



## การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์การแยกเป็นสองทางของหัวร่องน้ำ

ชนชาติ สุทธิธินกุล วรณดี ไทยสยาม\* และ อติชัย พรพรหมินทร์  
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2797 0999 ต่อ 1906 อีเมล: fengwdt@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.11.001

รับเมื่อ 14 มิถุนายน 2561 แก้ไขเมื่อ 9 สิงหาคม 2561 ตอรับเมื่อ 31 สิงหาคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 14 พฤศจิกายน 2561

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

โครงข่ายลำน้ำในธรรมชาติเกิดจากกระบวนการกัดเซาะที่ลาดดินบริเวณหัวร่องน้ำ ในบางครั้งอาจส่งผลให้เกิดการแยกเป็นสองทางของหัวร่องน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการเพิ่มขึ้นของลำดับทางน้ำ หมายความว่าโครงข่ายแม่น้ำจะมีความซับซ้อนมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาและลักษณะทางอุทกวิทยาของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาการกัดเซาะบริเวณหัวร่องน้ำเนื่องจากน้ำใต้ดิน โดยใช้วิธีเชิงตัวเลข เพื่อจำลองสนามการไหลน้ำใต้ดินและสมมติให้หัวร่องน้ำเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว โดยในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาโอกาสในการเกิดการแยกเป็นสองทางของร่องน้ำจากสมมติฐานที่ว่า หากอัตราการไหลซึมของน้ำใต้ดินบริเวณหัวร่องน้ำสูงสุดไม่ได้อยู่บริเวณแกนสมมาตรของร่องน้ำระหว่างตลิ่งซ้ายและขวา แต่กลับปรากฏที่ 2 จุด บริเวณตลิ่งซ้ายและขวา ซึ่งหมายถึงหัวร่องน้ำถูกกัดเซาะอย่างเข้มข้นบริเวณ 2 จุดดังกล่าว ดังนั้นจะส่งผลให้หัวร่องน้ำแยกเป็นสองทาง พบว่ารูปร่างร่องน้ำและที่มาของแหล่งจ่ายน้ำ (จากต้นน้ำ หรือน้ำฝน) มีอิทธิพลต่อลักษณะของสนามการไหลน้ำใต้ดินและการแยกเป็นสองทางของร่องน้ำ โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างเห็นได้ชัด คือ มุมของหัวร่องน้ำรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ซึ่งเป็นมุมบ้านที่มีขนาดมากกว่า  $150^\circ$  และยิ่งสนามการไหลได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน จะยิ่งทำให้การแยกเป็นสองทางของร่องน้ำมีโอกาสเกิดสูงยิ่งขึ้นไปอีก

**คำสำคัญ:** การเกิดร่องน้ำแยกเป็นสองทาง, สนามการไหลน้ำใต้ดิน, การกัดเซาะเนื่องจากการรั่วซึม



## Groundwater Flow Simulation to Analyze Channel Head Bifurcation

Thanachart Sutidhanakul, Wandee Thaisiam\* and Adichai Pornprommin

Department of Water Resources Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 0 2797 0999 Ext. 1906, E-mail: fengwdt@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.11.001

Received 14 June 2018; Revised 9 August 2018; Accepted 31 August 2018; Published online: 14 November 2018

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

River basin networks are generated by erosion processes at channel heads. This sometimes results in two-way splitting of channel heads (bifurcation) that is an important process causing an increase in stream orders. It means a more complex network. Bifurcation depends on the geological and hydrologic characteristics of each river basin. We studied channel head erosion due to groundwater by a numerical method to simulate the groundwater flow fields. We assumed the shape of channel head to be isosceles triangles. This study analyzed the probability of channel head bifurcation from the assumption as follows. If the maximum seepage along a channel head is not at the symmetrical axis of the channel but appears at two locations along the left and right banks. The channel head shapes related to the contributing area shapes and water sources (upstream or rain feeding) influenced the groundwater flow field and channel head bifurcation. It is found that the most prominent factor is the angle of the isosceles triangle head that the angle is larger than  $150^\circ$ . In addition, the more the influence of rain fall on groundwater flow field, the higher possibility of channel head bifurcation occurs.

**Keywords:** Channel Bifurcation, Groundwater Flow Field, Seepage Erosion

## 1. บทนำ

โครงข่ายลำน้ำในแต่ละลุ่มน้ำมีรูปแบบแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศ โดยความซับซ้อนของรูปแบบโครงข่ายลำน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาที่หลากหลาย กระบวนการเกิดร่องน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการหลัก คือ การกัดเซาะเนื่องจากการไหลของน้ำผิวดิน และการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของน้ำใต้ดิน สำหรับกระบวนการเกิดร่องน้ำจากน้ำผิวดิน มีหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษา เช่น Pelletier *et al.* [1] ได้ศึกษาการพัฒนาของร่องน้ำ โดยพิจารณาแก่สมการทางคณิตศาสตร์ที่พิจารณาการพัฒนาของร่องน้ำขึ้นอยู่กับกระบวนการกัดเซาะด้วยน้ำผิวดินร่วมกับ Diffusion ของดิน จะได้ผลลัพธ์ทางทฤษฎีว่าร่องน้ำเป็นรูปพาราโบลาและเปรียบเทียบกับผลในภาคสนามได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน ยกเว้นบริเวณหัวร่องน้ำ Pornprommin *et al.* [2] ได้สมมติให้หัวร่องน้ำเป็นรูปวงกลมโดยใช้วิธีเสถียรภาพเชิงเส้นตรง ซึ่งทิศทางการไหลของน้ำจะไหลไปในทิศเดียวกับบรัมี โดยพิจารณาที่มุมเชื่อมต่อระหว่างร่องน้ำ ( $\theta = 2\pi/k$ ) พบว่าในช่วงที่รัศมีของร่องน้ำมีค่าน้อย หัวร่องน้ำจะไม่เกิดการแยกเป็นสองทาง แต่จะเกิดการแยกเป็นสองทางเมื่อรัศมีของร่องน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่า  $k$  ประมาณ 3-5

สำหรับกระบวนการเกิดร่องน้ำเนื่องจากการกัดเซาะจากน้ำใต้ดิน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า อัตราการถดถอยของหัวร่องน้ำจะแปรผันตรงกับอัตราการรั่วซึม [3] รวมทั้งลักษณะของสนามการไหลของน้ำใต้ดินและรูปร่างของร่องน้ำน่าจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการเกิดและพัฒนาของร่องน้ำด้วย [4] ในงานวิจัยของ Pornprommin *et al.* [5] ได้ศึกษาเชิงกายภาพในห้องทดลองเกี่ยวกับการเกิดร่องน้ำเนื่องจากน้ำใต้ดิน ทำการทดลองศึกษาการเกิดร่องน้ำเนื่องจากการกัดเซาะจากการรั่วซึมโดยใช้ทรายหยาบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.4 มม. ขนาดของชั้นตะกอนมีความกว้าง 150 ซม. และความยาว 120 ซม. และความลึกของชั้นตะกอนเท่ากับ 10 และ 12 ซม. พบว่าเกณฑ์ของอัตราการไหลเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความลาดชันท้องน้ำ แต่จะลดลงเมื่อเพิ่มความลึกของชั้นตะกอน ส่วนความกว้างของร่องน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความลาดชัน เพิ่มความลึกชั้นตะกอน และเพิ่ม

อัตราการไหล การแยกเป็นสองทางของร่องน้ำจะไม่เกิดขึ้น ถ้าใช้เม็ดพลาสติกแทนตะกอน โดยปกติการที่หัวร่องน้ำเกิดการแยกเป็นสองทางจะพบได้ ในกรณีที่ความลาดชันท้องน้ำมีค่าน้อยๆ และในปัจจุบันมีการศึกษาเชิงกายภาพในห้องทดลองเกี่ยวกับการเกิดร่องน้ำเนื่องจากการกัดเซาะด้วยการไหลซึม โดยจำลองการเกิดร่องน้ำเนื่องจากการกัดเซาะจากไหลซึมของน้ำใต้ดินในอ่างทดลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และใช้เม็ดทรายแทนตะกอน พบว่าความลาดชันมีผลต่อการเกิดร่องน้ำแยกเป็นสองทางและการเกิดร่องน้ำเล็กๆ บริเวณท้ายน้ำ 1) เมื่อความลาดชันของท้องอ่างทดลองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินมีโอกาสไหลเป็นเส้นตรงไปยังท้ายน้ำได้มากยิ่งขึ้น โอกาสเกิดการแยกเป็นสองทางของหัวร่องน้ำจะลดลง แต่จะทำให้มีโอกาสดังกล่าวเล็กน้อย บริเวณท้ายน้ำเพิ่มขึ้น 2) เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับน้ำใต้ดินด้านเหนือน้ำเดียวกัน ความลาดชันของท้องอ่างทดลองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการกัดเซาะของชั้นทรายบริเวณหัวร่องน้ำเพิ่มขึ้น 3) ความสูงน้ำใต้ดินด้านเหนือน้ำสูงขึ้นจะทำให้เกิด ความกว้างของร่องน้ำเพิ่มขึ้น มากกว่านั้น ในช่วงที่หัวร่องเริ่มแยกเป็นสองทาง รูปร่างของหัวร่องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก คือไม่เป็นทั้งพาราโบลาและวงกลม [6] นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่เชิงเขาภาคเหนือของประเทศไทยส่งผลให้เกิดการเสื่อมโทรมของหน้าดินเร็วขึ้น เกิดการกัดเซาะหน้าดิน การกัดเซาะในร่องน้ำ และการกัดเซาะหัวร่องน้ำ ซึ่งเป็นผลให้เกิดปัญหาการพังทลายของลาดไหล่เขาต่อมา [7]

งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีการวิเคราะห์ผลกระทบของรูปร่างหัวร่องน้ำที่ไม่ใช่พาราโบลาและวงกลมต่อการแยกหัวร่องน้ำเป็นสองทาง ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้จำลองการไหลของน้ำใต้ดินและหาอัตราการไหลซึมที่หัวร่องน้ำที่มีรูปร่างเป็นรูปสามเหลี่ยม เพื่อวิเคราะห์โอกาสการเกิดร่องน้ำแยกเป็นสองทาง โดยให้ความสนใจตัวแปรต่อไปนี้ 1) มุมของสามเหลี่ยมที่หัวร่องน้ำ 2) อัตราส่วนความกว้างของร่องน้ำเมื่อเทียบกับความกว้างสนามการไหล 3) อัตราส่วนความยาวของร่องน้ำเมื่อเทียบกับความยาวของสนามการไหล 4) ความลาดชันของชั้นที่บนน้ำ และ 5) อัตราส่วนความสูงน้ำใต้ดินด้านท้ายน้ำ

ต่อต้านเหนือน้ำ

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

น้ำใต้ดิน (Groundwater) หมายถึง น้ำที่ถูกกักเก็บหรือสะสมตัวอยู่ในชั้นดินใต้ผิวโลก จะถูกกักเก็บอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เม็ดกรวด เม็ดทราย ตามรอยแตกและรอยแยกของชั้นหินใต้ผิวโลก โดยชั้นน้ำใต้ดินจะต้องรองรับด้วยหินเนื้อแน่น (Impermeable Layer) ไม่ยอมให้น้ำไหลซึม (Seepage) ลึกลงไปอีกชั้นกำเนิดของน้ำใต้ดินมาจากน้ำฝนที่ตกลงมาและจากน้ำผิวดินต่างๆ ไต้ไหลซึมลึกลงไปตามชั้นดินไปจนถึงชั้นที่น้ำมีการสะสมตัวรวมกัน ชั้นที่น้ำสามารถซึมผ่านได้และชุ่มไปด้วยน้ำนี้ เรียกว่า ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer)

สำหรับการคำนวณอัตราการไหลน้ำใต้ดินจะคำนวณการไหลในสภาวะการไหลแบบค่าที่ (Steady State) โดยกำหนดสมการการไหลและขอบเขตเงื่อนไข แล้วทำการคำนวณหาค่าความลึกน้ำในแต่ละจุดที่พิจารณาในระบบ โดยอาศัยเทคนิคแคลคูลัสเขียนสมการของความลึกน้ำให้อยู่ในรูปของพิกัดบนระนาบ แล้วใช้เทคนิควิธีเชิงตัวเลขในการประมาณค่าหาค่าตอบ

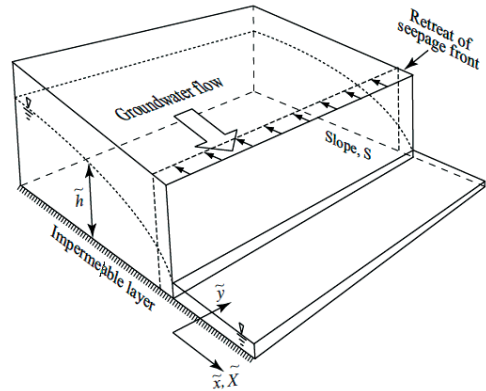
จากกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง ( $q$ ) หาได้จากสมการที่ (1)

$$q = -Kh \frac{dh}{dx} \quad (1)$$

ที่สภาวะสมดุล (Steady State) อัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเทียบกับระยะทางมีค่าเป็นศูนย์ จากสมการที่ (2)

$$\frac{d}{dx} \left[ -Kh \frac{dh}{dx} \right] = 0 \quad (2)$$

แนวทางในการพัฒนาแบบจำลอง เริ่มแรกจะกำหนดความลึกน้ำใต้ดินที่ด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ โดยน้ำใต้ดินจะไหลผ่านชั้นตะกอนจากด้านเหนือน้ำออกมาทางด้านท้ายน้ำ ในขณะที่ฝั่งซ้ายและขวาจะถือว่าเป็นกำแพง น้ำใต้ดินไม่สามารถไหลผ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งบริเวณหน้าของ



รูปที่ 1 ผังแนวคิดของชั้นดินที่มีการไหลน้ำใต้ดินและการถดถอยของการกัดเซาะด้านหน้าลาดชั้นดิน [5]

การรั่วซึม ณ จุดท้ายสุดทางด้านท้ายน้ำ ได้สันนิษฐานว่าที่หน้าการรั่วซึม การกัดเซาะอาจเกิดขึ้นได้หากการไหลซึมของน้ำใต้ดินสูงพอสมควร และนำไปสู่การพังทลายของลาดตะกอนของชั้นดินด้านท้ายน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณการไหลน้ำใต้ดินได้จากสมการที่ (3) ของ Dupuit-forchheimer

$$\frac{1}{\phi} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ Kh \left( \frac{\partial h}{\partial x} - S \right) \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left( Kh \frac{\partial h}{\partial y} \right) = R \quad (3)$$

เมื่อ  $x$  = ทิศทางเดียวกับการไหลน้ำใต้ดิน

$y$  = ทิศทางด้านข้างการไหลน้ำใต้ดิน

$h$  = ระดับน้ำใต้ดินอ้างอิงจากชั้นดิน

$K$  = อัตราการซึมผ่านต่อหน่วยพื้นที่

$\phi$  = ค่าความพรุน

$s$  = ความลาดชันของชั้นดิน

$R$  = อัตราการเพิ่มขึ้น (+) หรือลดลง (-) ของน้ำใต้ดิน

$t$  = เวลา

ถ้ากำหนดความลึกน้ำใต้ดินทางด้านท้ายน้ำเป็นศูนย์ ความเร็วการไหลที่คำนวณได้จะเป็นอนันต์ ซึ่งไม่เป็นไปตามแบบจำลองของ Dupuit-forchheimer ดังนั้นค่าที่ของความลึกน้ำใต้ดินทางด้านท้ายน้ำต้องไม่เป็นศูนย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ค่าความลึกน้ำใต้ดินด้านท้ายน้ำเท่ากับ 1 ทุกกรณีศึกษา

การประมาณค่าความลึกน้ำในแต่ละจุดบนระนาบที่



กำหนด ทำได้โดยใช้เทคนิควิธีแก้ปัญหาคณิตศาสตร์เชิงตัวเลข (Numerical Method) เพื่อแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ลาปลาซ โดยประยุกต์ใช้วิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Difference) ประมาณค่าแบบผลต่างตรงกลาง (Central Scheme) และคำนวณแบบ Fully Implicit ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$a_p h_p = a_E h_E + a_W h_W + a_N h_N + a_S h_S + a_p^0 h_p^0 + b_p \quad (4)$$

ตัวห้อย  $P$  หมายถึง โหนดที่ต้องการคำนวณค่า ส่วนตัวห้อย  $E, W, N$  และ  $S$  หมายถึง โหนดที่อยู่ติดกันทางด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ ตามลำดับ โดยพิกัดโหนดสำหรับการคำนวณแสดงไว้ในรูปที่ 2 เลขยกกำลัง 0 หมายถึง เวลาปัจจุบัน และ  $a_p, a_p^0, a_E, a_W, a_N, a_S$  และ  $b_p$  หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ ตามสมการที่ (5)–(9) ดังนี้

$$a_p = a_p^0 + a_E + a_W + a_N + a_S \quad (5)$$

$$a_p^0 = \frac{1}{\phi_p \Delta t} \quad (6)$$

$$(a_E, a_W) = \left( \frac{T_E}{\Delta x^2}, \frac{T_W}{\Delta x^2} \right) \quad (7)$$

$$(a_N, a_S) = \left( \frac{T_N}{\Delta y^2}, \frac{T_S}{\Delta y^2} \right) \quad (8)$$

$$b_p = R_p - \frac{T_E S}{\Delta x} - \frac{T_W S}{\Delta x} \quad (9)$$

เมื่อ  $\Delta t$  = time step

$\Delta x$  = ระยะห่างระหว่างโหนดในแนวแกน x

$\Delta y$  = ระยะห่างระหว่างโหนดในแนวแกน y

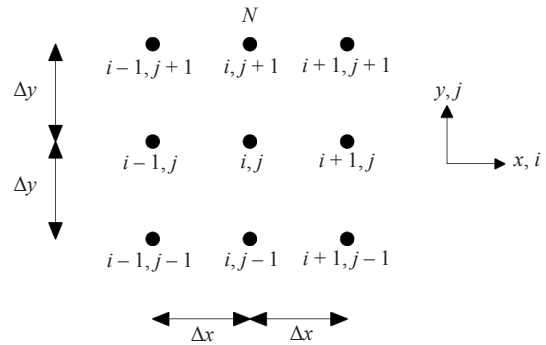
$T$  = ค่าสัมประสิทธิ์การคูณ

$K$  = ค่า Hydraulic Conductivity

$S$  = ความลาดชันของชั้นดิน

$h$  = ความลึกของน้ำใต้ดิน

การหาขนาดอัตราไหลน้ำใต้ดินต่อหน่วยความกว้างของแต่ละจุดบนระนาบ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10)–(12) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 พิกัดโหนดสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข

$$q_{i,j} = h_{i,j} (\sqrt{u_{i,j}^2 + v_{i,j}^2}) \quad (10)$$

$$u_{i,j} = -\frac{K}{2\Delta x} (h_{i+2,j} - h_{i,j}) \quad (11)$$

$$v_{i,j} = -\frac{K}{2\Delta y} (h_{i,j+2} - h_{i,j}) \quad (12)$$

โดยที่  $q$  = อัตราการไหลน้ำใต้ดินต่อหน่วยความกว้าง (ซม.<sup>2</sup>/วินาที)

$u$  = ความเร็วการไหลน้ำใต้ดินในแนวแกน x

$v$  = ความเร็วการไหลน้ำใต้ดินในแนวแกน y

$h$  = ความลึกน้ำใต้ดิน

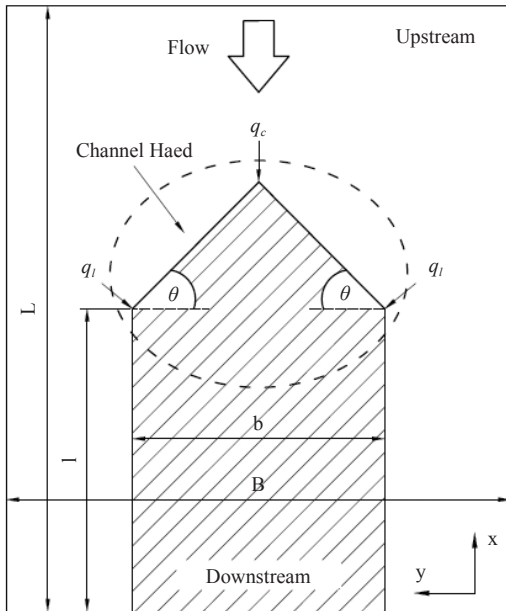
## 2.2 ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ Matrix Laboratory (MATLAB) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลน้ำใต้ดิน โดยกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของสนามการไหล รวมทั้งขนาดและรูปร่างของหัวร่องน้ำ ซึ่งการศึกษานี้จะพิจารณาหัวร่องน้ำรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว และคำนวณหาอัตราการไหลที่บริเวณขอบของหัวร่องน้ำ โดยพิจารณาอัตราการไหลน้ำใต้ดิน 2 บริเวณ คือ

1) อัตราการไหลน้ำใต้ดินต่อหน่วยความกว้างบริเวณแกนสมมาตรของหัวร่องน้ำระหว่างตลิ่งซ้ายและขวา ( $q_c$ )

2) อัตราการไหลน้ำใต้ดินต่อหน่วยความกว้างบริเวณสองจุดที่ตลิ่งซ้ายและขวาของหัวร่องน้ำ ( $q_l$ )

แล้วพิจารณาอัตราส่วน  $q_l/q_c$  เพื่อหาโอกาสในการเกิด



รูปที่ 3 แนวคิดและมิติของแบบจำลอง

หัวร่องน้ำแยกเป็นสองทาง โดยสันนิษฐานว่า หากอัตราการไหลซึมของน้ำใต้ดินบริเวณหัวร่องน้ำสูงสุดไม่ได้อยู่บริเวณแกนสมมาตรของหัวร่องน้ำระหว่างตลิ่งซ้ายและขวา แต่กลับปรากฏเป็น 2 จุด ที่ตลิ่งซ้ายและขวา ซึ่งทำให้หัวร่องน้ำถูกกัดเซาะอย่างเข้มข้นบริเวณ 2 จุดดังกล่าว จะส่งผลให้หัวร่องน้ำแยกเป็นสองทางตามจุดที่มีอัตราการไหลสูงสุด โดยสันนิษฐานว่าถ้าอัตราส่วน  $q_i/q_c$  มีค่ามากกว่าเท่ากับ 1 หัวร่องน้ำมีโอกาสเกิด Bifurcation สูง และส่วนที่แรงงาหมายถึง ส่วนที่เป็นร่องน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่คำนวณการไหลน้ำใต้ดิน โดยกำหนดให้ความสูงน้ำใต้ดินของร่องน้ำเท่ากับด้านซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 3

### 2.3 ขอบเขตและเงื่อนไขของแบบจำลอง

1) ทำการจำลองโดเมนบนระนาบ  $x*y$  ขนาด  $120*100$  (ซม.\*ซม.) โดยให้  $\Delta x$  และ  $\Delta y$  เท่ากับ  $1/3$  และ  $1$  ซม. ตามลำดับ และกำหนดทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินไหลจากด้านเหนือน้ำไปด้านซ้ายในแนวแกน  $x$

2) ระดับน้ำใต้ดินด้านเหนือน้ำต่อด้านซ้าย ( $H/h$ ) ใช้ 2 กรณี คือ  $10/1$  และ  $15/1$

3) มุมที่ฐานของหัวร่องน้ำรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว 4 กรณี โดยใช้  $\text{Arccot}(m)$  เป็นตัวแทนขนาดของมุม เมื่อ  $m$  เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 ความลาดชันของชั้นดิน ( $S$ ) 2 กรณี คือ 0 และ 3%

4) อัตราส่วนความกว้างของร่องน้ำเมื่อเทียบกับความกว้างสนามการไหล ( $b/B$ ) 3 กรณี คือ 50%, 20% และ 10%

5) อัตราส่วนความยาวของร่องน้ำเมื่อเทียบกับความยาวของสนามการไหล ( $L/l$ ) 2 กรณี คือ 50% และ 75%

ค่าตัวแปรและกรณีศึกษาที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรที่ใช้และกรณีศึกษาทั้งหมด

ตัวแปร	$m$	$H/h$	$b/B$ (%)	$L/l$ (%)	$S$ (%)
กรณีศึกษา	1, 2, 3, 4	10, 15, R	10, 20, 50	50, 75	0, 3
รวม	4	3	3	2	2
144 กรณี					

\*\*\*หมายเหตุ:  $m = H/h - b/B - L/l - S$

$m$  คือ ตัวแปรที่ใช้กำหนดขนาดของมุมที่ฐานของหัวร่องน้ำ  $\text{Arccot}(m)$

$H, h$  คือ ความลึกน้ำใต้ดินด้านเหนือน้ำและซ้ายน้ำ ตามลำดับ

$R$  คือ ค่าคงที่ของอัตราการเพิ่มและลดของน้ำใต้ดิน

$B, b$  คือ ความกว้างของสนามการไหลและร่องน้ำ ตามลำดับ

$L, l$  คือ ความยาวของสนามการไหลและร่องน้ำ ตามลำดับ

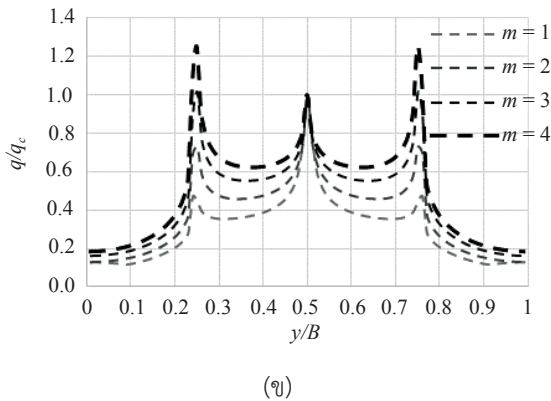
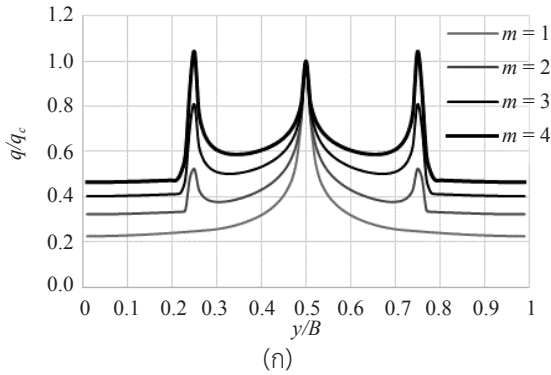
$S$  คือ ความลาดชันของชั้นดิน

โดยที่  $H/h =$  ค่าคงที่ หมายถึง กำหนดขอบเขตให้ความสูงน้ำใต้ดินด้านเหนือน้ำและซ้ายน้ำไว้คงที่ แต่  $H/h = R$  หมายถึง จำลองให้เสมือนว่าฝนตกเท่ากันทั่วพื้นที่ โดยความสูงน้ำทุกบัพในโดเมนจะเพิ่มขึ้นเท่ากันทุกบัพ และขอบเขตด้านเหนือน้ำให้ถือว่าเป็นกำแพง น้ำใต้ดินไม่สามารถไหลผ่านได้ จึงคำนวณค่าความลึกน้ำแบบบอยด์แมน และด้านซ้ายน้ำให้เป็นค่าคงที่

### 3. ผลการศึกษา

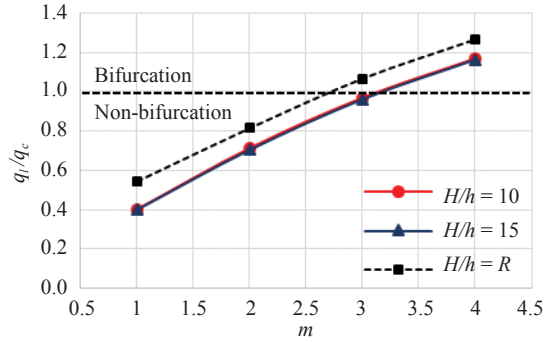
#### 3.1 อิทธิพลของมุมของหัวร่องน้ำ [ $\text{Arccot}(m)$ ]

จากผลการศึกษาพบว่า มุมของหัวร่องน้ำรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิด Bifurcation โดย



รูปที่ 4 อิทธิพลของมุมของหัวร่องน้ำ ต่อ  $q_1/q_c$  ของ  $b/B = 50$ ,  $l/L = 50$  และ  $S = 0$  โดยที่ (ก)  $H/h = 10$  และ (ข)  $H/h = R$

พิจารณาจากอัตราส่วน  $q_1/q_c$  และมุม  $\text{Arccot}(m)$  เมื่อ  $m = 1, 2, 3$  และ  $4$  พบว่าในกรณีที่  $m = 1, 2$  และ  $3$  นั้น จะได้อัตราส่วน  $q_1/q_c$  จะมีค่าน้อยกว่า 1 ทุกกรณี แสดงว่าอัตราการไหลน้ำใต้ดินสูงสุดจะเกิดที่แกนสมมาตรของหัวร่องน้ำ ส่วนในกรณีที่  $m = 4$  อัตราส่วน  $q_1/q_c$  จะมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าอัตราการไหลน้ำใต้ดินสูงสุดไม่ได้เกิดที่แกนสมมาตรของหัวร่องน้ำ แต่เกิดบริเวณสองจุดที่ตลิ่งซ้ายและขวาของหัวร่องน้ำ ยกตัวอย่างกรณี  $m=50-50-10-0-0$  โดยที่  $m = 1, 2, 3$  และ  $4$  อัตราส่วน  $q_1/q_c$  มีค่า 0.247, 0.523, 0.809 และ 1.042 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) และถ้าสนามการไหลได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน จะทำให้ค่า  $q_1/q_c$  มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า หมายถึงการแยกเป็นสองทางของร่องน้ำมีโอกาสเกิดสูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) และในกรณีอื่นๆ ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน



รูปที่ 5 อิทธิพลของ  $H/h$  ต่อ  $q_1/q_c$  ของ  $b/B = 20$ ,  $l/L = 50$  และ  $S = 0$

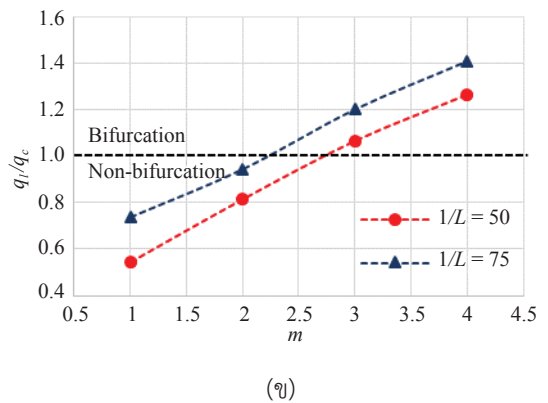
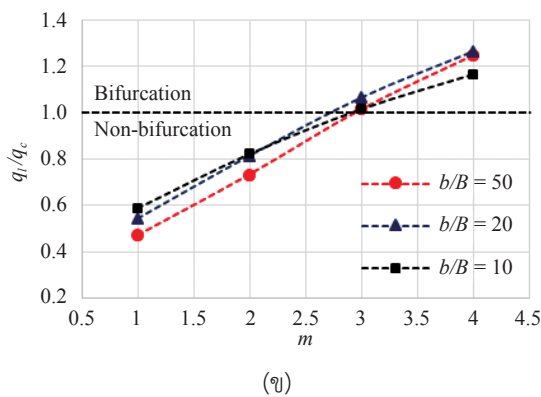
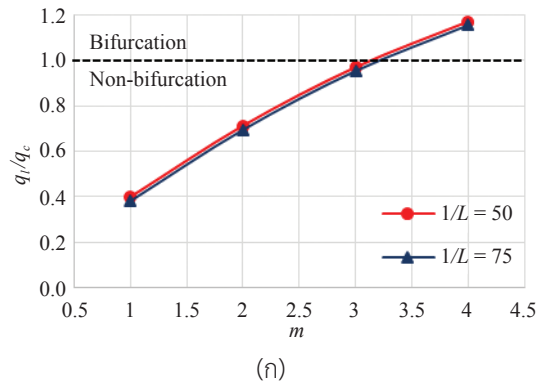
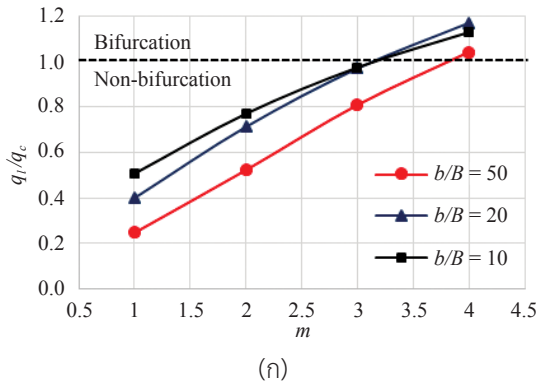
แสดงว่ามุมของหัวร่องน้ำและอิทธิพลจากน้ำฝนมีผลกระทบต่อ การแยกเป็นสองทางของหัวร่องน้ำ (Bifurcation)

### 3.2 อิทธิพลของระดับน้ำใต้ดิน ( $H/h$ )

เมื่อพิจารณาระดับน้ำใต้ดินด้านเหนือน้ำต่อด้านท้ายน้ำ  $H/h$  ระหว่าง 10 กับ 15 โดยที่  $l/L = 20$  และ  $S = 0$  พบว่า อัตราส่วน  $q_1/q_c$  มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก และค่า  $q_1/q_c$  ที่ได้ ในทุกกรณีจะมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 1% แต่กรณีที่  $H/h = R$  หมายถึง น้ำใต้ดินได้รับอิทธิพลจากน้ำฝนโดยคิดแบบฝนตกสม่ำเสมอเท่ากันทั่วพื้นที่ พบว่าอัตราส่วน  $q_1/q_c$  มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีที่กำหนดความสูงน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำไว้คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 5 แสดงว่าความต่างของระดับน้ำใต้ดินด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำไม่มีอิทธิพลต่อการเกิด Bifurcation แต่อิทธิพลจากน้ำฝนที่ทำให้ความสูงน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นตามเวลามีผลกระทบต่อโอกาสในการเกิด Bifurcation ซึ่งส่งผลให้มีโอกาสเกิดสูงขึ้น

### 3.3 อิทธิพลของความกว้างร่องน้ำ ( $b/B$ )

เมื่อเปรียบเทียบความกว้างของร่องน้ำต่อความกว้างสนามการไหล ระหว่าง  $b/B$  เท่ากับ 50, 20 และ 10 ของ  $l/L = 50$ ,  $H/h = 10$  และ  $S = 0$  เมื่อ  $m = 4$  พบว่า อัตราส่วน  $q_1/q_c$  มีค่าเท่ากับ 1.042, 1.169 และ 1.128 ตามลำดับ โดยจะสังเกตได้ว่าถ้าค่า  $b/B$  ยังมีค่าน้อยน้อย อัตราส่วน  $q_1/q_c$  จะยังมีค่ามาก ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) แสดงว่าความกว้างของ



รูปที่ 6 อิทธิพลของ  $b/B$  ต่อ  $q_1/q_c$  ของ  $1/L = 50$  และ  $S = 0$  โดยที่ (ก)  $H/h = 10$  และ (ข)  $H/h = R$

รูปที่ 7 อิทธิพลของ  $1/L$  ต่อ  $q_1/q_c$  ของ  $b/B = 20$  และ  $S = 0$  โดยที่ (ก)  $H/h = 10$  และ (ข)  $H/h = R$

ร่องน้ำมีผลต่อโอกาสในการเกิดหัวร่องน้ำแยกเป็นสองทาง โดยจากผลการศึกษาที่ใช้  $b/B = 50, 20$  และ  $10$  พบว่า  $b/B = 20$  มีอิทธิพลต่อการเกิด Bifurcation มากที่สุด และในกรณี  $H/h = R$  ก็ไม่ได้ให้ผลที่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข)

แสดงว่าความยาวร่องน้ำจะมีอิทธิพลต่อการเกิด Bifurcation ก็ต่อเมื่อสนามการไหลได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน และจากการศึกษาที่ใช้  $1/L = 50$  และ  $75$  พบว่า  $1/L = 75$  มีอิทธิพลต่อการเกิด Bifurcation มากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 7 (ข)

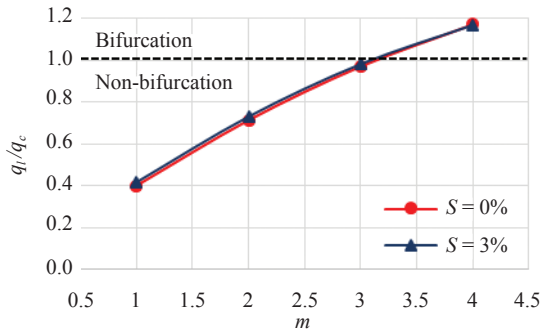
### 3.4 อิทธิพลของความยาวร่องน้ำ ( $1/L$ )

เมื่อเปรียบเทียบความยาวร่องน้ำต่อความยาวสนามการไหล ระหว่าง  $1/L$  เท่ากับ 50 และ 75 โดยที่  $H/h = 10$  พบว่าอัตราส่วน  $q_1/q_c$  ของทั้งสองกรณีมีความแตกต่างกันน้อยมาก แสดงว่าความยาวร่องน้ำแทบจะไม่มีผลกระทบต่อโอกาสในการเกิด Bifurcation ดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) แต่ถ้าสนามการไหลได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน ( $H/h = R$ ) พบว่าอัตราส่วน  $q_1/q_c$  จะมีค่ามากกว่ากรณี  $H/h = 10$  ทุกกรณี โดยอัตราส่วน  $q_1/q_c$  ของ  $1/L = 75$  จะมีค่ามากกว่า  $1/L = 50$

### 3.5 อิทธิพลของความลาดชันของชั้นดิน ( $S$ )

เมื่อเปรียบเทียบความลาดชันของชั้นดิน,  $S$  เท่ากับ 0 และ 3% ของ  $b/B = 20, 1/L = 50$  และ  $H/h = 10$  พบว่าอัตราส่วน  $q_1/q_c$  มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง เมื่อ  $m = 1, 2, 3$ , และ 4 เท่ากับ 4.06, 2.46, 1.19 และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8 ส่วนในกรณีที่  $H/h = R$  ค่า  $q_1/q_c$  ของ  $S$  เท่ากับ 0 และ 3% ก็ไม่ได้ให้ผลที่แตกต่างกัน และในกรณีอื่นๆ ก็เป็นเช่นเดียวกัน ทุกกรณี แสดงว่าความลาดชันของชั้นดินไม่มีอิทธิพลต่อ





รูปที่ 8 อิทธิพลของ  $S$  ต่อ  $q_1/q_c$  ของ  $b/B = 20$ ,  $l/L = 50$  และ  $H/h = 10$

การเกิด Bifurcation

#### 4. สรุป

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์หาโอกาสเกิดการแยกเป็นสองทางของร่องน้ำ โดยวิเคราะห์จากอัตราการไหลน้ำใต้ดินบริเวณหัวร่องน้ำ ซึ่งกำหนดหัวร่องน้ำเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว และได้วิเคราะห์ปัจจัยที่น่าจะมีผลกระทบต่อ การเกิด Bifurcation ทั้งหมด 6 ปัจจัย พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมากต่อการแยกเป็นสองทางของหัวร่องน้ำ มี 4 ปัจจัย คือ มุมของหัวร่องน้ำรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ความกว้างของร่องน้ำ ความยาวของร่องน้ำ และอิทธิพลจากน้ำฝน สามารถสรุปได้ว่ามุมของหัวร่องน้ำเป็นมุมป้าน ( $>150^\circ$ ) ความกว้างร่องน้ำเมื่อเทียบกับสนามการไหลน้อย ความยาวร่องน้ำเมื่อเทียบกับสนามการไหลมาก และกรณีที่สนามการไหลได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน เงื่อนไขเหล่านี้จะทำให้โอกาสเกิด Bifurcation เพิ่มสูงขึ้น ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบน้อย คือ ความลาดชันของชั้นดิน และความต่างของความสูงน้ำใต้ดินด้านเหนือและด้านท้ายน้ำ

#### เอกสารอ้างอิง

[1] J. D. Pelletier and J. T. Perron, "Analytic solution for the morphology of a soil-mantled valley

undergoing steady headward growth: Validation using case studies in southeastern Arizona," *Journal of Geophysical Research*, vol. 117, no. F2, 2012.

[2] A. Pornprommin, N. Izumi, and G. Parker, "Initiation of channel head bifurcation by overland flow," *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 122, no. 12, pp. 2348–2369, 2017.

[3] A. Pornprommin, Y. Takei, A. M. Wubneh, and N. Izumi, "Numerical simulation of channelization by seepage erosion," *Journal of Applied Mechanics*, vol. 12, pp. 887–894, 2009.

[4] O. Devauchelle, P. Petroff, H. F. Seybold, and D. H. Rothman, "Ramification of stream networks," in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, no. 51, 2012, pp. 20832–20836.

[5] A. Pornprommin, Y. Takei, A. M. Wubneh, and N. Izumi, "Channel inception in cohesionless sediment by seepage erosion," *Journal of Hydro-environment Research*, vol. 3, no. 4, pp. 232–238, 2010.

[6] W. Thaisiam, P. Kaewnon, and A. Pornprommin, "Experiment of channelization due to seepage erosion," *International Journal of GEOMATE*, vol. 14, no. 46, pp. 137–142, 2018.

[7] F. Turkelboom, J. Poesen, and G. Trébuil, "The multiple land degradation effects caused by land-use intensification in tropical steep lands: A catchment study from northern Thailand," *Catena*, vol. 75, no. 1, pp. 102–116, 2008.