบบของภาพกราฟิกส์ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณไปคำนวณค่าสีของภาพซึ่งจะกล่าวถึงในวิธีการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมต่อไป

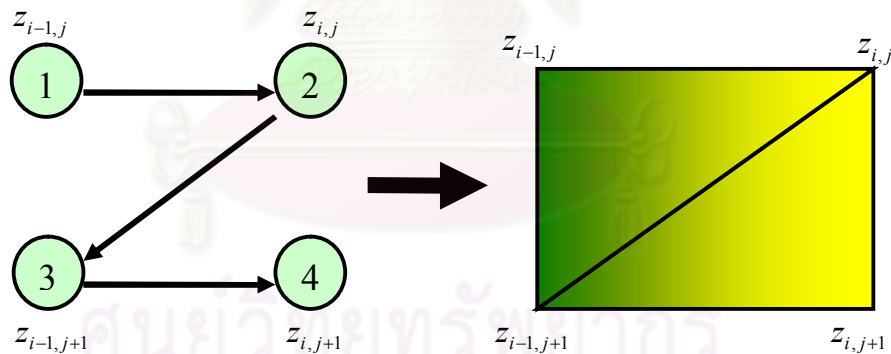
## บทที่ 5

### การสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม

สำหรับการจำลองแบบนั้น ถ้าหากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขไม่มีการแสดงผลลัพธ์ออกมาให้เหมาะสมกับปัญหาที่กำลังพิจารณาอยู่ การจำลองแบบก็จะใช้ประโยชน์จากแบบจำลองได้อย่างไม่เต็มที่ ดังนั้นเพื่อให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองน้ำท่วมเกิดประโยชน์มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมาสร้างเป็นภาพนามธรรมของน้ำท่วมในรูปแบบของภาพกราฟิกส์ 2 มิติ และ 3 มิติ อีกทั้งยังนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปแสดงผ่านโปรแกรม Google Earth ทำให้ผลลัพธ์มีความชัดเจน สมจริง และมีประโยชน์ต่อการเตือนภัยมากยิ่งขึ้น

#### 5.1 การพล็อตภาพ 3 มิติ

ในการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมในรูปแบบของภาพกราฟิกส์ 3 มิติ ในงานวิจัยนี้จะใช้ชุดคำสั่งของ OpenGL ซึ่งเป็นชุดคำสั่งสำหรับการแสดงผลภาพกราฟิกส์ โดยคำสั่งที่ใช้ในการพล็อตภาพจะใช้คำสั่ง Triangle strip ที่จะสร้างสามเหลี่ยมจากจุดข้อมูลมาประกอบกันจนเป็นพื้นผิวซึ่งมีรูปแบบในการพล็อตภาพดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 5.1 ภาพแสดงรูปแบบการพล็อตภาพด้วยคำสั่ง Triangle Strip ของ OpenGL

จากรูปเป็นการพล็อตภาพข้อมูลสี่ตัวเพื่อสร้างเป็นภาพของภูมิประเทศโดยมีรูปแบบลำดับการพล็อตตั้งแต่ ① ถึง ④ โดยใช้ข้อมูลความสูง  $z_{i-1,j}$ ,  $z_{i,j}$ ,  $z_{i-1,j+1}$ ,  $z_{i,j+1}$  ผลลัพธ์ที่ได้มานั้น OpenGL จะทำการสร้างเป็นรูปสามเหลี่ยมสองรูปมาประกอบกันเป็นสี่เหลี่ยมดังภาพทางขวามือของรูปที่ 5.1

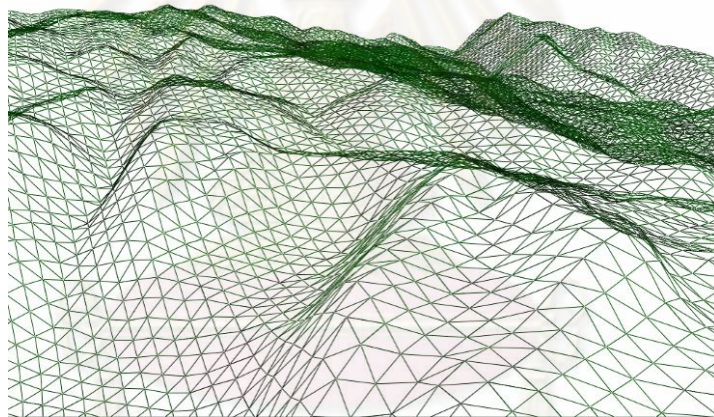


แต่การใช้ข้อมูลความสูงมาพล็อตเป็นภาพโดยไม่มี การปรับสเกลก็จะทำให้พื้นผิวภูมิประเทศของภาพที่ได้โดยจากระยะการมองตั้งนั้นจึงต้องมีการปรับสเกลความสูงโดยมีสูตรสำหรับการปรับสเกลความสูงภูมิประเทศเป็นดังนี้

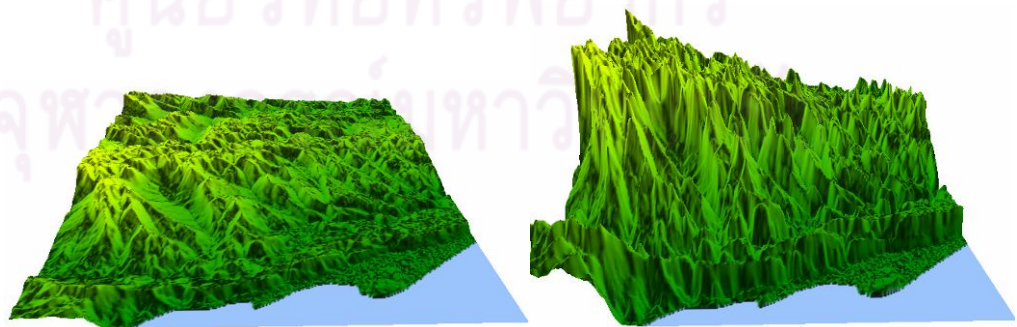
$$z_{i,j}^* = \frac{z_{i,j}}{z_{\max}} \cdot z_s \quad (5.1)$$

โดยที่  $z_{i,j}$  คือข้อมูลความสูงของภูมิประเทศ  $z_{\max}$  คือข้อมูลความสูงของภูมิประเทศสูงสุด  $z_s$  คือค่าสำหรับการปรับสเกลความสูงและ  $z_{i,j}^*$  คือค่าความสูงที่ได้จากการปรับสเกล

เมื่อนำมาจนวนครบทุกจุดบนกริดข้อมูลก็จะได้เป็นภาพสามเหลี่ยมมาประกอบกันเป็นพื้นผิวภูมิประเทศดังรูปข้างล่างนี้

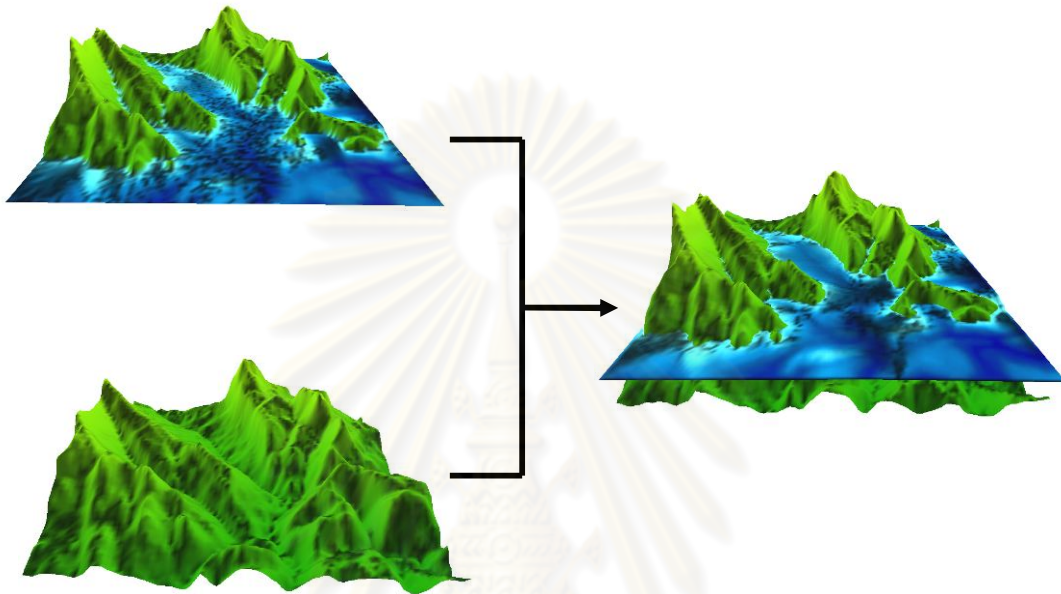


รูปที่ 5.2 ภาพแสดงพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากการพล็อตภาพ 3 มิติ ด้วยชุดคำสั่งของ OpenGL



รูปที่ 5.3 ภาพผลลัพธ์ที่มีการปรับสเกลของความสูงที่แตกต่างกัน

ส่วนการพล็อตผลลัพธ์ความลึกของน้ำ ที่ได้จากแบบจำลอง ( $h_{i,j}$ ) ก็สามารถทำการพล็อตได้ เช่นเดียวกันกับพื้นผิวภูมิประเทศแต่ค่า  $z_{i,j}$  ในสมการ (5.1) จะเปลี่ยนเป็นค่า  $z_{i,j} + h_{i,j}$  แทน และเพื่อความสมจริงในการพล็อตภาพจะต้องพล็อตทั้งพื้นผิวภูมิประเทศ ( $z_{i,j}$ ) และระดับของน้ำ ( $z_{i,j} + h_{i,j}$ ) ด้วยการพล็อตภาพ 2 ชั้น ซึ่งชั้นแรกคือค่าของระดับน้ำ และชั้นที่สองคือค่าความสูงของภูมิประเทศดังรูปข้างล่างนี้

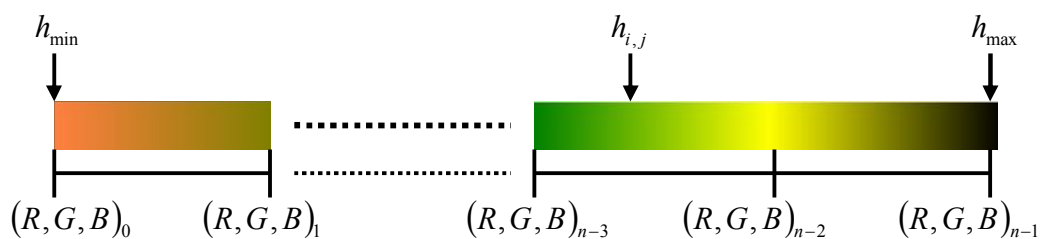


รูปที่ 5.4 ภาพแสดงการพล็อตภาพ 2 ชั้น โดยชั้นบนคือระดับน้ำและชั้นล่างคือความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ

จะเห็นได้ว่าในการสร้างภาพนามธรรมนั้นเมื่อทำการพล็อตภาพแล้วจะต้องมีการลงสีให้กับแต่ละจุดของภาพด้วยเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสูงต่ำของภูมิประเทศและความหนาแน่นของน้ำที่ท่วมซึ่งวิธีการในการลงสีภาพของแบบจำลองจะได้กล่าวถึงใน 2 หัวข้อถัดจากนี้

## 5.2 การลงสีภาพด้วยการคำนวณค่าสี RGB

จากหัวข้อที่แล้วจะเห็นได้ว่าแต่ละจุดของภาพที่ทำการพล็อตนั้นจะต้องมีการกำหนดค่าสีในแต่ละพิกเซลเพื่อที่จะทำให้การสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมนั้นสมจริงและสามารถบอกถึงความหนาแน่นของน้ำในแต่ละพื้นที่ที่ทำการจำลองได้ ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายถึงสูตรที่ใช้สำหรับการคำนวณค่าสีจากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.5 แสดงการหาช่วงของสีให้กับข้อมูล

ในที่นี้จะแสดงสูตรสำหรับการคำนวณค่าสีของผลลัพธ์ความลึกของน้ำก่อนโดยจะทำการกำหนดจำนวนของสีที่จะใช้ในการแสดงผลทั้งหมด  $n$  สี จากนั้นจะทำการคำนวณหาตำแหน่งสีของค่าผลลัพธ์ว่าอยู่ระหว่างช่วงของสีใดซึ่งมีสูตรสำหรับการคำนวณหาตำแหน่งดังนี้

$$index_h = \frac{h_{i,j} - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}} \cdot (n_h - 1) \quad (5.2)$$

เมื่อ  $index_h$  คือตำแหน่งสีของผลลัพธ์ความลึกน้ำ  $n_h$  คือจำนวนของสีที่ใช้ในการแสดงผลความลึกน้ำ และ  $h_{\max}$ ,  $h_{\min}$  คือความลึกของน้ำสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ

หลังจากที่ทำการคำนวณตำแหน่งของสีแล้วก็จะทำการหาค่าสีของผลลัพธ์ ณ จุดนั้นด้วยค่าสีที่จุดต้นและจุดปลายของช่วงสีที่ข้อมูลตัวดังกล่าวอยู่จะได้ว่าค่าสี RGB ของความลึกน้ำเป็นดังนี้

$$\bar{h}_{i,j}^{RGB} = \begin{bmatrix} \text{round}(R_{a0_h} + (index_h - a0_h) \cdot (R_{a1_h} - R_{a0_h})) \\ \text{round}(G_{a0_h} + (index_h - a0_h) \cdot (G_{a1_h} - G_{a0_h})) \\ \text{round}(B_{a0_h} + (index_h - a0_h) \cdot (B_{a1_h} - B_{a0_h})) \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

โดยที่  $a0_h = \text{floor}(index_h)$  และ  $a1_h = a0_h + 1$

เมื่อ  $\bar{h}_{i,j}^{RGB}$  คือค่าสี RGB ของความลึกน้ำ ณ จุด  $i, j$

$R_i, G_i, B_i$  คือค่าของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่ง  $0 \leq R_i, G_i, B_i \leq 255$

ส่วนค่าสีของภูมิประเทศก็สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันจะได้ว่า

$$index_z = \frac{z_{i,j} - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}} \cdot (n_z - 1) \quad (5.4)$$

$$\bar{z}_{i,j}^{RGB} = \begin{bmatrix} \text{round}(R_{a0_z} + (index_z - a0_z) \cdot (R_{a1_z} - R_{a0_z})) \\ \text{round}(G_{a0_z} + (index_z - a0_z) \cdot (G_{a1_z} - G_{a0_z})) \\ \text{round}(B_{a0_z} + (index_z - a0_z) \cdot (B_{a1_z} - B_{a0_z})) \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

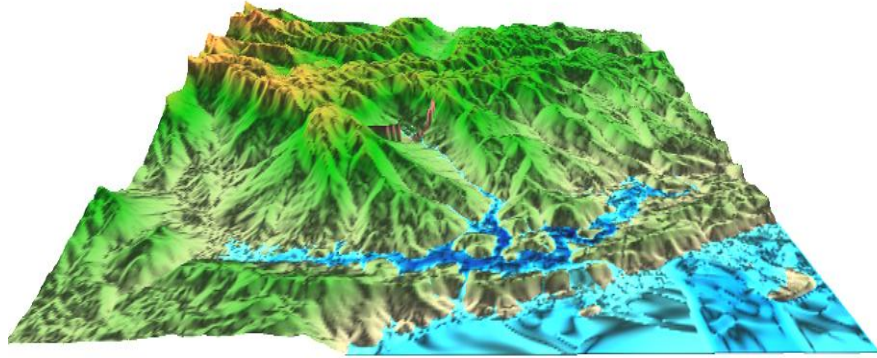
โดยที่  $a0_z = \text{floor}(index_z)$  และ  $a1_z = a0_z + 1$

เมื่อ  $index_z$  คือตำแหน่งสีของความสูงภูมิประเทศ  $n_z$  คือจำนวนของสีที่ใช้ในการแสดงความสูงภูมิประเทศ  $z_{\max}$ ,  $z_{\min}$  คือความสูงภูมิประเทศสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ  $\bar{z}_{i,j}^{RGB}$  คือค่าสี RGB

ของความสูงภูมิประเทศ ณ จุด  $i, j$  และ  $R_i, G_i, B_i$  คือค่าของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่ง

$0 \leq R_i, G_i, B_i \leq 255$





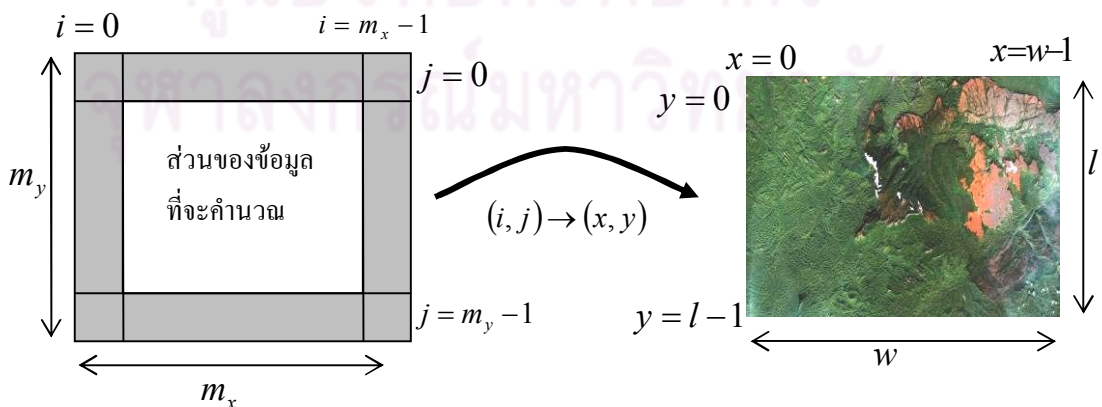
รูปที่ 5.6 ภาพผลลัพท์ที่ทำการลงสีด้วยการคำนวณค่าสี RGB

จากภาพจะเห็นได้ว่าสีของภูมิประเทศในแต่ละจุดพิกเซลนั้นจะกำหนดจากการคำนวณ แต่ยังมี การกำหนดค่าสีของภูมิประเทศอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้สีจากภาพภูมิประเทศจริงหรือภาพถ่าย ดาวเทียม ทำให้ภาพภูมิประเทศที่ออกมาดูนั้นสมจริงขึ้น โดยรายละเอียดการลงสีภาพในรูปแบบ ดังกล่าวจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

### 5.3 การลงสีภาพโดยไม่ใช้การคำนวณค่าสี RGB

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงการลงสีภาพภูมิประเทศที่แตกต่างไปจากหัวข้อที่แล้วกล่าวคือจะไม่ ทำการคำนวณค่าสีจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ แต่จะใช้สีในแต่ละจุดพิกเซลของภาพต่าง ๆ มา กำหนดให้กับแต่ละจุดบนกริดข้อมูลแทน ซึ่งภาพต่าง ๆ ที่นำมากำหนดสีนั้นอาจเป็นภาพของภูมิ ประเทศจริง หรือภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพอื่น ๆ ก็ได้

แต่ในการนำสีจากภาพต่าง ๆ มากำหนดให้กับข้อมูลนั้นบางครั้งขนาดของภาพกับขนาดของ กริดข้อมูลอาจไม่เท่ากันดังนั้นจึงต้องมีการแม็บตำแหน่งบนกริดข้อมูลกับตำแหน่งของจุดพิกเซล ของภาพดังนี้



รูปที่ 5.7 ภาพแสดงการแม็บพิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียมกับกริดข้อมูล

ซึ่งมีสูตรในการกำหนดค่าสีของข้อมูลเป็นดังนี้

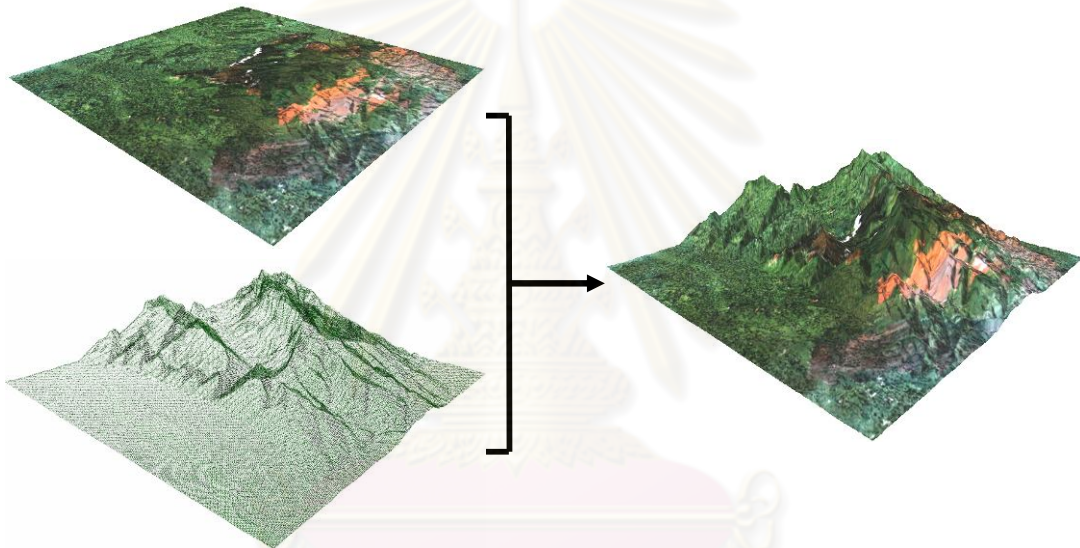
$$\bar{z}_{i,j}^{RGB} = \bar{T}_{x,y}^{RGB} \quad (5.2)$$

โดยที่  $x = \text{round}\left(\frac{i}{m_x} \cdot w\right)$  และ  $y = \text{round}\left(\frac{j}{m_y} \cdot l\right)$

เมื่อ  $\bar{z}_{i,j}^{RGB}$  คือค่าสี RGB ของข้อมูลความสูงภูมิประเทศ ณ จุด  $i, j$

$\bar{T}_{x,y}^{RGB}$  คือค่าสี RGB ของภาพ ณ จุด  $x, y$

ซึ่งเมื่อทำการกำหนดสีตามสมการ (5.2) แล้วจะได้ผลลัพธ์ภาพของภูมิประเทศเป็นดังนี้



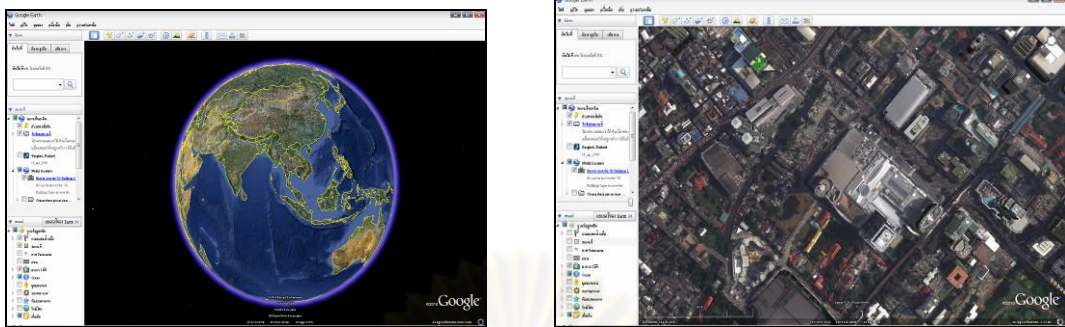
รูปที่ 5.8 แสดงการลงสีภาพภูมิประเทศโดยใช้สีของภาพถ่ายดาวเทียม

จากสองหัวข้อที่แล้วมาจนถึงหัวข้อนี้จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์เชิงตัวเลขจากแบบจำลองน้ำท่วมสามารถที่จะแสดงออกมาในรูปแบบของภาพกราฟิกส์ ได้แล้ว แต่เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเตือนภัยน้ำท่วมการแสดงผลลัพธ์ก็ควรที่จะสามารถบอกถึงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่เสี่ยงภัยได้ด้วย ซึ่งวิธีการที่สะดวกต่อการแสดงตำแหน่งและข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่เสี่ยงภัยก็คือการแสดงผลลัพธ์จากแบบจำลองผ่านโปรแกรม Google Earth ที่จะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

#### 5.4 การแสดงผลผ่านโปรแกรม Google Earth

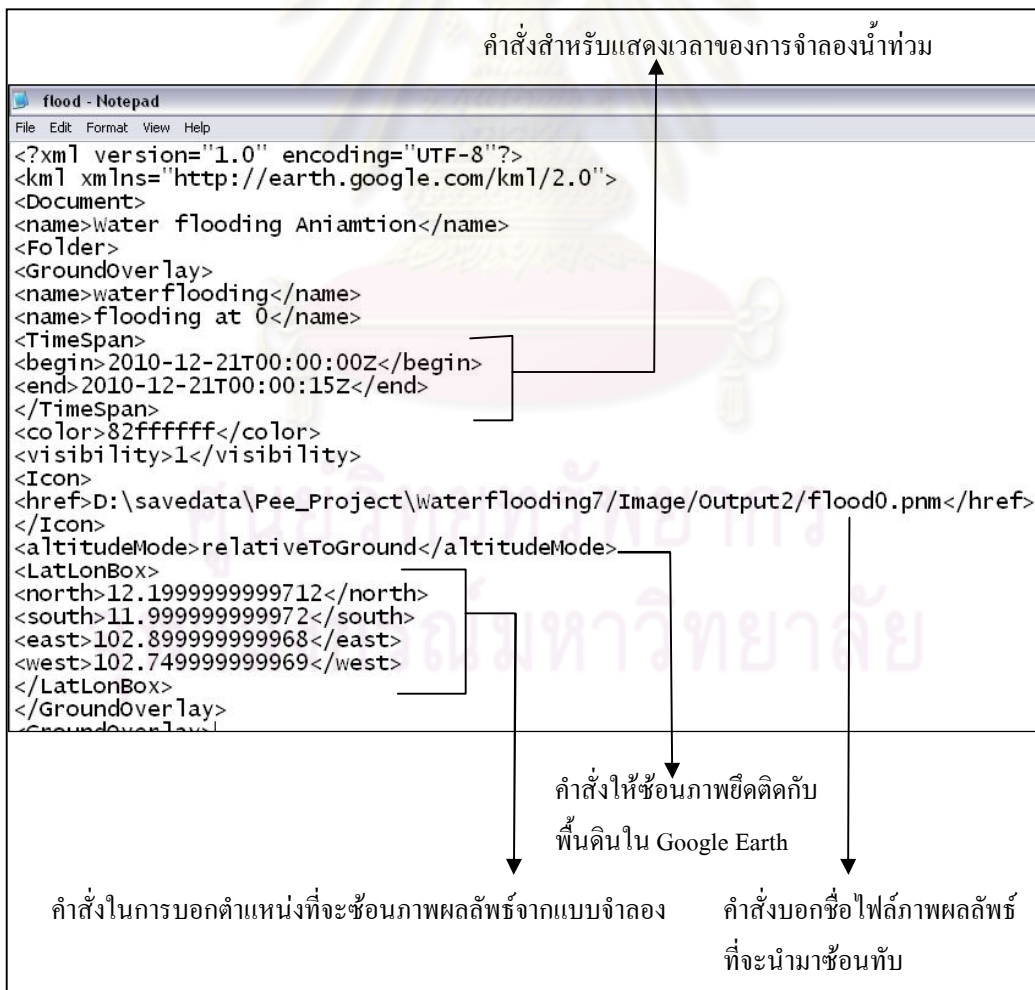
โปรแกรม Google Earth เป็นโปรแกรมที่สามารถแสดงภาพถ่ายดาวเทียมพร้อมกับข้อมูลทางภูมิศาสตร์ อาทิเช่น ความสูง ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ถนนหนทาง ฯลฯ ดังนั้นหากการแสดงผลลัพธ์จากการจำลองน้ำท่วมสามารถที่จะแสดงผ่านโปรแกรม Google Earth ได้ ก็

จะทำให้สามารถบอกถึงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่เสี่ยงภัยได้ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการเตือนภัยและการจัดการกับปัญหาน้ำท่วม



รูปที่ 5.9 ภาพโปรแกรม Google Earth

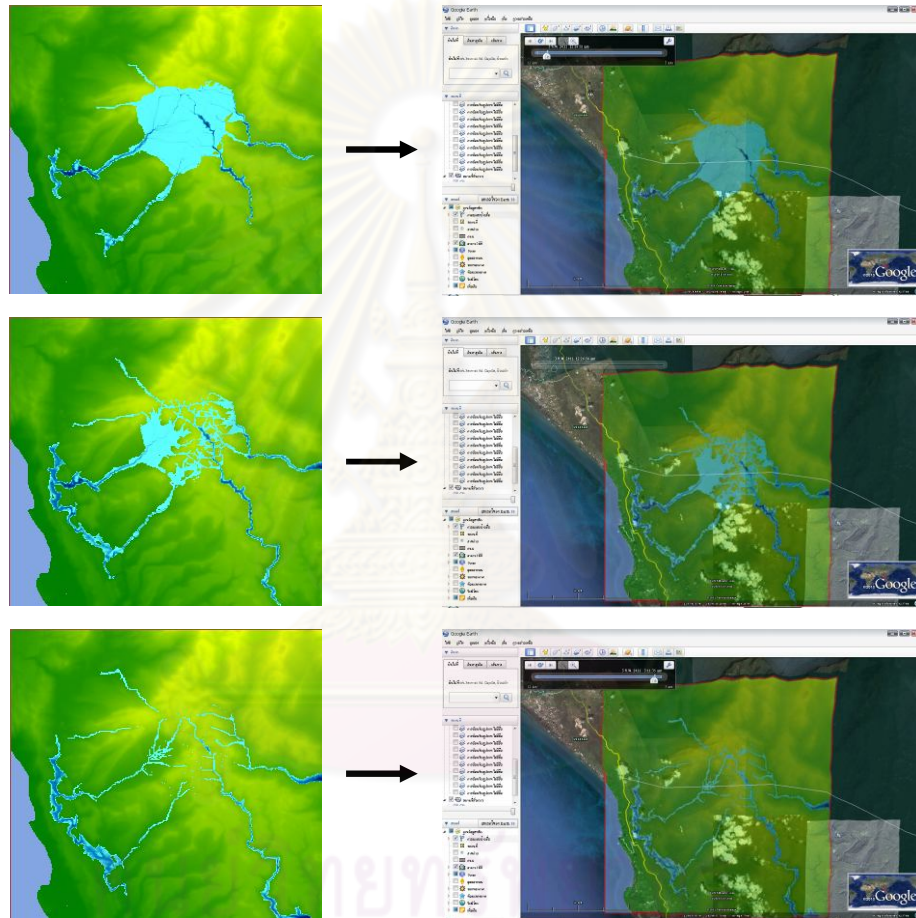
ในการแสดงผลภาพผ่านโปรแกรม Google Earth สามารถที่จะทำได้โดยการเขียนคำสั่งสคริป เป็นไฟล์ .kml เพื่อนำภาพผลลัพธ์ในแต่ละเฟรมมาแสดงผ่านโปรแกรม Google Earth ซึ่งชุดคำสั่งสคริปดังกล่าวมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 5.10 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคำสั่งสคริปในการซ้อนภาพผลลัพธ์ผ่านโปรแกรม Google Earth



โดยในขั้นตอนวิธีการแสดงผลผ่านโปรแกรม Google Earth นั้น จะต้องทำการจำลอง  
 ผลลัพธ์จากแบบจำลองแล้วบันทึกภาพผลลัพธ์ของแบบจำลองไว้ทีละเฟรม จากนั้นก็จะทำการ  
 สร้างคำสั่งสคริปต์รูปที่ 5.10 ด้วยการสร้างชุดสายอักขระ (string) ในแต่ละเฟรมของผลลัพธ์  
 นำมาต่อกัน ซึ่งแต่ละสายอักขระจะมีการเปลี่ยนชื่อของไฟล์ภาพและเวลาของภาพตามภาพ  
 ผลลัพธ์และเวลาของเฟรมนั้น ๆ ทำให้ได้ชุดคำสั่งสำหรับแสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหวผ่าน  
 โปรแกรม Google Earth ดังนี้



รูปที่ 5.11 ภาพผลลัพธ์ที่ทำการซ้อนภาพเพื่อแสดงผลผ่านโปรแกรม Google Earth

จากแบบจำลองและวิธีการคำนวณในบทที่ผ่านมา พร้อมกับวิธีการแสดงผลจาก  
 แบบจำลองในบทนี้ ทำให้ได้วิธีการที่จะจำลองแบบและสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมซึ่งในบท  
 ต่อไปจะเป็นการนำเสนอผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ได้จากแบบจำลองน้ำท่วมในงานวิจัยนี้

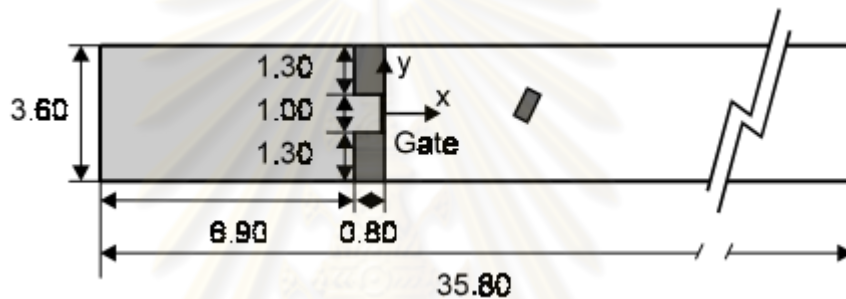
## บทที่ 6

### การจำลองแบบและผลลัพธ์จากการจำลอง

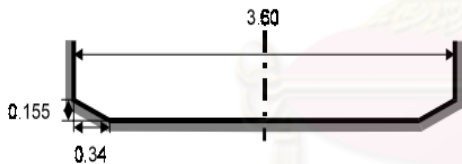
ในบทนี้แบบจำลองและวิธีการคำนวณต่าง ๆ จะได้นำมาใช้ในการจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง

#### 6.1 การจำลองเขื่อนแตก (Dam Break Simulation)

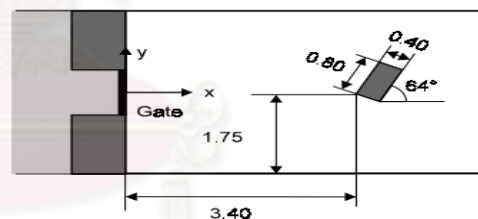
ในหัวข้อนี้จะเป็นการจำลองการไหลของน้ำที่มีสิ่งกีดขวาง แล้วนำผลที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ S. Soares Frazao และ Y. Zech [21, 30] โดยการทดลองดังกล่าวจะกำหนดให้เขื่อนจำลองมีลักษณะเป็นไปตามรูปทั้งหมดข้างล่างนี้



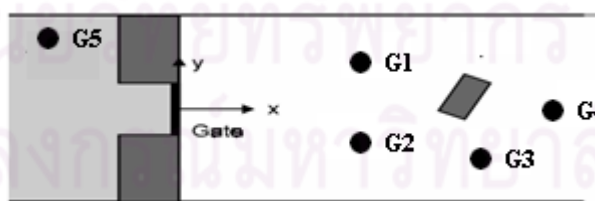
รูปที่ 6.1 ภาพแสดงเขื่อนจำลองที่ใช้ในการจำลองเขื่อนแตก



รูปที่ 6.2 ภาพแสดงหน้าตัดขวางของพื้นที่จำลอง



รูปที่ 6.3 ภาพแสดงตำแหน่งและขนาดของสิ่งกีดขวาง

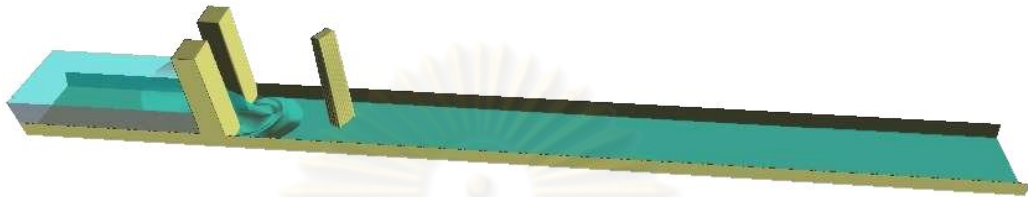


รูปที่ 6.4 ภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งเครื่องตรวจวัดระดับน้ำ

ตำแหน่งอุปกรณ์วัด	G1	G2	G3	G4	G5
x (เมตร)	2.65	2.65	4.00	5.20	-1.87
y (เมตร)	1.15	-0.60	-0.80	0.30	1.10

ตารางที่ 6.1 แสดงพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์วัดระดับความลึกของน้ำ

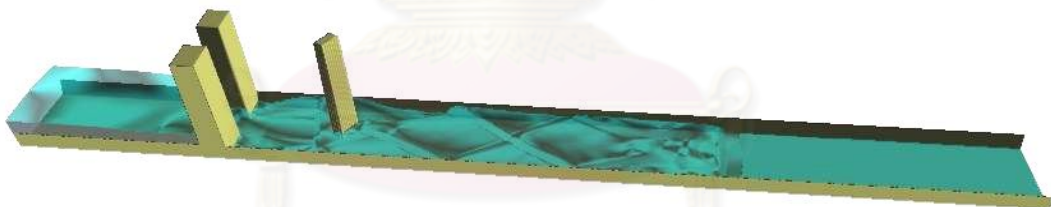
โดยที่การทดลองนี้ได้กำหนดความลึกของน้ำบริเวณต้นน้ำและประตูเขื่อนเป็น 0.4 เมตร ส่วนความลึกของน้ำบริเวณท้ายน้ำคือ 0.01 เมตร แนวเขื่อนและสิ่งกีดขวางสูง 1 เมตร ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning เป็น 0.01 วินาที/เมตร<sup>1/3</sup> ความกว้างและความยาวของแต่ละเซลล์ข้อมูล ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) เท่ากับ 0.05 เมตร โดยวางเครื่องวัดความลึกลงไว้ 5 จุด ซึ่งได้แก่ G1, G2, G3, G4 และ G5 ตามรูปที่ 6.4 และตารางที่ 6.1 ทำการจำลอง 30 วินาที ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเป็นดังนี้



รูปที่ 6.5 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ณ เวลาที่  $t = 0.9$  s



รูปที่ 6.6 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ณ เวลาที่  $t = 3.9$  s

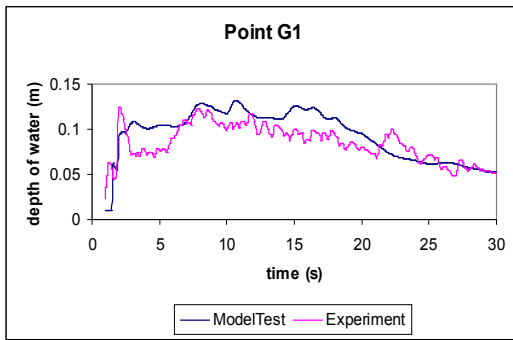


รูปที่ 6.7 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ณ เวลาที่  $t = 10.95$  s

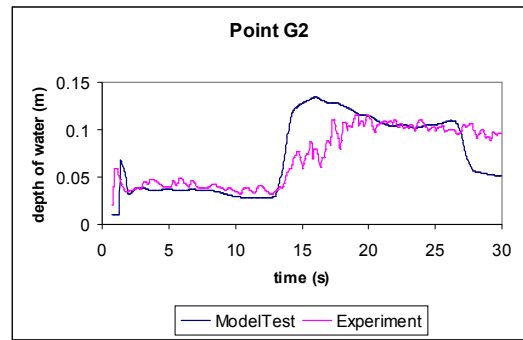


รูปที่ 6.8 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ณ เวลาที่  $t = 18.15$  s

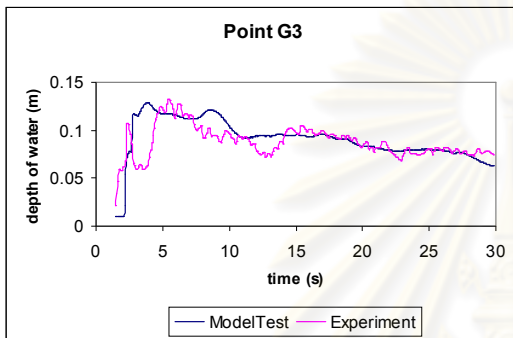
เมื่อทำการเปรียบเทียบความลึกของน้ำในแต่ละตำแหน่ง ณ เวลาต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง กับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง จะได้กราฟสำหรับการเปรียบเทียบผลลัพธ์และค่าความผิดพลาดในแต่ละตำแหน่งเป็นดังนี้



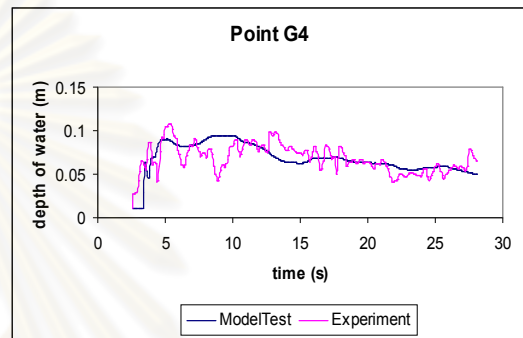
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G1



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G2



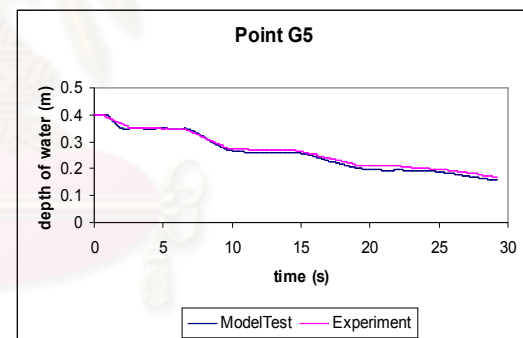
รูปที่ 6.11 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G3



รูปที่ 6.12 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G4

ตำแหน่งอุปกรณ์วัด	ค่าความผิดพลาด
G1	0.018885
G2	0.024763
G3	0.017958
G4	0.015760
G5	0.009778

ตารางที่ 6.2 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการจำลอง



รูปที่ 6.13 กราฟแสดงความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่ง G5

ซึ่งค่าความผิดพลาดที่ได้ตามตารางที่ 6.2 นั้นคือค่าความผิดพลาดรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) โดยมีสูตรสำหรับการคำนวณดังนี้

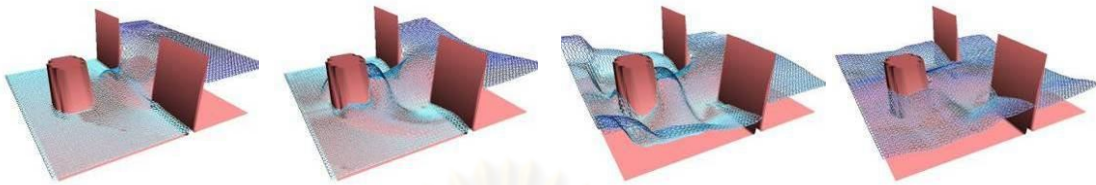
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (h - O)^2}{n}} \tag{6.1}$$

เมื่อ  $n$  คือจำนวน Time Step ที่ทำการจำลองในแต่ละตำแหน่ง  $h$  คือค่าความลึกน้ำที่ได้จากการจำลองในแต่ละตำแหน่ง  $O$  คือค่าความลึกน้ำที่ได้จากการทดลอง และ  $RMSE$  คือค่าความผิดพลาดในแต่ละตำแหน่งที่ทำการเปรียบเทียบ



## 6.2 การจำลองการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางและพื้นผิวภูมิประเทศ

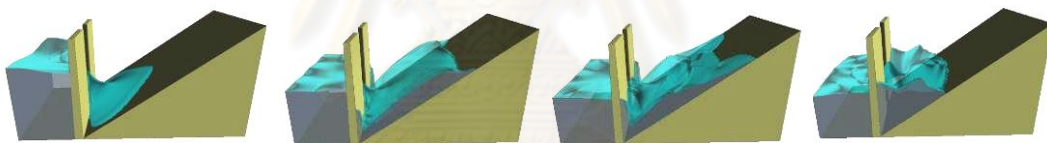
เพื่อที่จะตรวจสอบว่าแบบจำลองในงานวิจัยนี้จะไม่มีความผิดพลาดในเชิงกายภาพ ดังนั้นจึงต้องทำการจำลองเหตุการณ์ต่าง ๆ ดังนี้



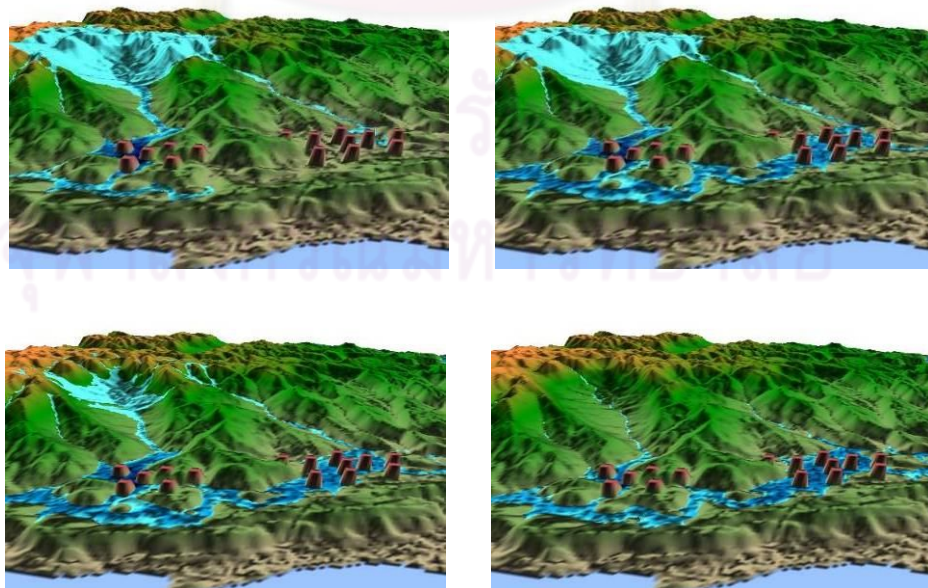
รูปที่ 6.14 ภาพแสดงการจำลองการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางประเภททรงกระบอก



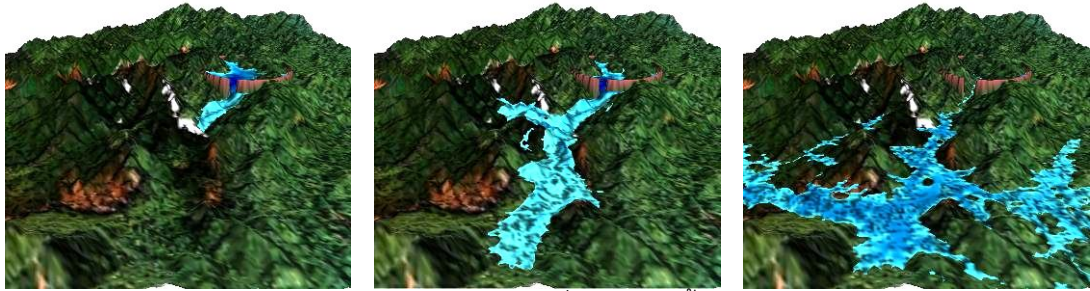
รูปที่ 6.15 ภาพแสดงการจำลองการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางลักษณะนูนสูง



รูปที่ 6.16 ภาพแสดงการจำลองการไหลของน้ำผ่านทางลาดชัน



รูปที่ 6.17 ภาพแสดงการจำลองฝนตกบนพื้นผิวภูมิประเทศ

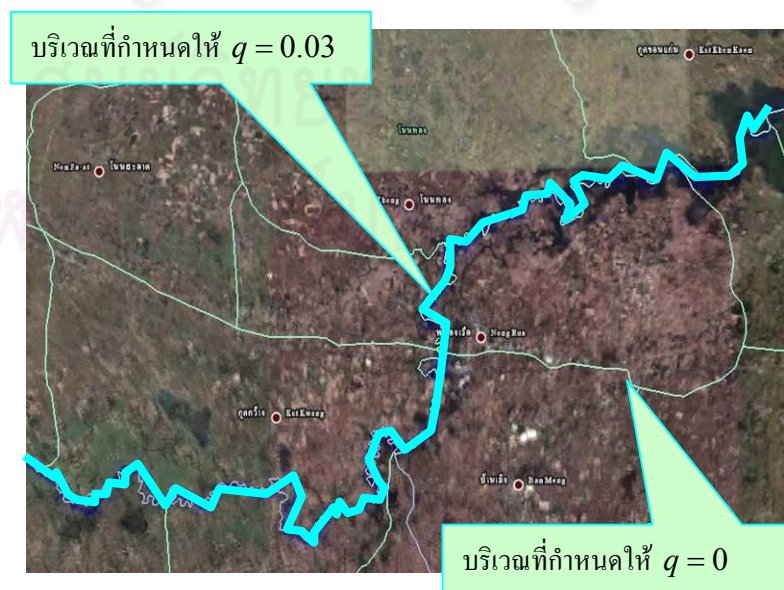


รูปที่ 6.18 ภาพแสดงการจำลองเขื่อนแตกบนพื้นผิวภูมิประเทศ

ผลลัพธ์จากการจำลองดังรูปที่ 6.14 ถึง 6.18 พบว่าผลลัพธ์จากการจำลองที่ได้นั้นมีคุณสมบัติ 3 สิ่ง ตามที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นของบทที่ 4 นั่นคือแบบจำลองที่ได้มีความสมบูรณ์ ถูกต้องและสามารถแก้ไขความผิดพลาดของบางงานวิจัยที่ผ่านมาได้

### 6.3 การจำลองน้ำท่วม (Flooding Simulation)

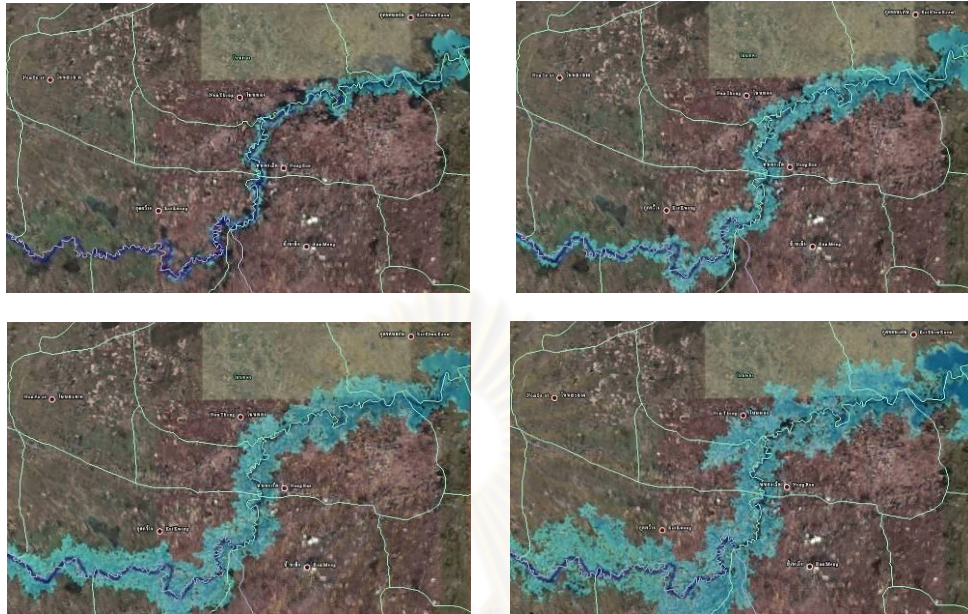
จากหัวข้อที่ผ่าน ๆ มา เราได้ทำการจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่ามีความถูกต้องในเชิงตัวเลข (หัวข้อที่ 5.1) และในเชิงทางกายภาพ (หัวข้อที่ 5.2) มากน้อยขนาดไหน ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำแบบจำลองไปใช้ในการจำลองเหตุการณ์น้ำท่วมบริเวณ อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น ตำแหน่งละติจูดที่  $16.42290607042265^{\circ}$  N ถึง  $16.58478428195854^{\circ}$  N และลองจิจูดที่  $102.2769954971099^{\circ}$  E ถึง  $102.5379154122109^{\circ}$  E โดยกำหนดให้ค่า  $q$  ตรงบริเวณแม่น้ำเท่ากับ 0.03 เมตร/วินาที ส่วนบริเวณอื่น ๆ นั้นจะกำหนดให้  $q = 0$  โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning เป็น 0.01 วินาที/เมตร<sup>1/3</sup> และใช้กริดข้อมูลความสูงที่มีขนาด 92.5 เมตร ตามแนวแกน x และแนวแกน y การจำลองดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูป



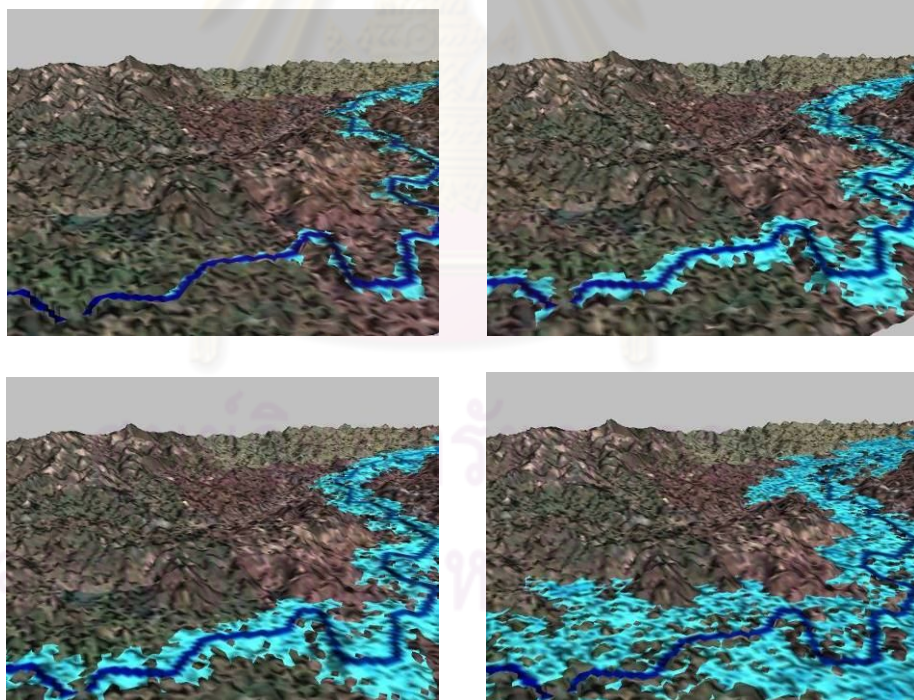
รูปที่ 6.19 ภาพแสดงบริเวณที่ทำการจำลองน้ำท่วม



ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองด้วยแบบจำลองในงานวิจัยนี้ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ เป็นดังนี้

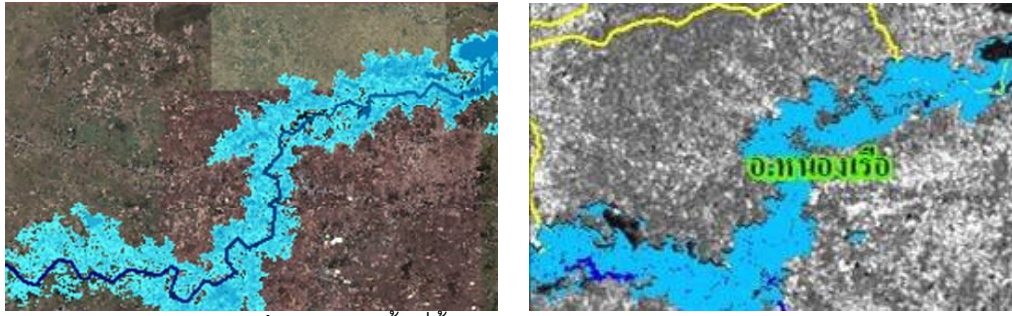


รูปที่ 6.20 ภาพจำลอง 2 มิติ แสดงพื้นที่ท่วมบริเวณ อ.หนองเรือ



รูปที่ 6.21 ภาพจำลอง 3 มิติ แสดงพื้นที่ท่วมบริเวณ อ. หนองเรือ

และเพื่อจะเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองจึงได้นำผลลัพธ์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่บริเวณอำเภอหนองเรือเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดน้ำท่วมจริง โดยผลการเปรียบเทียบเป็นดังนี้

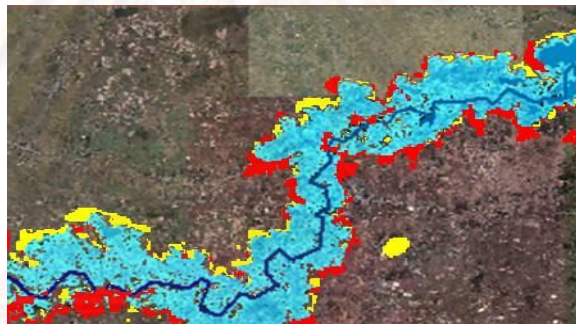


รูปที่ 6.22 ภาพพื้นที่น้ำท่วมจากแบบจำลอง (ทางซ้ายมือ)  
กับ ภาพถ่ายดาวเทียมจาก [www.gistda.or.th](http://www.gistda.or.th) (ทางขวามือ)

ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบสีในแต่ละจุดพิกเซลได้ดังนี้

$$E = \left(1 - \frac{A \cap B}{A \cup B}\right) \cdot 100 \quad (6.2)$$

เมื่อ  $A$  คือพื้นที่น้ำท่วมที่ได้จากแบบจำลอง  $B$  คือพื้นที่น้ำท่วมจริง และ  $E$  คือเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง



รูปที่ 6.23 แสดงภาพซ้อนทับระหว่างพื้นที่ท่วมจากแบบจำลองและพื้นที่ท่วมจริง

จากรูป บริเวณที่เป็นสีฟ้าคือบริเวณที่พื้นที่ท่วมระหว่างแบบจำลองกับพื้นที่ท่วมจริงตรงกัน ( $A \cap B$ ) สีแดงคือบริเวณที่ท่วมจากแบบจำลองแต่ไม่ได้ท่วมจริง และสีเหลืองคือบริเวณที่ท่วมจริงแต่แบบจำลองไม่ได้ท่วม และเมื่อทำการแทนจำนวนจุดพิกเซลของ  $A \cap B$  และจำนวนจุดพิกเซลของ  $A \cup B$  ลงในสมการที่ 6.2 จะได้เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเป็นดังนี้

$$E = \left(1 - \frac{23061}{32026}\right) \cdot 100 = 27.9928807\%$$

ในบทนี้ได้แสดงผลลัพธ์เพื่อให้เห็นถึงความถูกต้องของแบบจำลองว่ามีความถูกต้องทั้งเชิงตัวเลขและเชิงกายภาพมากน้อยแค่ไหน ต่อไปก็จะเป็นการสรุปสิ่งต่าง ๆ ที่ได้ทำในงานวิจัยนี้ รวมถึงสิ่งที่จะต่อยอดสำหรับงานวิจัยนี้ด้วย โดยการสรุปจะได้กล่าวถึงในบทสรุปซึ่งเป็นบทสุดท้ายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต่อไป



## บทที่ 7

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองและสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมแล้วพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์เพื่อใช้สำหรับการทำนายพื้นที่น้ำท่วมก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง โดยสามารถสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และเสนอแนะสิ่งที่จะพัฒนาต่อยอดได้ดังนี้

#### 7.1 แบบจำลองน้ำท่วม

แบบจำลองน้ำท่วมในงานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองที่อยู่บนพื้นฐานของสมการน้ำตื้น โดยพิจารณาปัจจัยในเรื่องของน้ำฝนเข้ามา ผลการจำลองนั้นแบบจำลองสามารถจำลองพฤติกรรมการไหลของน้ำได้ค่อนข้างดีโดยดูจากผลลัพธ์การจำลองที่แตกต่างในหัวข้อ 6.1 ส่วนผลการจำลองน้ำท่วมที่ได้ทำการจำลองบริเวณอำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่นนั้น จะเห็นได้ว่าแบบจำลองสามารถบอกพื้นที่ที่คาดว่าน้ำจะท่วมได้และภาพของพื้นที่ที่ท่วมก็ใกล้เคียงกับพื้นที่ท่วมจริง แต่เนื่องจากปริมาณน้ำที่น้ำเข้าไปในแบบจำลองในงานวิจัยนี้เกิดจากการกำหนดขึ้นมา จึงส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้ในหัวข้อที่ 6.3 มีความผิดพลาดบ้าง โดยในแง่ของการพัฒนาต่อยอดนั้นถ้าหากได้ทำการสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนายปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในแบบจำลองได้รวมถึงการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ อีก ก็น่าจะทำให้ผลลัพธ์การจำลองน้ำท่วมมีความผิดพลาดน้อยลง

#### 7.2 แบบแผนการคำนวณ

แบบแผนการคำนวณเชิงตัวเลขที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถจัดการกับเรื่องของสิ่งกีดขวาง ทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องทั้งเชิงตัวเลขและเชิงกายภาพโดยดูได้จากผลลัพธ์ในหัวข้อ 6.2 แบบแผนการคำนวณดังกล่าวจึงเป็นการแก้ไขปัญหาของแบบจำลองในบางงานวิจัยก่อนหน้านี้

#### 7.3 การแสดงผลจากแบบจำลอง

การแสดงผลของแบบจำลองในรูปแบบของภาพกราฟิกส์ 2 มิติและ 3 มิติในงานวิจัยนี้ทำให้สามารถแสดงพื้นที่น้ำท่วมได้ชัดเจนและสมจริง อีกทั้งการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปแสดงผลผ่านโปรแกรม Google Earth ก็ยังทำให้สามารถบอกถึงพิกัด ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่เสี่ยงภัยได้ ส่งผลให้การจำลองน้ำท่วมทำได้ดียิ่งขึ้น

#### 7.4 ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม

การจำลองต่าง ๆ ในงานวิจัยได้จำลองด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเอง ทำให้สะดวกต่อการปรับแก้แบบจำลองและแบบแผนการคำนวณ ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในซอฟต์แวร์ดังกล่าว (ภาคผนวก ก.) ก็เป็นอัลกอริทึมที่คิดขึ้นมาเพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องคำนวณซึ่งทำให้การคำนวณรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากข้อมูลที่นำเข้ามีจำนวนของกริดที่ใหญ่มาก ๆ จนเกินหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ดังกล่าวก็อาจจะมีข้อจำกัด ดังนั้นในการพัฒนาต่อ ยอดอาจจะต้องนำเอาการประมวลผลแบบขนานมาใช้สำหรับการจำลองเพื่อที่จะทำให้การจำลองน้ำท่วมบนพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ นั้นสามารถที่จะกระทำได้และช่วยในการเพิ่มความเร็วของการประมวลผลให้มากยิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองน้ำท่วมโดยนำเอาสมการน้ำตื้นมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยใช้วิธีเชิงตัวเลขในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองแล้วแสดงผลลัพธ์ที่ได้ในรูปแบบของภาพกราฟิกส์ 2 มิติ และ 3 มิติ แล้วพัฒนาจนกลายเป็นซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม งานวิจัยนี้จึงถือได้ว่าเป็นการบูรณาการร่วมกันของการคำนวณเชิงวิทยาศาสตร์ คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ และภูมิศาสตร์สารสนเทศ เพื่อประโยชน์สำหรับการเตือนภัย และการจัดการกับปัญหาน้ำท่วมก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] ชัยยุทธ ชินณะราศรี, ทวงพล โนนสว่าง และเสวี สุภราทิติย์. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมกับการพยากรณ์ระดับน้ำที่หาดใหญ่. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 26( 2546) : 125-137.
- [2] ชัยยุทธ ชินณะราศรี. กลศาสตร์แม่น้ำและกระบวนการธารน้ำ. กรุงเทพมหานคร: หน่วยงานส่งเสริมการสร้างตำรา กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2550).
- [3] ณรงค์ฤทธิ์ แก้วบรรจกร. การจำลองเชิงตัวเลขของคลื่นสึนามิในมหาสมุทรอินเดีย เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2548).
- [4] ณรงค์ กันทาตง. การเตือนภัยน้ำท่วมของลำน้ำยมในอำเภอเมืองแพร่โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, (2544).
- [5] นุกูล กระจาย. การเขียนโปรแกรมแบบวิซวลด้วย Delphi 4. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, (2542).
- [6] ไพรินทร์ สุวรรณศรี. การคำนวณเชิงขนานของปัญหาการไหลในน้ำตื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2547).
- [7] ไพศาล โมลิสกุลมงคล. คอมพิวเตอรกราฟิกส์ใช้ OpenGL. กรุงเทพมหานคร: ไทยเจริญการพิมพ์, (2550).
- [8] รัฐสรณ์ย์ จิรธนาวัฒน์. การจำลองสึนามิแบบ 3 มิติ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขา วิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2551).
- [9] ศศิเกษม สัทธรรมสกุล. การจำลองการไหลในน้ำตื้นที่มีพจน์แหล่งต้นทาง. วิทยานิพนธ์ ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2549).
- [10] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร และจักรพงษ์ สุขประเสริฐ. Delphi 7. กรุงเทพมหานคร: เอช เอ็น กรุ๊ป, (2546).

- [11] Alexander Kurganov and Doron Levy. Central-Upwind Schemes for The Saint-Venant System. Mathematical Modelling and Numerical Analysis. 36(2002): 397-425.
- [12] Alexander Kurganov. Well-BALANCED Central-Upwind Schemes for Compressible Two-Phase Flows. European Conference on Computational Fluid Dynamics. (2006).
- [13] A. Busamun, S. Chuai-Aree, R. Saelim, and W. Kanbua. Modeling, Simulation and Visualization of Water Flooding. Proc. of 14th Annual Meeting in Mathematics. (2009).
- [14] A. Busamun, S. Chuai-Aree, S. Siripant, and W. Kanbua. VirtualFlood3D: Software for Simulation and Visualization of Water Flooding. Proc. of 14th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering. (2010).
- [15] A Harten, P Lax and B van Leer. On upstream differencing and Godunov type methods for hyperbolic conservation laws. SIAM review. 25(1983): 35-61.
- [16] B.Benes and R. Forsbach, "Visual Simulation of Hydraulic Erosion. Journal of WSCG. 1(2001) : 79-86.
- [17] B. Neidhold, M. Wacker and O. Deussen. Interactive physically based Fluid and Erosion Simulation. Eurographics Workshop on Natural Phenomena. (2005).
- [18] C.-W. Shu, Total-variation-diminishing time discretisations. SIAM J. 9(1988):1073-1084.
- [19] D. Alsdorf, T. Dunne, J. Melack, L. Smith, and L. Hess. Diffusion modeling of recessional flow on central Amazonian floodplains. Geophysical Research Letters. 32(2005).
- [20] E. Audusse, F. Benkhaldoun, S. Sari and M. Seaid. Multilayer Saint-Venant equations over movable beds. European Conference on Computational Fluid Dynamics. (2010).
- [21] Kamal El Kadi Abderrezzak, Andre Paquier and Emmanuel Mignot. Modelling flash flood propagation in urban areas using a two-dimensional numerical model. Nat Hazards. 50(2009): 433-460.



- [22] Md. Jahangir Alam, Dushmanta Dutta and Sadayuki Hironaka. A Hydrodynamic Modeling Approach for Flood Simulation in The Lower Mekong Basin. Proceedings of the International Symposium on Role of Water Sciences in Transboundary River Basin Management. (2005).
- [23] M.-O. Bristeau, B. Coussin. Boundary conditions for the shallow water equation solved by kinetic schemes. Inria report. (2001).
- [24] M. Elena Vazquez-Cendon, Luis Cea and Jeronimo Puertas. The shallow water model : The relevance of geometry and turbulence. Moografias de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza. 31(2009): 217-236.
- [25] Nathan Holmberg and Burkhard C. Wunshe. Efficient Modeling and Rendering of Turbulent Water over Natural Terrain. GRAPHITE. (2004) : 15-22.
- [26] O. Delestre, S. Cordier, F. James, and F. Darboux. Simulation of Rain-Water Overland-Flow. Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. (2008).
- [27] Q.Q. Liu, L. Chen, J.C. Li, V.P. Singh. Two-dimensional kinematic wave model of overland-flow. Journal of Hydrology. 291(2004): 28-41.
- [28] S. Chuai-Aree, W. Kanbua. SiTProS Fast and Real-Time Simulation of Tsunami Propagation. Asia Modeling Symposium international conference. (2007).
- [29] Sudi Mungkasi and Stephen G. Roberts. On the best quantity reconstructions for a well balanced finite volume method used to solve the shallow water wave equations with a wet/dry interface. AnZIAM J. 51(2010): C48-C65.
- [30] S. Soares-Fraza, Zech Y. Experimental study of dam-break flow against an isolated obstacle. J Hydraul. 45(2007):27-36.
- [31] T.R. Hagen, J.M. Hjelmervik, K.-A. Lie, J.R. Natvig and M. O. Henriksen. Visual Simulation of Shallow-Water Waves. Simulation Modelling Practice and Theory Special Issue on Programmable Graphics Hardware. 13(2005) :716-726.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.

## อัลกอริทึมสำหรับการจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม

จากหัวข้อที่ 4.7 ในบทที่ 4 เราได้อัลกอริทึมในรูปของผังงานที่แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของแบบแผนและขั้นตอนวิธีสำหรับการคำนวณหาผลลัพธ์จากแบบจำลองในงานวิจัยนี้ ในส่วนของภาคผนวก ก. นั้นจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของผังงานดังที่แสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งรายละเอียดในแต่ละส่วนสามารถจะนำเสนอในรูปของรหัสเทียม (pseudo code) ได้ดังนี้

## ก.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น (Make Initial Data)

ส่วนนี้เป็นส่วนของการกำหนดค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง โดยจะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของข้อมูลที่ต้องใช้ในการจำลองซึ่งได้แก่ ความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ ( $z$ ) ความลึกของน้ำ ( $h$ ) อัตราการไหลของน้ำ ( $uh, vh$ ) และ  $Ch, Pt, CountPt$  ที่จะคอยเก็บเฉพาะจุดที่มีน้ำและจุดที่อยู่ติดกับจุดที่มีน้ำเพื่อใช้ในการนำไปคำนวณหาผลลัพธ์และจะทำให้การคำนวณรวดเร็วมากขึ้น ส่วนตัวแปร  $Mq_{i,j}$  จะเป็นตัวกำหนดบริเวณที่จะให้เกิดฝนตกซึ่งมีค่าเป็น 1 ถ้าหากกำหนดให้บริเวณนั้นมีฝนตก และมีค่าเป็น 0 ถ้ากำหนดให้บริเวณนั้นไม่เกิดฝนตก ดังนั้นในการกำหนดค่าเริ่มต้นมีรายละเอียดของรหัสเทียมเป็นดังนี้

```

MakeInitialData()
Begin
  an ← 0 , bn ← 1 , cn ← 2 , CountPt ← 0
  {Chi,jan} ← {0} , {Chi,jbn} ← {0} , {Mqi,j0} ← {Mqi,jInitial}
  For j ← 1 To my - 2 Do
    Begin
      For i ← 1 To mx - 2 Do
        Begin
          zi,j ← Load From File
          (h, uh, vh)i,jan ← (h, uh, vh)i,jInitial
          (h, uh, vh)i,jbn ← (h, uh, vh)i,jan
          (h, uh, vh)i,jcn ← (h, uh, vh)i,jan
          KeepPoint(i, j)
        End
      End
    End
  End
End

```

รูปที่ ก.1 แสดงรหัสเทียมสำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้น

```

KeepPoint(i, j)
Begin
     $Ch_{i,j}^{an} \leftarrow 0$ 
    IF ( $h_{i,j}^{bn} > 0$ ) Or ( $Mq_{i,j}^n > 0$ ) Then
        Begin
            IF  $Ch_{i,j}^{bn} = 0$  Then
                Begin
                     $Ch_{i,j}^{bn} \leftarrow 1, Pt_{CountPt}^{bn} \leftarrow (i, j), CountPt \leftarrow CountPt + 1$ 
                End
            IF ( $Ch_{i-1,j}^{bn} = 0$ ) and ( $i - 1 > 0$ ) Then
                Begin
                     $Ch_{i-1,j}^{bn} \leftarrow 1, Pt_{CountPt}^{bn} \leftarrow (i - 1, j), CountPt \leftarrow CountPt + 1$ 
                End
            IF ( $Ch_{i+1,j}^{bn} = 0$ ) and ( $i + 1 < m_x - 1$ ) Then
                Begin
                     $Ch_{i+1,j}^{bn} \leftarrow 1, Pt_{CountPt}^{bn} \leftarrow (i + 1, j), CountPt \leftarrow CountPt + 1$ 
                End
            IF ( $Ch_{i,j-1}^{bn} = 0$ ) and ( $j - 1 > 0$ ) Then
                Begin
                     $Ch_{i,j-1}^{bn} \leftarrow 1, Pt_{CountPt}^{bn} \leftarrow (i, j - 1), CountPt \leftarrow CountPt + 1$ 
                End
            IF ( $Ch_{i,j+1}^{bn} = 0$ ) and ( $j + 1 < m_y - 1$ ) Then
                Begin
                     $Ch_{i,j+1}^{bn} \leftarrow 1, Pt_{CountPt}^{bn} \leftarrow (i, j + 1), CountPt \leftarrow CountPt + 1$ 
                End
            End
        End
    End
End

```

รูปที่ ก.2 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน Keppoint(i,j)

## ก.2 การกำหนดเงื่อนไขขอบ (Set Boundary)

ส่วนนี้เป็นการกำหนดข้อมูลตรงบริเวณขอบของกริดข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดของการกำหนดในส่วนจากรูปแบบขอบปิดและขอบเปิดเป็นดังนี้

```

Setboundary()
  IF Closeboundary = true Then
  Begin
    For j ← 0 To my - 1 Do
    Begin
      i ← 0
      (zi,jE, zi,j, hi,jan, uhi,jan, vhi,jan, hi,jE, ui,jE, vi,jE) ← (9999,9999,0,0,0,0,0,0)
      i ← mx - 1
      (zi,jW, zi,j, hi,jan, uhi,jan, vhi,jan, hi,jW, ui,jW, vi,jW) ← (9999,9999,0,0,0,0,0,0)
    End
    For i ← 0 To mx - 1 Do
    Begin
      j ← 0
      (zi,jS, zi,j, hi,jan, uhi,jan, vhi,jan, hi,jS, ui,jS, vi,jS) ← (9999,9999,0,0,0,0,0,0)
      j ← my - 1
      (zi,jN, zi,j, hi,jan, uhi,jan, vhi,jan, hi,jN, ui,jN, vi,jN) ← (9999,9999,0,0,0,0,0,0)
    End
  End
  Else
  Begin
    For j ← 0 To my - 1 Do
    Begin
      i ← 0
      (zi,jE, zi,j, hi,jan, uhi,jan, vhi,jan, hi,jE, ui,jE, vi,jE) ← (z, z, h, uh, vh, h, u, v)i+1,jan
      i ← mx - 1
      (zi,jW, zi,j, hi,jan, uhi,jan, vhi,jan, hi,jW, ui,jW, vi,jW) ← (z, z, h, uh, vh, h, u, v)i-1,jan
    End
    For i ← 0 To mx - 1 Do
    Begin
      j ← 0
      (zi,jS, zi,j, hi,jan, uhi,jan, vhi,jan, hi,jS, ui,jS, vi,jS) ← (z, z, h, uh, vh, h, u, v)i,j+1an
      j ← my - 1
      (zi,jN, zi,j, hi,jan, uhi,jan, vhi,jan, hi,jN, ui,jN, vi,jN) ← (z, z, h, uh, vh, h, u, v)i,j-1an
    End
  End
End

```

รูปที่ ก.3 แสดงรหัสเพิ่มเติมสำหรับการกำหนดค่าขอบของกริดข้อมูล

### ก.3 การสร้างข้อมูลใหม่ (Create u, v and Reconstruction h, u, v, z )

ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างข้อมูลตรงบริเวณขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าฟลักซ์และผลลัพธ์ของแบบจำลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

*Reconstruction()*

*Begin*

$NPt \leftarrow CountPt$

*For*  $k \leftarrow 0$  *To*  $NPt - 1$  *Do*

*Begin*

$(i, j) \leftarrow Pt_k^{an}$

$(u_{i-1,j}, u_{i+1,j}, u_{i,j}) \leftarrow (dvz((uh)_{i-1,j}^{an}, h_{i-1,j}^{an}), dvz((uh)_{i+1,j}^{an}, h_{i+1,j}^{an}), dvz((uh)_{i,j}^{an}, h_{i,j}^{an}))$

$(u_{i,j-1}, u_{i,j+1}) \leftarrow (dvz((uh)_{i,j-1}^{an}, h_{i,j-1}^{an}), dvz((uh)_{i,j+1}^{an}, h_{i,j+1}^{an}))$

$(v_{i-1,j}, v_{i+1,j}, v_{i,j}) \leftarrow (dvz((vh)_{i-1,j}^{an}, h_{i-1,j}^{an}), dvz((vh)_{i+1,j}^{an}, h_{i+1,j}^{an}), dvz((vh)_{i,j}^{an}, h_{i,j}^{an}))$

$(v_{i,j-1}, v_{i,j+1}) \leftarrow (dvz((vh)_{i,j-1}^{an}, h_{i,j-1}^{an}), dvz((vh)_{i,j+1}^{an}, h_{i,j+1}^{an}))$

$\sigma_{i,j} \leftarrow MM\left(\frac{h_{i+1,j}^{an} - h_{i,j}^{an}}{\Delta x}, \frac{h_{i,j}^{an} - h_{i-1,j}^{an}}{\Delta x}\right), \delta_{i,j} \leftarrow MM\left(\frac{h_{i,j+1}^{an} - h_{i,j}^{an}}{\Delta y}, \frac{h_{i,j}^{an} - h_{i,j-1}^{an}}{\Delta y}\right)$

$(h_{i,jW}, h_{i,jE}, h_{i,jN}, h_{i,jS}) \leftarrow \left(h_{i,j}^{an} - \frac{\sigma_{i,j}\Delta x}{2}, h_{i,j}^{an} + \frac{\sigma_{i,j}\Delta x}{2}, h_{i,j}^{an} - \frac{\delta_{i,j}\Delta y}{2}, h_{i,j}^{an} + \frac{\delta_{i,j}\Delta y}{2}\right)$

$\sigma_{i,j} \leftarrow MM\left(\frac{z_{i+1,j} - z_{i,j}}{\Delta x}, \frac{z_{i,j} - z_{i-1,j}}{\Delta x}\right), \delta_{i,j} \leftarrow MM\left(\frac{z_{i,j+1} - z_{i,j}}{\Delta y}, \frac{z_{i,j} - z_{i,j-1}}{\Delta y}\right)$

$(z_{i,jW}, z_{i,jE}, z_{i,jN}, z_{i,jS}) \leftarrow \left(z_{i,j} - \frac{\sigma_{i,j}\Delta x}{2}, z_{i,j} + \frac{\sigma_{i,j}\Delta x}{2}, z_{i,j} - \frac{\delta_{i,j}\Delta y}{2}, z_{i,j} + \frac{\delta_{i,j}\Delta y}{2}\right)$

$\sigma_{i,j} \leftarrow MM\left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{\Delta x}, \frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{\Delta x}\right), \delta_{i,j} \leftarrow MM\left(\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta y}, \frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{\Delta y}\right)$

$(u_{i,jW}, u_{i,jE}, u_{i,jN}, u_{i,jS}) \leftarrow \left(u_{i,j} - \frac{\sigma_{i,j}\Delta x}{2}, u_{i,j} + \frac{\sigma_{i,j}\Delta x}{2}, u_{i,j} - \frac{\delta_{i,j}\Delta y}{2}, u_{i,j} + \frac{\delta_{i,j}\Delta y}{2}\right)$

$\sigma_{i,j} \leftarrow MM\left(\frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{\Delta x}, \frac{v_{i,j} - v_{i-1,j}}{\Delta x}\right), \delta_{i,j} \leftarrow MM\left(\frac{v_{i,j+1} - v_{i,j}}{\Delta y}, \frac{v_{i,j} - v_{i,j-1}}{\Delta y}\right)$

$(v_{i,jW}, v_{i,jE}, v_{i,jN}, v_{i,jS}) \leftarrow \left(v_{i,j} - \frac{\sigma_{i,j}\Delta x}{2}, v_{i,j} + \frac{\sigma_{i,j}\Delta x}{2}, v_{i,j} - \frac{\delta_{i,j}\Delta y}{2}, v_{i,j} + \frac{\delta_{i,j}\Delta y}{2}\right)$

*End*

*End*

รูปที่ ก.4 แสดงรหัสเทียมสำหรับการสร้างข้อมูลที่ขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์



$$\begin{array}{l}
 dvz(a,b) \\
 \textit{Begin} \\
 dvz \leftarrow \frac{\sqrt{2}ab}{\sqrt{b^4 + \max(b^4, \textit{small number})}} \\
 \textit{End}
 \end{array}$$

รูปที่ ก.5 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน  $dvz(a,b)$  ที่ใช้สำหรับการป้องกันความผิดพลาดจากการหารที่ตัวหารเป็นศูนย์

$$\begin{array}{l}
 MM(a,b) \\
 \textit{Begin} \\
 MM \leftarrow \left( \frac{\textit{sign}(a) + \textit{sign}(b)}{2} \right) \cdot \min(\textit{abs}(a), \textit{abs}(b)) \\
 \textit{End}
 \end{array}$$

รูปที่ ก.6 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน  $MM(a,b)$  ที่ใช้สำหรับการปรับค่าความชัน

#### ก.4 การคำนวณค่าฟลักซ์ (Calculate Flux and Find $\lambda_{\max}$ )

สำหรับขั้นตอนนี้เป็นกรนำข้อมูลต่าง ๆ จากขั้นตอนที่ผ่านมา นำมาใช้ในการคำนวณค่าฟลักซ์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง โดยที่ในขั้นตอนดังกล่าวยังต้องมีการหาค่าของ  $\lambda_{\max}$  เพื่อใช้ในการคำนวณค่าของ  $\Delta t_k$  ด้วย อีกทั้งในวิจัยนี้ก็จะทำการคำนวณค่าของพจน์แรงโน้มถ่วงของโลกในส่วนนี้เลย โดยมีรหัสเทียมในขั้นตอนการคำนวณในส่วนดังกล่าวเป็นดังนี้

*CalculateFlux()*

*Begin*

$\lambda_{\max} \leftarrow 0$  ,  $NPt \leftarrow CountPt$

*For*  $k \leftarrow 0$  *To*  $NPt - 1$  *Do*

*Begin*

$(i, j) \leftarrow Pt_k^{an}$

$l_{i,jW} \leftarrow \max(0, h_{i,jW} + z_{i,jW} - \max(z_{i-1,jE}, z_{i,jW}))$

$l_{i,jE} \leftarrow \max(0, h_{i,jE} + z_{i,jE} - \max(z_{i,jE}, z_{i+1,jW}))$

$l_{i,jN} \leftarrow \max(0, h_{i,jN} + z_{i,jN} - \max(z_{i,j-1S}, z_{i,jN}))$

$l_{i,jS} \leftarrow \max(0, h_{i,jS} + z_{i,jS} - \max(z_{i,jS}, z_{i,j+1N}))$

$l_{i-1,jE} \leftarrow \max(0, h_{i-1,jE} + z_{i-1,jE} - \max(z_{i-1,jE}, z_{i,jW}))$

$l_{i+1,jW} \leftarrow \max(0, h_{i+1,jW} + z_{i+1,jW} - \max(z_{i,jE}, z_{i+1,jW}))$

$l_{i,j-1S} \leftarrow \max(0, h_{i,j-1S} + z_{i,j-1S} - \max(z_{i,j-1S}, z_{i,jN}))$

$l_{i,j+1N} \leftarrow \max(0, h_{i,j+1N} + z_{i,j+1N} - \max(z_{i,jS}, z_{i,j+1N}))$

$\bar{F}_{i-\frac{1}{2},j} \leftarrow numerFX(l_{i-1,jE}, u_{i-1,jE}, v_{i-1,jE}, l_{i,jW}, u_{i,jW}, v_{i,jW}) + \left(0, \frac{g}{2}(h_{i,jW}^2 - l_{i,jW}^2), 0\right)$

$\bar{F}_{i+\frac{1}{2},j} \leftarrow numerFX(l_{i,jE}, u_{i,jE}, v_{i,jE}, l_{i+1,jW}, u_{i+1,jW}, v_{i+1,jW}) + \left(0, \frac{g}{2}(h_{i,jE}^2 - l_{i,jE}^2), 0\right)$

$\bar{G}_{i,j-\frac{1}{2}} \leftarrow numerFY(l_{i,j-1S}, u_{i,j-1S}, v_{i,j-1S}, l_{i,jN}, u_{i,jN}, v_{i,jN}) + \left(0, 0, \frac{g}{2}(h_{i,jN}^2 - l_{i,jN}^2)\right)$

$\bar{G}_{i,j+\frac{1}{2}} \leftarrow numerFY(l_{i,jS}, u_{i,jS}, v_{i,jS}, l_{i,j+1N}, u_{i,j+1N}, v_{i,j+1N}) + \left(0, 0, \frac{g}{2}(h_{i,jS}^2 - l_{i,jS}^2)\right)$

$\bar{Z}x_{i,j} \leftarrow \left(0, g \cdot h_{i,j}^{an} \left(\frac{z_{i,jW} - z_{i,jE}}{\Delta x}\right), 0\right)$

$\bar{Z}y_{i,j} \leftarrow \left(0, 0, g \cdot h_{i,j}^{an} \left(\frac{z_{i,jN} - z_{i,jS}}{\Delta y}\right)\right)$

*End*

*End*

รูปที่ ก.7 แสดงรหัสเทียมสำหรับการหาค่าฟลักซ์ตรงขอบทั้งสี่ด้านของแต่ละเซลล์

*NumerFX*( $l_W, u_W, v_W, l_E, u_E, v_E$ )

*Begin*

$$a^+ \leftarrow \max(u_W + \sqrt{g \cdot l_W}, u_E + \sqrt{g \cdot l_E}, 0), a^- \leftarrow \min(u_W - \sqrt{g \cdot l_W}, u_E - \sqrt{g \cdot l_E}, 0)$$

$$Fh \leftarrow \frac{a^+ \cdot (ul)_W - a^- \cdot (ul)_E + a^+ \cdot a^- \cdot (l_E - l_W)}{a^+ - a^-}$$

$$Fuh \leftarrow \frac{a^+ \cdot \left(u^2 l + g \frac{l^2}{2}\right)_W - a^- \cdot \left(u^2 l + g \frac{l^2}{2}\right)_E + a^+ \cdot a^- \cdot ((ul)_E - (ul)_W)}{a^+ - a^-}$$

$$Fvh \leftarrow \frac{a^+ \cdot (u \cdot v \cdot l)_W - a^- \cdot (u \cdot v \cdot l)_E + a^+ \cdot a^- \cdot ((vl)_E - (vl)_W)}{a^+ - a^-}$$

$$\lambda_{\max} \leftarrow \max(\lambda_{\max}, a^+, -a^-)$$

$$NumerFX \leftarrow (Fh, Fuh, Fvh)$$

*End*

รูปที่ ก.8 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน *NumerFX*( $l_W, u_W, v_W, l_E, u_E, v_E$ )

*NumerFY*( $l_N, u_N, v_N, l_S, u_S, v_S$ )

*Begin*

$$b^+ \leftarrow \max(v_N + \sqrt{g \cdot l_N}, v_S + \sqrt{g \cdot l_S}, 0), b^- \leftarrow \min(v_N - \sqrt{g \cdot l_N}, v_S - \sqrt{g \cdot l_S}, 0)$$

$$Gh \leftarrow \frac{b^+ \cdot (vl)_N - b^- \cdot (vl)_S + b^+ \cdot b^- \cdot (l_S - l_N)}{b^+ - b^-}$$

$$Guh \leftarrow \frac{b^+ \cdot (v \cdot u \cdot l)_N - b^- \cdot (v \cdot u \cdot l)_S + b^+ \cdot b^- \cdot ((ul)_S - (ul)_N)}{b^+ - b^-}$$

$$Gvh \leftarrow \frac{b^+ \cdot \left(v^2 l + g \frac{l^2}{2}\right)_N - b^- \cdot \left(v^2 l + g \frac{l^2}{2}\right)_S + b^+ \cdot b^- \cdot ((vl)_S - (vl)_N)}{b^+ - b^-}$$

$$\lambda_{\max} \leftarrow \max(\lambda_{\max}, b^+, -b^-)$$

$$NumerFY \leftarrow (Gh, Guh, Gvh)$$

*End*

รูปที่ ก.9 แสดงรหัสเทียมสำหรับฟังก์ชัน *NumerFY*( $l_N, u_N, v_N, l_S, u_S, v_S$ )

### ก.5 การคำนวณค่า $\Delta t_k$ (Calculate $\Delta t_k$ )

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการคำนวณค่า  $\Delta t$  ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ที่ยังไม่ได้รวมพจน์แหล่งต้นทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

```

Calculate  $\Delta t_k$  ()
Begin
  IF  $\lambda_{\max} \neq 0$  Then
    Calculate  $\Delta t_k \leftarrow \min\left(\frac{\Delta x}{2 \cdot \lambda_{\max}}, \frac{\Delta y}{2 \cdot \lambda_{\max}}\right)$ 
  Else
    Calculate  $\Delta t_k \leftarrow \min\left(\frac{\Delta x}{2 \cdot g}, \frac{\Delta y}{2 \cdot g}\right)$ 
End
  
```

รูปที่ ก.10 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่า  $\Delta t_k$

### ก.6 การคำนวณหาผลลัพธ์ที่ยังไม่ได้รวมพจน์แหล่งต้นทาง (Calculate $\bar{W}^{(k)}$ )

ในหัวข้อนี้เป็นรหัสเทียมที่จะแสดงขั้นตอนการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ยังไม่ได้รวมพจน์แหล่งต้นทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

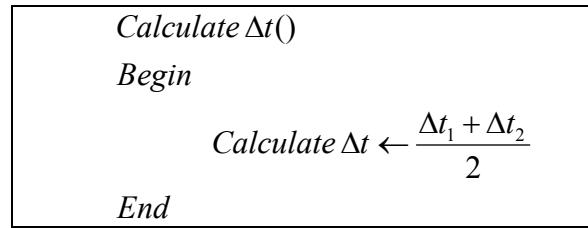
```

Calculate  $\bar{W}^{(k)}$  ()
Begin
  NPt  $\leftarrow$  CountPt , CountPt  $\leftarrow$  0
  For k  $\leftarrow$  1 To NPt-1 Do
    Begin
      (i, j)  $\leftarrow$  Ptkan
      (h, uh, vh)i,jbn  $\leftarrow$  (h, uh, vh)i,jan -  $\frac{\Delta t}{\Delta x} \left( \bar{F}_{i+\frac{1}{2},j} - \bar{F}_{i-\frac{1}{2},j} \right) + \Delta t \bar{Z}x_{i,j}$ 
       $- \frac{\Delta t}{\Delta y} \left( \bar{G}_{i,j+\frac{1}{2}} - \bar{G}_{i,j-\frac{1}{2}} \right) + \Delta t \bar{Z}y_{i,j}$ 
      KeepPoint(i, j)
    End
  Swap(an, bn)
End
  
```

รูปที่ ก.11 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่า  $\bar{W}^{(k)}$

### ก.7 การคำนวณค่า $\Delta t$ (Calculate $\Delta t$ )

ส่วนนี้เป็นการคำนวณค่า  $\Delta t$  ในแต่ละ Time step ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

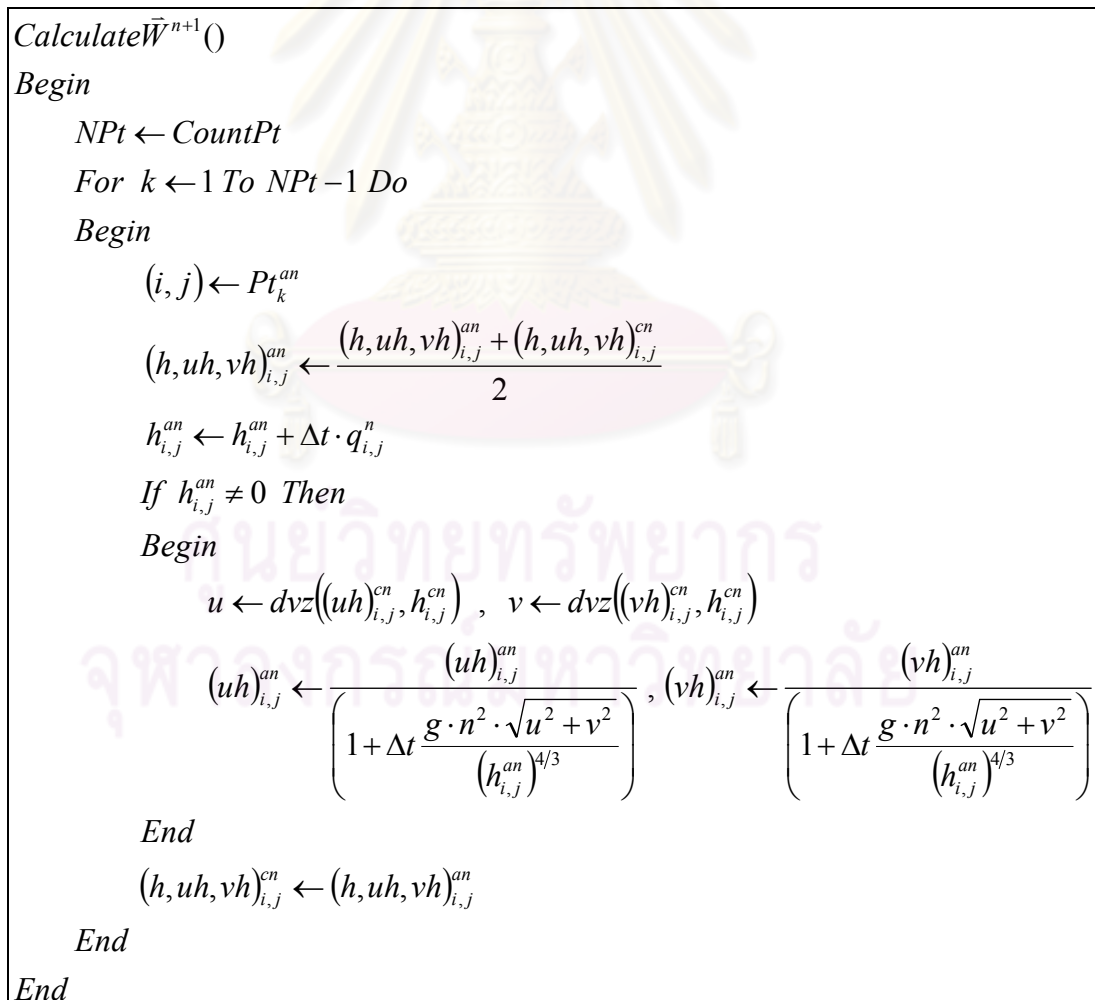


รูปที่ ก.12 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่า  $\Delta t$

### ก.8 การคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง

(Calculate  $\vec{W}^{(3)}$  and Compute source term ( $\vec{W}^{n+1}$ ))

ในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองน้ำท่วมที่รวมพจน์แหล่งต้นทางสามารถคำนวณได้ดังนี้



รูปที่ ก.13 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่า  $\vec{W}^{n+1}$

### ก.9 การแสดงผลภาพจากแบบจำลอง (Draw Image)

หัวข้อนี้เป็นการแสดงรหัสเทียมในการที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากหัวข้อที่แล้วมาแสดงผลภาพ ซึ่งจากบทที่ 5 จะเห็นได้ว่าการแสดงผลภาพสามารถแสดงได้ทั้งรูปแบบของการคำนวณค่าสี RGB และการใช้ค่าสีจากภาพต่าง ๆ โดยในที่นี้จะแสดงเฉพาะรหัสเทียมของการแสดงผลภาพโดยการคำนวณค่าสี RGB เท่านั้นซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

```

DrawImage()
Begin
     $d \leftarrow \frac{z_s}{z_{\max}}$ 
    For  $j \leftarrow 1$  To  $m_y - 2$  Do
        Begin
            For  $i \leftarrow 1$  To  $m_x - 2$  Do
                Begin
                    Color3d(SetRGB( $h_{i-1,j}^{an}, z_{i-1,j}$ ))
                    Plot3f( $i-1, j, (h_{i-1,j}^{an} + z_{i-1,j}) \cdot d$ )
                    Color3d(SetRGB( $h_{i,j}^{an}, z_{i,j}$ ))
                    Plot3f( $i, j, (h_{i,j}^{an} + z_{i,j}) \cdot d$ )
                    Color3d(SetRGB( $h_{i-1,j+1}^{an}, z_{i-1,j+1}$ ))
                    Plot3f( $i-1, j+1, (h_{i-1,j+1}^{an} + z_{i-1,j+1}) \cdot d$ )
                    Color3d(SetRGB( $h_{i,j+1}^{an}, z_{i,j+1}$ ))
                    Plot3f( $i, j+1, (h_{i,j+1}^{an} + z_{i,j+1}) \cdot d$ )
                End
            End
        End
    End
End

```

รูปที่ ก.14 แสดงรหัสเทียมสำหรับการพล็อตภาพนามธรรมของน้ำท่วมในรูปแบบของ 3 มิติ

```

SetRGB(h, z)
Begin
    IF  $h = 0$  Then  $(r, g, b) \leftarrow$  Calculate from eq. 5.4 to 5.5
    Else  $(r, g, b) \leftarrow$  Calculate from eq. 5.2 to 5.3
End

```

รูปที่ ก.15 แสดงรหัสเทียมสำหรับการคำนวณค่าสี RGB



### ก.10 การจำลองน้ำท่วม (Simulation and Visualization of Flood)

หัวข้อนี้จะได้นำเสนอรหัสเทียมที่แสดงการทำงานของโปรแกรมในการที่จะจำลองและสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมซึ่งจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ โดยมีรายละเอียดของรหัสเทียมเป็นดังนี้

```

Simulation()
Begin
    MakeInitialData()
    While (Stop_for_User = false) Do
    Begin
        Setboundary()
        Reconstruction()
        CalculateFlux()
         $\Delta t \leftarrow \text{Calculate}\Delta t_k()$ 
         $\Delta t_1 \leftarrow \Delta t$ 
        Calculate $\bar{W}^k()$ 

        Setboundary()
        Reconstruction()
        CalculateFlux()
         $\Delta t \leftarrow \text{Calculate}\Delta t_k()$ 
         $\Delta t_2 \leftarrow \Delta t$ 
        Calculate $\bar{W}^k()$ 

         $\Delta t \leftarrow \text{Calculate}\Delta t()$ 
        Calculate $\bar{W}^{n+1}()$ 
        DrawImage()
    End
End
  
```

รูปที่ ก.16 แสดงรหัสเทียมสำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม

### ก.11 การจำลองฝนตก (Rain Simulation)

ในขณะที่ทำการจำลองอยู่นั้นสามารถที่จะกำหนดให้เกิดการจำลองพื้นที่ฝนตกเพิ่มขึ้นจากตอนเริ่มต้นได้ โดยรับข้อมูลพื้นที่ที่ต้องการให้เกิดฝนตกจากผู้ใช้แล้วทำการเก็บจุดดังกล่าวไว้ซึ่งมีรายละเอียดของรหัสเทียมเป็นดังนี้

```

RainSimulation()
Begin
  For j ← 1 To my - 2 Do
    Begin
      For i ← 1 To mx - 2 Do
        Begin
          Mqi,jn ← Mqi,jUser
          KeepPoint(i, j, bn, an)
        End
      End
    End
  End
End

```

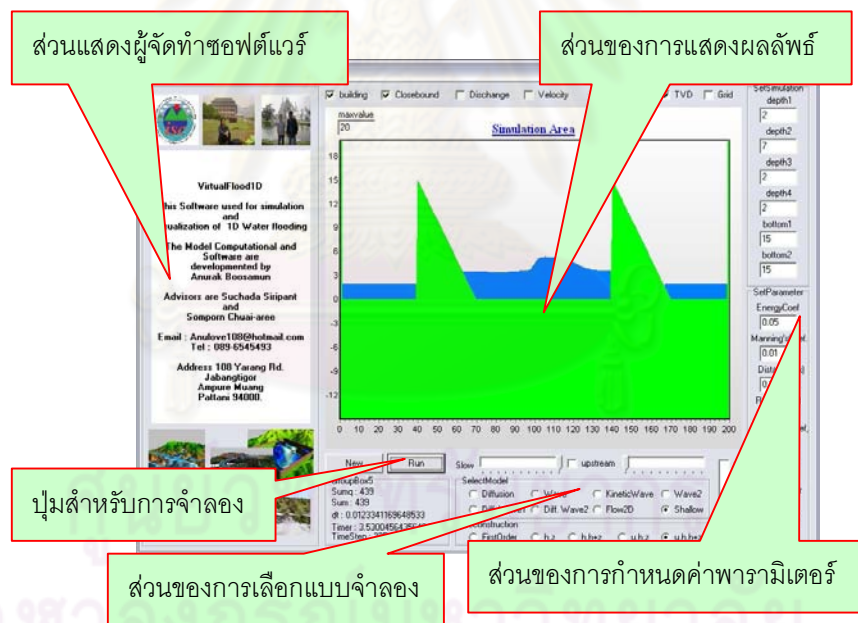
รูปที่ ก.17 แสดงรหัสเทียมสำหรับการกำหนดพื้นที่ฝนตก

สำหรับเนื้อหาทั้งหมดที่ได้กล่าวไปในภาคผนวก ก. นั้นเป็นการแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนวิธีที่ใช้สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมในรูปแบบของรหัสเทียมทำให้เห็นภาพของขั้นตอนในผังงานที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.7 ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ส่วนซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะได้กล่าวถึงในภาคผนวกบต่อไป

ภาคผนวก ข.

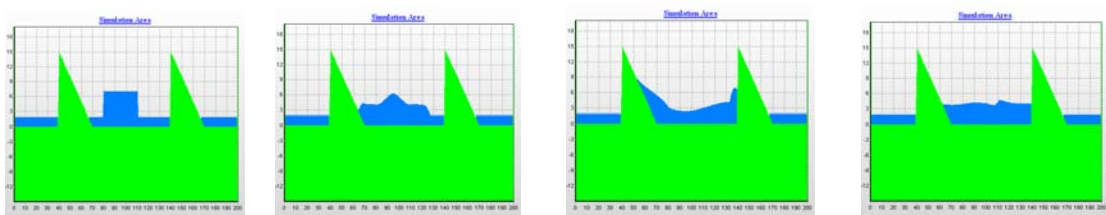
ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองการไหลของน้ำในรูปแบบ 1 มิติ

ในการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม ก่อนที่จะทำการจำลองการไหลของน้ำบนพื้นผิวภูมิประเทศหรือการไหลในรูปแบบของภาพกราฟิกส์ 2 มิติ และ 3 มิตินั้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการไหลของน้ำด้วยแบบจำลองการไหลใน 1 มิติ เพื่อเป็นการทดสอบแบบจำลองซึ่งการจำลองดังกล่าวได้ทำการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเองในงานวิจัยนี้ โดยที่ซอฟต์แวร์ดังกล่าวสามารถที่จะกำหนดความลึกของน้ำเริ่มต้น ความสูงของสิ่งกีดขวาง ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ รูปแบบของการสร้างข้อมูลบริเวณขอบของแต่ละเซลล์ กำหนดขอบเปิดขอบปิดของกริดข้อมูล รวมถึงการจำลองน้ำไหลเข้ามาทางจุดต้นน้ำอีกด้วย และเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองอื่น ๆ นอกเหนือจากแบบจำลองที่กล่าวไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดังนั้นซอฟต์แวร์ทุกตัวในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ผู้ใช้สามารถเลือกแบบจำลองที่ต้องการได้ โดยที่หน้าจอของซอฟต์แวร์ดังกล่าวเป็นดังนี้



รูปที่ ข.1 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมสำหรับการจำลองการไหลของน้ำในรูปแบบ 1 มิติ

และมีผลลัพธ์ในการจำลองการไหลของน้ำดังเช่นเหตุการณ์ต่าง ๆ ข้างล่างนี้

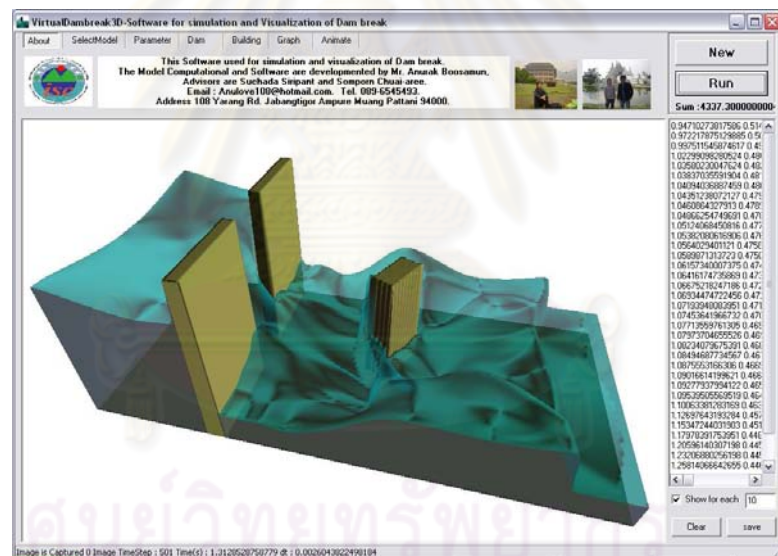


รูปที่ ข.2 ภาพแสดงการจำลองการไหลของน้ำในรูปแบบ 1 มิติ

## ภาคผนวก ค.

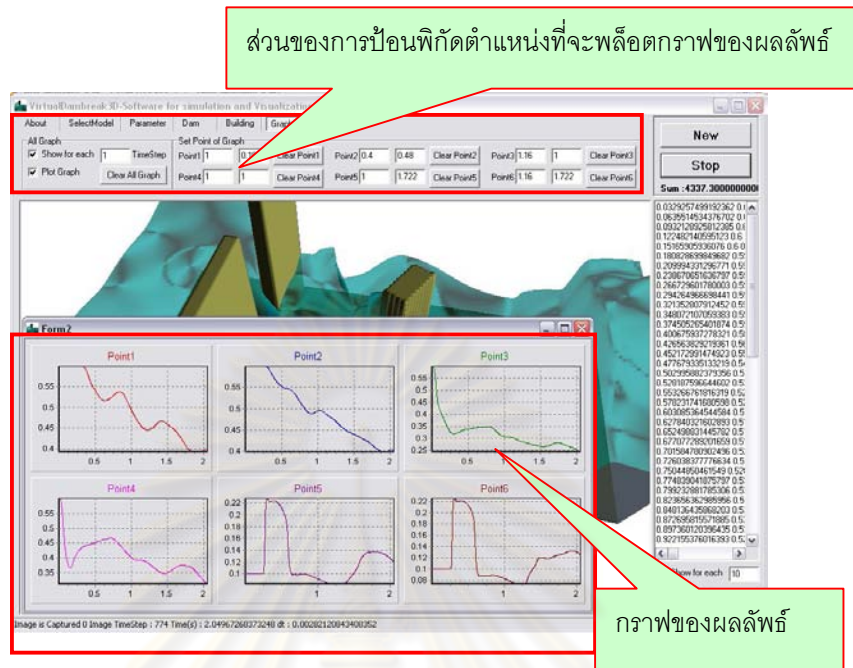
## ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองเขื่อนแตก

ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับผลการทดลองดังที่ได้เห็นไปแล้วในหัวข้อที่ 6.1 ของบทที่ 6 การจำลองดังกล่าวได้ทำการจำลองด้วยซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองเขื่อนแตกที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้โดยที่ซอฟต์แวร์ดังกล่าวสามารถที่จะเลือกแบบจำลองและรูปแบบการสร้างข้อมูลบริเวณขอบของแต่ละเซลล์ เลือกรูปแบบขอบของกริดข้อมูล กำหนดขนาดของพื้นที่จำลอง ขนาดของสิ่งกีดขวาง ค่าพารามิเตอร์และค่าเริ่มต้นต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลพริศความลึกของน้ำ ณ จุดที่สนใจในรูปของกราฟ และสามารถบันทึกผลลัพธ์ดังกล่าวทั้งในรูปแบบของข้อมูลที่เป็นตัวเลขและภาพจำลองในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหวเพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบความถูกต้องได้อีกด้วย สำหรับรายละเอียดส่วนประกอบของซอฟต์แวร์การจำลองเขื่อนแตกดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

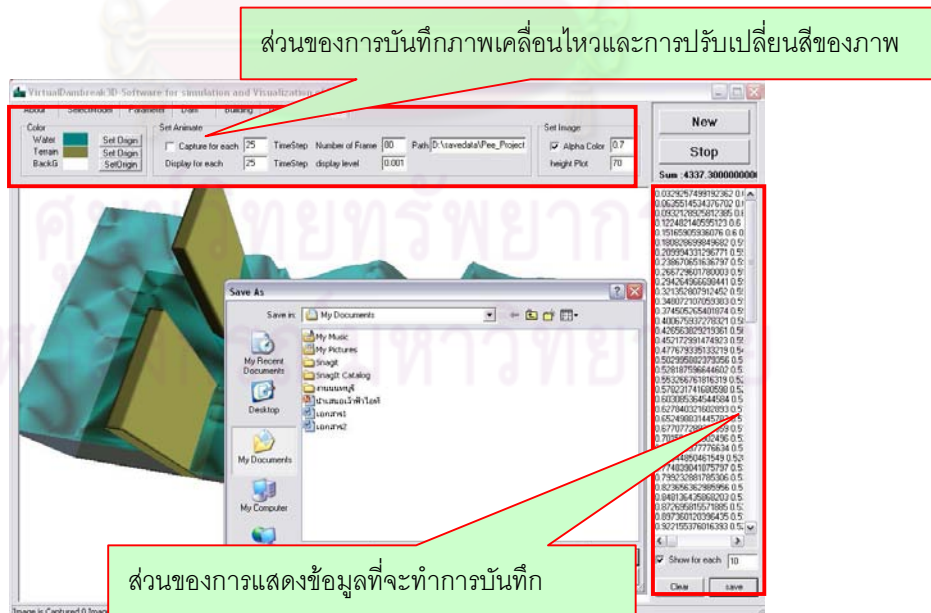


รูปที่ ค.1 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมสำหรับการจำลองเขื่อนแตก

ซึ่งในการพล็อตกราฟผลลัพธ์สามารถที่จะบันทึกตำแหน่งจุดที่ต้องการบันทึกข้อมูลผลลัพธ์ความลึกของน้ำโดยสามารถบันทึกตำแหน่งได้ทั้งหมด 6 จุด และสามารถเลือกแสดงกราฟของข้อมูลทั้งหมด 6 กราฟพร้อมกันดังรูปที่ ค.2



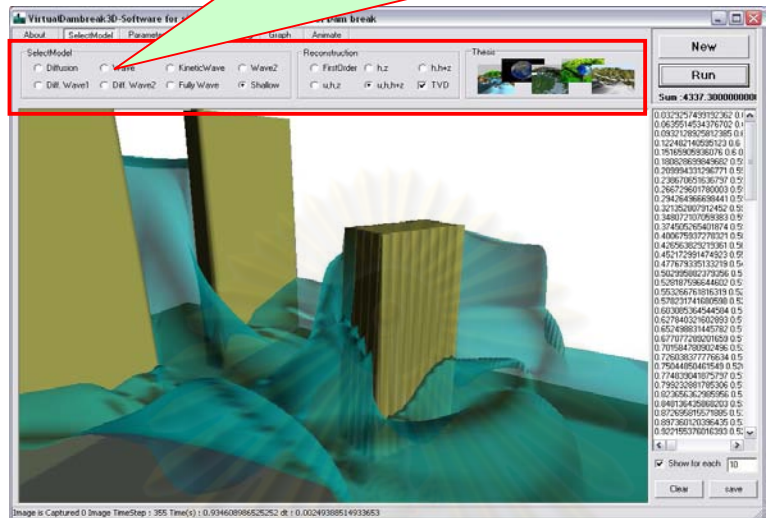
รูปที่ ค.2 ภาพแสดงการพล็อตกราฟผลลัพธ์ของซอฟต์แวร์สำหรับจำลองเขื่อนแตก



รูปที่ ค.3 ภาพแสดงการบันทึกผลลัพธ์ในรูปแบบของข้อมูลเพื่อนำไปใช้สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้อง



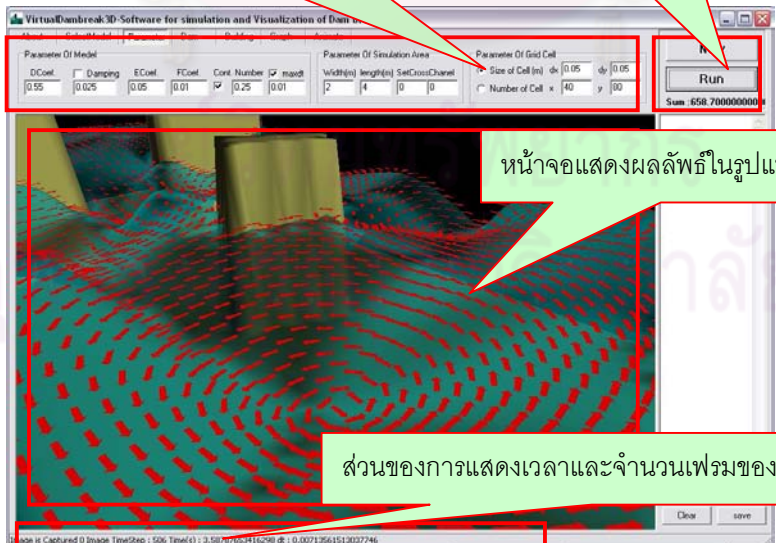
ส่วนที่ให้เลือกแบบจำลองและรูปแบบการสร้างข้อมูลบริเวณขอบของแต่ละเซลล์



รูปที่ ค.4 ภาพแสดงส่วนของการเลือกแบบจำลองและรูปแบบการสร้างข้อมูลบริเวณขอบของแต่ละเซลล์

ส่วนของการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

ปุ่มสำหรับการจำลอง



หน้าจอแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบ 3 มิติ

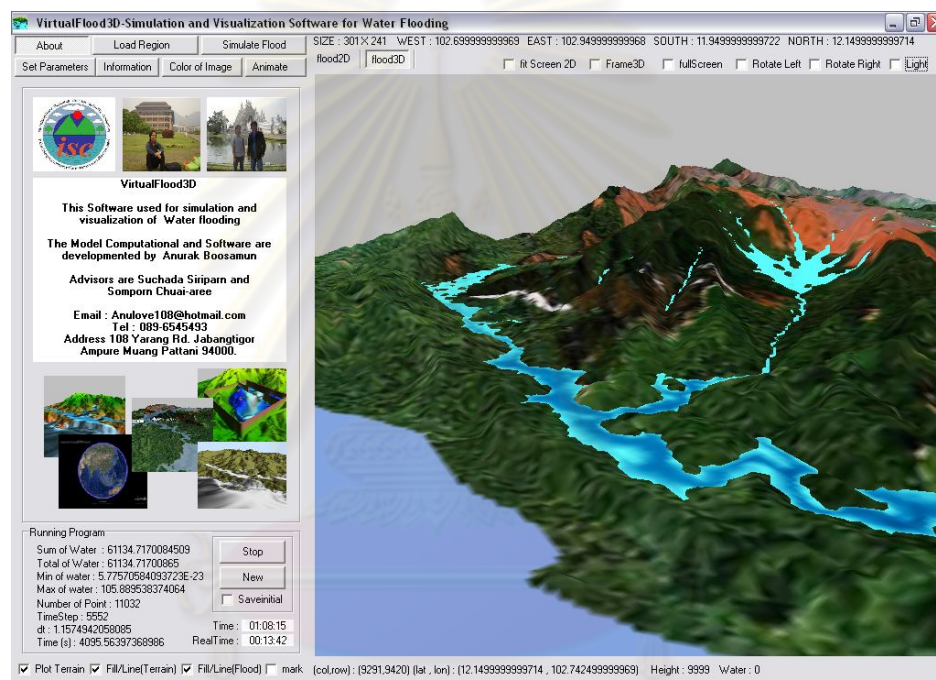
ส่วนของการแสดงเวลาและจำนวนเฟรมของภาพเคลื่อนไหว

รูปที่ ค.5 ภาพแสดงส่วนของการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของการไหลของน้ำ

## ภาคผนวก ง.

### ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม VirtualFlood3D Software for Simulation and Visualization of Water Flooding

ในการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วมในงานวิจัยนี้นั้นจะกระทำผ่านซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเอง ซึ่งซอฟต์แวร์ดังกล่าวสามารถที่จะจำลองและแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ได้กล่าวไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้รวมทั้งแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองอื่น ๆ ที่ได้ทำในงานวิจัยนี้ด้วย โดยที่หน้าตาของซอฟต์แวร์ดังกล่าวเป็นดังนี้

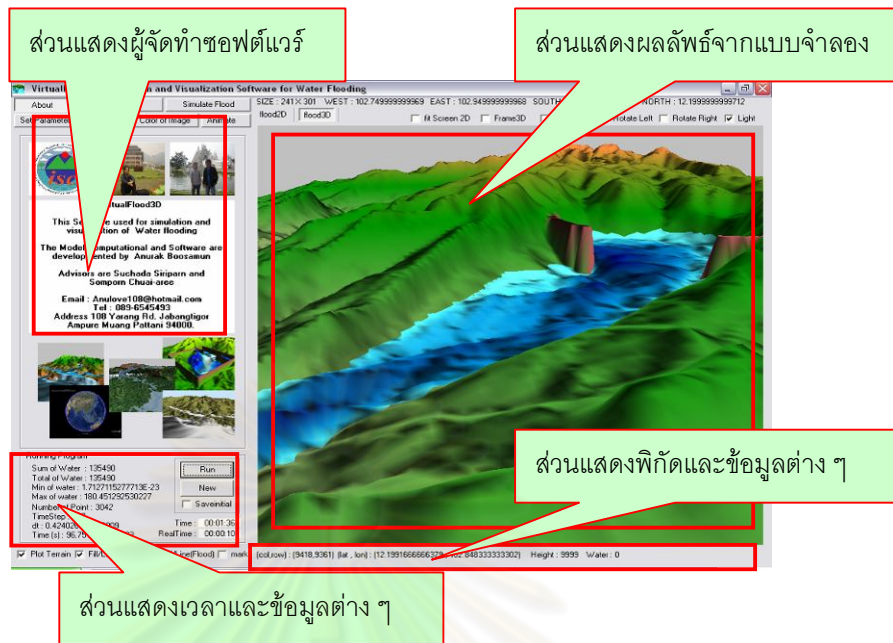


รูปที่ ง.1 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมสำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม

ซอฟต์แวร์ที่ได้เห็นดังรูปที่ ง.1 มีส่วนประกอบหลัก ๆ อยู่ 7 ส่วนเพื่อใช้สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### ง.1 หน้าจอสำหรับการแสดงผลลัพธ์ (Main Program)

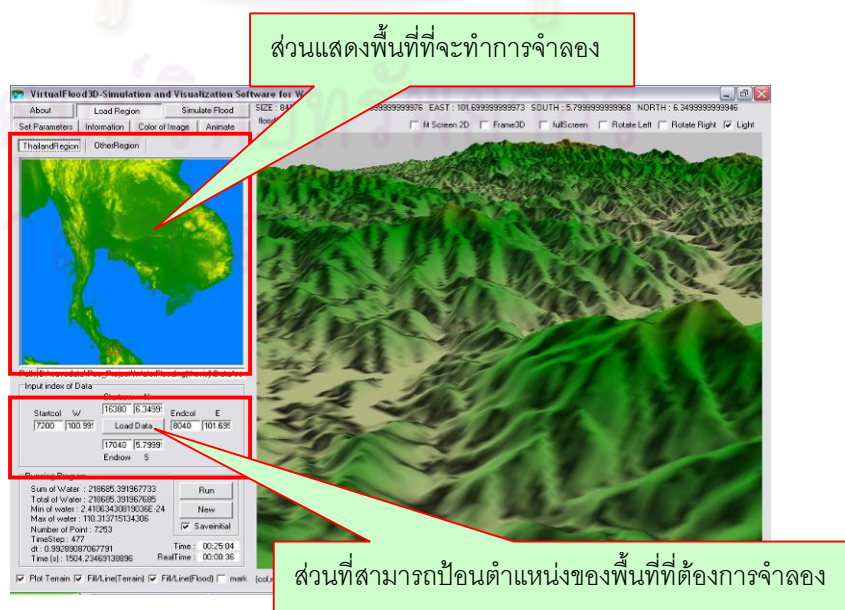
เป็นส่วนของการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองซึ่งสามารถเลือกการแสดงผลลัพธ์ได้ในรูปแบบของ 2 มิติ หรือ 3 มิติ โดยที่ในระหว่างการจำลอง โปรแกรมจะแสดงเวลาที่ใช้ในการจำลองและเวลาของเหตุการณ์ที่ทำการจำลอง รวมถึงพิกัดตำแหน่งของพื้นที่จำลองและข้อมูลต่าง ๆ เช่น ความลึกของน้ำ ความสูงของพื้นดินและปริมาณน้ำรวมในพื้นที่จำลอง เป็นต้น



รูปที่ ง.2 ภาพแสดงหน้าจอหลักของซอฟต์แวร์

### ง.2 การเลือกพื้นที่จำลอง (Select Region)

เป็นส่วนที่ผู้ใช้สามารถที่จะโหลดเอาข้อมูลความสูงของพื้นที่ที่ต้องการนำมาจำลองแบบ โดยการลากกรอบสี่เหลี่ยมบนพื้นที่ของภาพประเทศไทยหรือป้อนตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดบนขอบทั้งสี่ด้านของพื้นที่ที่ต้องการ แต่ถ้าต้องการเลือกพื้นที่อื่น ๆ นอกเหนือจากบริเวณของประเทศไทย ก็สามารถนำเข้าไปใส่ข้อมูลความสูงของพื้นที่ที่ต้องการผ่านส่วนของ Other Region

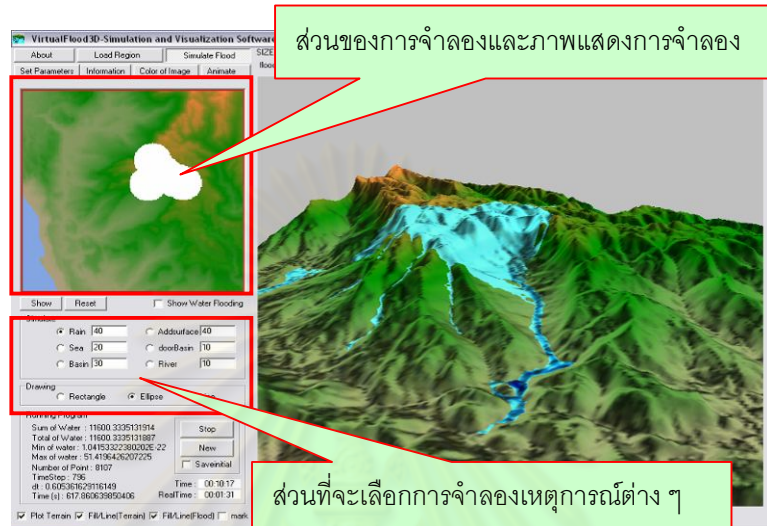


รูปที่ ง.3 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการเลือกพื้นที่จำลอง



### ง.3 การจำลองแบบ (Simulation)

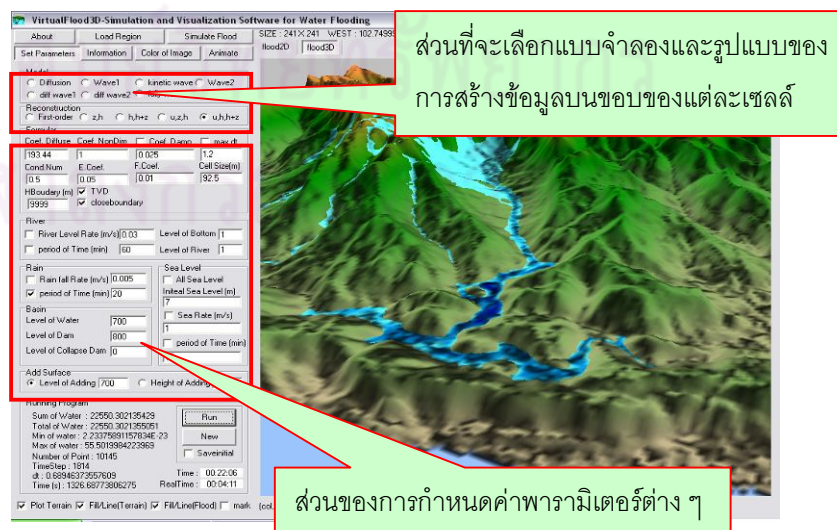
ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้งานสามารถจำลองเหตุการณ์ตามที่ต้องการโดยสามารถเลือกได้ว่าต้องการจำลองฝนตกบริเวณไหน ตั้งเงื่อนไขจำลองที่ใด มีสิ่งกีดขวางหรือไม่ หรือถ้าต้องการให้มีแม่น้ำผ่านตรงบริเวณพื้นที่ดังกล่าวก็สามารถลากเส้นทางของแม่น้ำตามที่ต้องการได้



รูปที่ ง.4 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการจำลองแบบ

### ง.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Parameter)

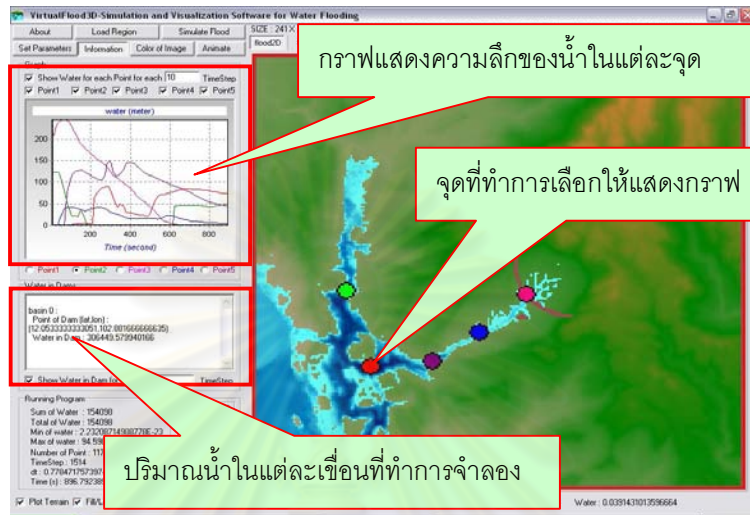
ในการจำลองแบบเพื่อหาผลลัพธ์จากแบบจำลองนั้น จะเห็นได้ว่าแบบจำลองต่าง ๆ ต้องการค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้สำหรับการจำลองแบบ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกแบบจำลอง รูปแบบของการสร้างข้อมูลบริเวณขอบของแต่ละเซลล์ และการกำหนดขอบของกริดข้อมูลตามที่ต้องการได้อีกด้วย



รูปที่ ง.5 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการกำหนดค่าพารามิเตอร์

### ง.5 การแสดงข้อมูลของผลลัพธ์ (Information)

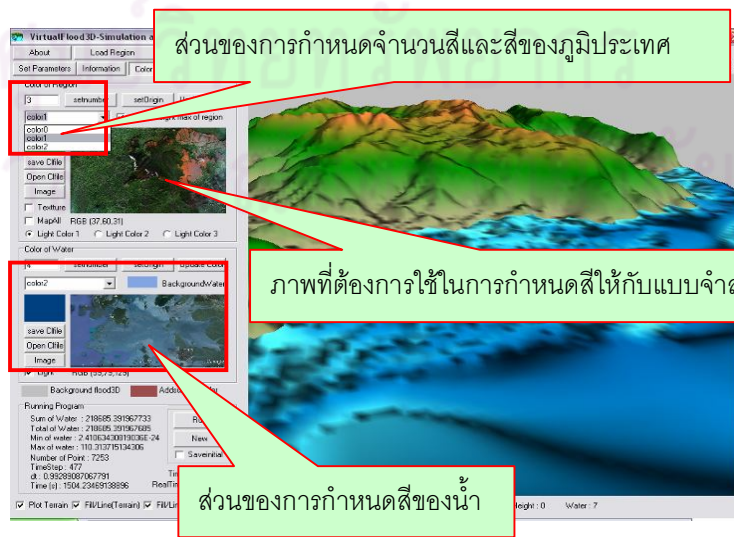
ในการดูผลลัพธ์จากแบบจำลอง ผู้ใช้สามารถที่จะดูผลลัพธ์ความลึกของน้ำในแต่ละจุดที่ต้องการในรูปแบบของกราฟ นอกจากนี้ในกรณีที่ทำการจำลองเหตุการณ์เขื่อนแตก ก็ยังสามารถตรวจสอบปริมาณน้ำในแต่ละเขื่อนที่กำลังทำการจำลองได้



รูปที่ ง.6 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการแสดงข้อมูลผลลัพธ์

### ง.6 การปรับแต่งสีของภาพ (Color of Image)

ในส่วนนี้ผู้ใช้สามารถที่จะปรับแต่งสีของภาพทั้งในส่วนของภาพพื้นผิวภูมิประเทศและส่วนของความลึกน้ำ โดยสามารถป้อนจำนวนสีและกำหนดสีต่าง ๆ ที่ต้องการแสดงผล หรือจะนำเข้ารูปภาพที่จะใช้ในการกำหนดสีของภาพจำลองก็ได้ ซึ่งประโยชน์ของโปรแกรมในส่วนนี้นั้นช่วยให้ภาพของผลลัพธ์ที่ได้สมจริง และสามารถบอกถึงความหนาแน่นของน้ำในแต่ละจุด เพื่อใช้สำหรับการบอกแนวโน้มของสถานการณ์น้ำท่วมที่กำลังทำการจำลอง

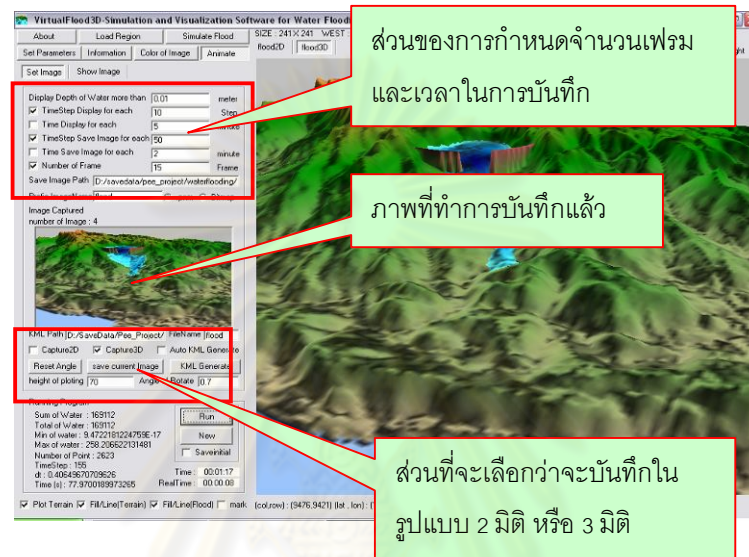


รูปที่ ง.7 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการปรับแต่งสีของภาพ



## ง.7 การบันทึกภาพผลลัพธ์ (Animate)

เมื่อทำการจำลองแบบ ในระหว่างการจำลองหากต้องการบันทึกผลลัพธ์จากแบบจำลอง ก็สามารถกระทำผ่านโปรแกรมในส่วนนี้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกที่จะบันทึกผลลัพธ์ในรูปแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติ และสามารถที่จะให้โปรแกรมสร้างชุดคำสั่งสคริปเพื่อให้นำผลลัพธ์ที่ได้ไปแสดงผลผ่านโปรแกรม Google Earth



รูปที่ ง.8 ภาพแสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนของการบันทึกภาพผลลัพธ์

ในส่วนของภาคผนวก ข. ค. และ ง. นั้น ได้นำเสนอซอฟต์แวร์ที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้สำหรับการจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของน้ำท่วม ซึ่งการที่ผู้ทำวิจัยได้พัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาใช้งานวิจัยนี้ ก็เพื่อประโยชน์สำหรับการปรับแก้ และการต่อยอดพัฒนาแบบจำลองที่สามารถทดสอบได้ตามที่ต้องการ

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอนุรักษ บุษะมัญญ เกิดเมื่อวันเสาร์ที่ 26 กรกฎาคม พุทธศักราช 2529 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ จากภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี เมื่อปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย