

การพัฒนาศักยภาพสมการสัมประสิทธิ์น้ำท่าจากตัวแปรเชิงพื้นที่สำหรับการศึกษาความเหมาะสม ของโครงการชลประทานขนาดเล็ก

Development of a Runoff Coefficient Equation Using Spatial Variables for Feasibility Study of Small-scale Irrigation Projects

อภิรักษ์ พิณพิพัฒน์^{1,2} ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์² ณัฐธยาน์ นามอินทร์² และ พลเพชร สมานมิตร^{2*}

¹ สำนักงานทรัพยากรน้ำที่ 7 ต.ห้วยไผ่ อ.เมืองราชบุรี จ.ราชบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

*Corresponding author; E-mail address: polpech.sa@ku.th

บทคัดย่อ

ในการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการชลประทานขนาดเล็กประเภทการพัฒนาแหล่งกักเก็บน้ำตามแนวปฏิบัติของกรมชลประทาน มีขั้นตอนการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลผ่านหัวงานก่อสร้างเพื่อกำหนดขนาดความจุกักเก็บ โดยคำนวณจากพื้นที่รับน้ำ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน และค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient, R.O.C.) ปัจจุบัน การกำหนดค่า R.O.C. อาศัยการพิจารณาภูมิประเทศเชิงคุณภาพซึ่งขาดเกณฑ์เชิงตัวเลขที่ชัดเจน ส่งผลให้การประเมินขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกรโครงการแต่ละคน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาศักยภาพสมการ R.O.C. ที่มีหลักเกณฑ์เชิงตัวเลขชัดเจน โดยใช้ตัวแปรเชิงพื้นที่ ได้แก่ ข้อมูลความลาดชันที่วิเคราะห์จากแบบจำลองความสูงดิจิทัล MERIT DEM ร่วมกับข้อมูลปริมาณความหนาแน่นของต้นไม้จาก ISCGM นอกจากนี้ ได้ทำการตรวจสอบความสอดคล้องของสมการที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้กับผลการคำนวณจากวิธีดั้งเดิมที่ใช้ในโครงการที่มีการออกแบบไว้แล้วในภาคตะวันตก จำนวน 20 โครงการ ผลการศึกษาพบว่าสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถประมาณค่า R.O.C. ได้สอดคล้องกับวิธีการพิจารณาเดิมที่ใช้ในโครงการออกแบบ โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.995 ช่วยเชื่อมโยงตัวแปรเชิงพื้นที่กับค่า R.O.C. ได้อย่างชัดเจน ลดการพึ่งพาดุลยพินิจของวิศวกรโครงการ และสามารถนำไปใช้ประกอบเป็นส่วนหนึ่งในการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับวิศวกรในการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการชลประทานขนาดเล็กทั่วประเทศ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความเป็นมาตรฐานเดียวกัน

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์น้ำท่า, ตัวแปรเชิงพื้นที่, โครงการชลประทานขนาดเล็ก

Abstract

The preliminary feasibility study of small-scale irrigation projects for water resources development under the Royal Irrigation Department (RID) guidelines requires a monthly runoff assessment at the headworks to determine storage capacity. Runoff is calculated using catchment area, average monthly rainfall, and a runoff coefficient (R.O.C.). Currently, the determination of R.O.C. relies on qualitative topographic assessments without clear numerical criteria, resulting in variations based on individual project engineer's judgment. This research aimed to develop an equation for estimating R.O.C. with

explicit numerical criteria using spatial variables, including slope data derived from MERIT DEM and percent tree cover (PTC) grid data from ISCGM. Additionally, the consistency of the developed equation was evaluated by comparing calculated runoff volumes with those obtained from the traditional assessment method for 20 previously designed projects in the western region of Thailand. The study reveals that the developed equation can estimate R.O.C. values consistent with the traditional assessment method used in previous project designs, with an Index of Agreement of 0.995, effectively linking spatial variables to R.O.C. values and reducing dependence on the project engineer's judgment., and can be incorporated into a working manual for engineers conducting preliminary feasibility studies of small-scale irrigation projects nationwide, enhancing accuracy and standardization.

Keywords: Runoff Coefficient, Spatial Variables, Small-scale Irrigation Projects

1. คำนำ

การประเมินปริมาณน้ำท่าที่แม่นยำมีความสำคัญต่อการวางแผนออกแบบ ดำเนินการและบริหารจัดการโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ [1] ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า (ungauged area) มักเป็นปัญหาสำคัญในงานวิศวกรรมชลประทานเนื่องจากมีข้อมูลไม่ครบถ้วนหรือเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยา การใช้ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย วิธีนี้สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในเขตเมืองและชนบทเพื่อประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลหรือมีข้อมูลจำกัด [2] โดยค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าคือสัดส่วนของปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนเป็นน้ำท่าโดยตรง ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดสำคัญในการวิเคราะห์กระบวนการเกิดน้ำท่าและสะท้อนถึงผลรวมของปัจจัยทางกายภาพภายในลุ่มน้ำ [3] เช่น ธรณีวิทยา การใช้ที่ดิน และลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น [4]

ตามแนวปฏิบัติของกรมชลประทานในการศึกษาโครงการเบื้องต้น (reconnaissance study) สำหรับโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก ใช้วิธีการประเมินปริมาณน้ำท่าผ่านหัวงานโครงการเพื่อกำหนดขนาดความจุกักเก็บโดยคำนวณจากพื้นที่รับน้ำ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน และค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient, R.O.C.) [5] ทั้งนี้ค่า R.O.C. พิจารณาจากปัจจัยความชันและความหนาแน่นของพืชพรรณ โดยความชันประเมินจากเส้นชั้นความสูง (contour) จากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน

1:50,000 ส่วนความหนาแน่นของพืชพรรณพิจารณาจากการสำรวจภาคสนาม จากนั้นจึงเลือกค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าจากลักษณะภูมิประเทศ 5 กลุ่ม วิธีดังกล่าวอาศัยดุลยพินิจของวิศวกรในการเลือกกลุ่มภูมิประเทศที่เหมาะสม ทำให้การประเมินมีความแปรปรวนแตกต่างกันไปตามประสบการณ์และมุมมองของผู้ประเมิน นอกจากนี้ วิธีเดิมยังมีข้อจำกัดอื่นๆ ได้แก่ ความละเอียดของแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ที่อาจไม่เพียงพอสำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กมาก หรือมีความคลาดเคลื่อนในพื้นที่ภูมิประเทศซับซ้อน รวมทั้งความยากลำบากและต้นทุนในการสำรวจพืชพรรณภาคสนามให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งมักทำได้เพียงการสำรวจบริเวณหัวงานโครงการเท่านั้น การใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่จากแหล่งข้อมูลภูมิสารสนเทศที่มีความละเอียดและครอบคลุมมากขึ้นจะช่วยแก้ไขข้อจำกัดเหล่านี้ได้

งานวิจัยในปัจจุบันได้พัฒนาแนวทางการประมาณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าจากพารามิเตอร์เชิงพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศ เช่น ข้อมูลแบบจำลองความสูงดิจิทัล (DEM) ข้อมูลการใช้ที่ดิน ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม [6], [7] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสมการประมาณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือนตามแนวปฏิบัติของกรมชลประทานโดยใช้ตัวแปรเชิงพื้นที่ ได้แก่ ความลาดชันและความหนาแน่นของพืชพรรณ โดยทั้งสองตัวแปรเป็นตัวแปรหลักในการพัฒนาสมการที่มีความสอดคล้องโดยตรงกับปัจจัยที่กรมชลประทานใช้พิจารณาในวิธีเดิมอยู่แล้ว ซึ่งจะช่วยให้การเปลี่ยนผ่านจากวิธีเดิมมาสู่วิธีใหม่มีความต่อเนื่องและได้รับการยอมรับจากวิศวกรผู้ปฏิบัติงานได้ง่ายขึ้น ผลการวิจัยนี้คาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ในการลดความไม่แน่นอนจากดุลยพินิจของวิศวกรในการเลือกค่า R.O.C. และเพิ่มความเป็นระบบให้กับการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก ก่อนนำไปสู่ขั้นตอนการออกแบบอาคารชลประทานต่อไป

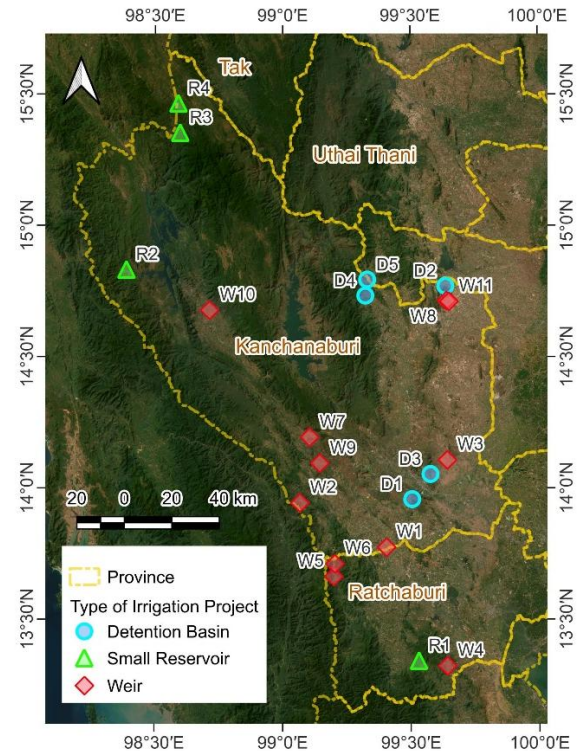
2. วิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กที่มีผลการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้น (reconnaissance study) จากสำนักงานชลประทานที่ 13 จำนวน 20 โครงการ เป็นพื้นที่ทดสอบสมการที่พัฒนาขึ้น โครงการทั้งหมดตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทย ประกอบด้วยโครงการประเภทต่างๆ ได้แก่ ฝาย แก้มลิง และอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก (รูปที่ 1 และตารางที่ 1) ซึ่งมีความหลากหลายของลักษณะภูมิประเทศและพืชพรรณปกคลุม ซึ่งจะช่วยให้สมการที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้ได้กับโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กในสภาพพื้นที่ที่หลากหลาย

ตารางที่ 1 โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก

ประเภทโครงการ	ชื่อโครงการ
ฝาย	ฝายห้วยลูกนก (W1), ฝายเขาแดน (W2), ฝายวังไชน่า (W3), ฝายห้วยทุเตาต 2 (W4), ฝายบ้านตะโกกลาง (W5), ฝายบ้านแปดเหลี่ยม (W6), ฝายทดน้ำบ้านหนองตาม่วง (W7), ฝายห้วยขี้ตาดหมื่น (W8), ฝายลุ่มฝั่ง 2 (W9), ฝายสหกรณ์นิคม (W10), ฝายเขาวงพระจันทร์ 1 (W11)
แก้มลิง	แก้มลิงกองการสัตว์และเกษตรกรรมแห่งที่ 3 (D1), แก้มลิงหุบผาแดง (D2), แก้มลิงห้วยตลุง (D3), แก้มลิงบ้านเขาหินตั้ง (D4), แก้มลิงบ้านบารมี หมู่ 5 (D5),
อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก	อ่างเก็บน้ำบ้านโป่งพรหม อันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ (R1), จัดหาน้ำสนับสนุน ตชด.ปิล็อกคี (R2), จัดหาน้ำสนับสนุน ตชด.บ้านไต่ป่า (R3), จัดหาน้ำสนับสนุน ตชด.ตชด.ท่านผู้หญิงณัฏฐรินทร์ บุญนา (R4)



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก

2.2 ข้อมูลและแหล่งข้อมูล

2.2.1 ข้อมูล MERIT DEM

ข้อมูลแบบจำลองความสูงดิจิทัล MERIT DEM (Multi-Error-Removed Improved-Terrain DEM) พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น [8] ข้อมูล MERIT DEM ได้รับการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนและสัญญาณรบกวนโดยใช้ข้อมูล DEM ที่มีอยู่เดิม (NASA SRTM3 v2.1, JAXA AW3D-30m v1 และ Viewfinder Panoramas) ร่วมกับข้อมูลประกอบอื่นๆ ทำให้พื้นที่มีความแม่นยำทางดิ่งเพิ่มขึ้น ข้อมูล MERIT DEM มีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 3 arc-seconds (หรือประมาณ 90 เมตรสำหรับบริเวณพื้นที่ใกล้เส้นศูนย์สูตร) สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_DEM/

2.2.2 ข้อมูล Percent Tree Cover (PTC)

ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความปกคลุมของต้นไม้ (Percent Tree Cover, PTC) Version 2 ซึ่งพัฒนาโดย The International Steering Committee for Global Mapping (ISCGM) ร่วมกับ The Geospatial Information Authority of Japan (GSI) และมหาวิทยาลัยชิบะ [9] โดยแปลผลมาจากภาพถ่ายจากดาวเทียม TerraMODIS มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 500 เมตร (15 arc-seconds) แสดงความหนาแน่นของต้นไม้บนพื้นดิน โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยกิ่งก้านและใบของต้นไม้ (เรือนยอดไม้) ต่อพื้นผิวดิน มีค่าตั้งแต่ 0-100% โดย 0% หมายถึงไม่มีต้นไม้ปกคลุม และ 100% หมายถึงพื้นที่นั้นปกคลุมด้วยเรือนยอดไม้ทั้งหมด สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://globalmaps.github.io/ptc.html>

2.3 การประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนตามวิธีของกรมชลประทาน

ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการชลประทานขนาดเล็ก กรมชลประทานได้กำหนดแนวทางการคำนวณโดยใช้สมการดังนี้ [5] :

$$I = \frac{R.O.C.}{100} \times R \times A \times 1,000 \quad (1)$$

โดย

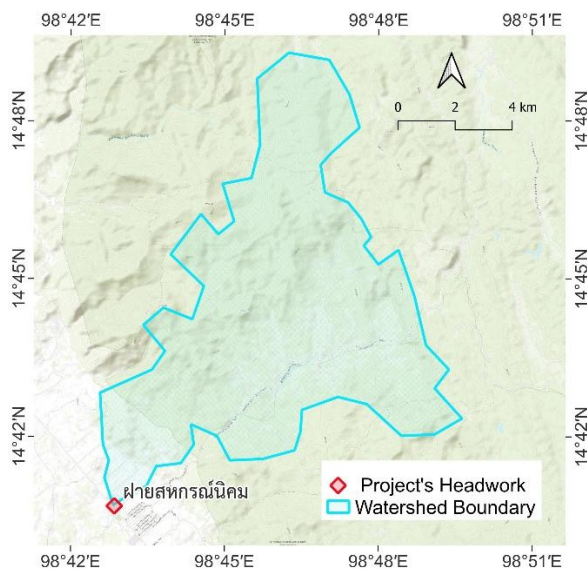
I คือ ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลผ่านหัวงาน (ลูกบาศก์เมตร)

$R.O.C.$ คือ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient) (%)

R คือ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มิลลิเมตร)

A คือ พื้นที่รับน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

พื้นที่รับน้ำของโครงการกำหนดโดยการกำหนดขอบเขตพื้นที่รับน้ำ (watershed) จากตำแหน่งหัวงานโครงการโดยใช้แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการดิจิทัล (digitize) ขอบเขตพื้นที่รับน้ำของโครงการทั้ง 20 แห่ง ด้วยโปรแกรม QGIS เพื่อสร้างไฟล์ Shapefile ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่าง Shapefile พิกัดหัวงานโครงการและพื้นที่รับน้ำ (Watershed)

ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือน ($R.O.C.$) กำหนดจากสมการดังนี้:

$$R.O.C. = 0.1295R + C \quad (2)$$

ค่า C ในสมการนี้พิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ตามความลาดชันและความหนาแน่นของพืชพรรณ ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยแต่ละลักษณะภูมิประเทศมีค่า C ดังนี้:

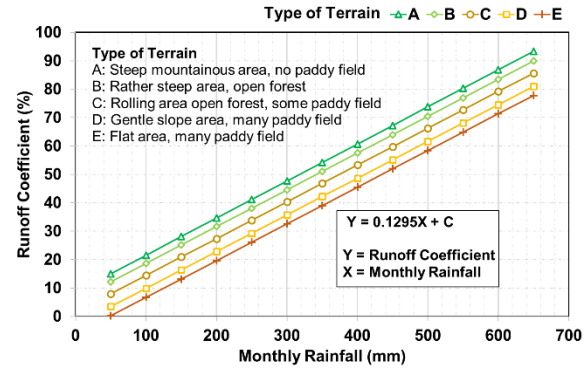
ประเภท A: พื้นที่ภูเขาสูงชัน ไม่มีนาข้าว ค่า $C = 8.501$

ประเภท B: พื้นที่ค่อนข้างชัน มีป่าโปร่ง ค่า $C = 2.011$

ประเภท C: พื้นที่ลูกคลื่น มีป่าโปร่ง มีนาข้าวบางส่วน ค่า $C = 0.705$

ประเภท D: พื้นที่ลาดชันน้อย มีนาข้าวจำนวนมาก ค่า $C = -3.162$

ประเภท E: พื้นที่ราบ มีนาข้าวจำนวนมาก ค่า $C = -6.237$



รูปที่ 3 กราฟสัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือนตามแนวทางของกรมชลประทาน [5]

การพิจารณาเลือกลักษณะภูมิประเทศทำโดยวิศวกรโครงการซึ่งอาศัยการสำรวจภาคสนามและการพิจารณาจากแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งต้องใช้ดุลยพินิจในการเลือกกลุ่มภูมิประเทศที่เหมาะสม

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการกำหนดค่า C ใหม่โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความลาดชันเฉลี่ย (average slope) ที่วิเคราะห์จากข้อมูล MERIT DEM และค่าเปอร์เซ็นต์ความปกคลุมของต้นไม้เฉลี่ย (Average PTC) ที่วิเคราะห์จากข้อมูล PTC ในพื้นที่รับน้ำของโครงการ การพัฒนาการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าใหม่ทำโดยใช้แนวคิดลดพารามิเตอร์จากสองปัจจัย (ความลาดชันและความหนาแน่นของต้นไม้) ให้เหลือพารามิเตอร์เดียวโดยใช้ค่าระยะทาง Euclidean ดังสมการ:

$$D = \sqrt{\%Slope^2 + \%PTC^2} \quad (3)$$

จากนั้นจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า D กับค่า C ในสมการที่ (2) โดยวิธีการ Linear Scale จากความสัมพันธ์นี้จะได้สมการสัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือนใหม่ดังนี้:

$$R.O.C. = 0.1295R + (mD + c) \quad (4)$$

โดยที่ m และ c คือค่าคงที่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่า D และค่า C

จากนั้นใช้ค่า $R.O.C.$ แบบใหม่คำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือนผ่านหัวงานโครงการ และทำการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างปริมาณน้ำท่าแบบเดิมและแบบใหม่ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Agreement, d) ดังนี้ [10] :

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (5)$$

โดย

O_i คือ ค่าที่สังเกตได้ (ในที่นี้คือปริมาณน้ำท่าจากวิธีเดิม)

P_i คือ ค่าที่ทำนาย (ในที่นี้คือปริมาณน้ำท่าจากวิธีใหม่)

$\bar{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่สังเกตได้

n คือ จำนวนข้อมูล

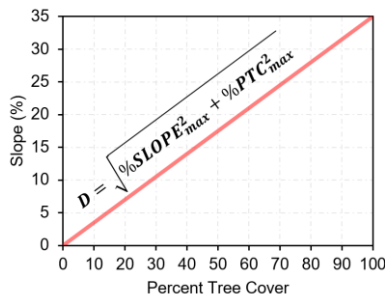
ค่าดัชนีความสอดคล้องมีค่าระหว่าง 0-1 โดยค่าที่ใกล้ 1 จะแสดงถึงความสอดคล้องที่ดีมากระหว่างผลการคำนวณจากทั้งสองวิธี

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

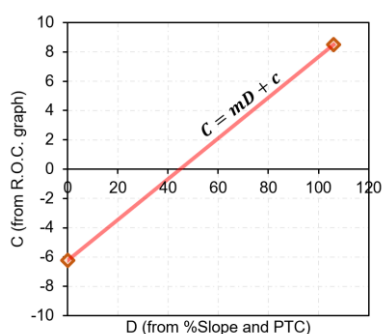
ในการพัฒนาสมการประมาณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า ได้กำหนดขอบเขตของตัวแปรเชิงพื้นที่ตามแนวคิดการวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศ โดยกำหนดให้ความลาดชัน (slope) มีค่าสูงสุดที่ 35% ตามแนวทางการประเมินพื้นที่ลาดชันของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งกำหนดให้พื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35% เป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (complex slope area) หากพบพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35% ในการวิเคราะห์ จะกำหนดให้พื้นที่นั้นมีความลาดชันเท่ากับ 35% และเปอร์เซ็นต์ความปกคลุมของต้นไม้ (PTC) มีค่าสูงสุดที่ 100% ซึ่งหมายถึงพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดไม้ทั้งหมด เมื่อใช้ค่า Euclidean Distance (D) เป็นพารามิเตอร์เดียวในการอธิบายลักษณะภูมิประเทศ ค่า D จะมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 (ในกรณีที่พื้นที่ไม่มีมีความลาดชันและไม่มีต้นไม้ปกคลุม) และมีค่าสูงสุดประมาณ 105.95 (ในกรณีที่พื้นที่มีความลาดชัน 35% และมีต้นไม้ปกคลุม 100%) ดังแสดงในรูปที่ 4

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร D และค่าสัมประสิทธิ์ C ใช้วิธี Linear Scaling เนื่องจากเป็นวิธีที่ตรงไปตรงมาที่สุดในการปรับขอบเขตช่วงค่าของตัวแปรใหม่ (D: 0 ถึง 105.95) ให้สอดคล้องกับขอบเขตช่วงค่าของพารามิเตอร์เดิม (C: -6.237 ถึง 8.501) ซึ่งจะทำให้สมการที่ได้มีความเรียบง่ายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในทางปฏิบัติ และสอดคล้องกับการจำแนกภูมิประเทศตามแนวทางของกรมชลประทาน โดยค่า C ที่สูง (8.501) สัมพันธ์กับภูมิประเทศประเภท A ซึ่งเป็นพื้นที่ภูเขาสูงชันที่มีความลาดชันสูง ส่วนค่า C ที่ต่ำ (-6.237) สัมพันธ์กับภูมิประเทศประเภท E ซึ่งเป็นพื้นที่ราบที่มีความลาดชันน้อยและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นนาข้าวเป็นส่วนใหญ่ มีพืชปกคลุมดินน้อย การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่า D กับค่า C ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ:

$$C = 0.139D - 6.237 \quad (6)$$



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชัน (slope) และเปอร์เซ็นต์ความปกคลุมของต้นไม้ (PTC) ในการคำนวณระยะทาง Euclidean (D)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่า Euclidean Distance (D) และค่าคงที่ C ในสมการสัมประสิทธิ์น้ำท่า

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้จากสมการที่ 6 เมื่อนำสมการนี้ไปแทนในสมการสัมประสิทธิ์น้ำท่าเดิม (สมการที่ 2) จะได้สมการสัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือนใหม่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงพื้นที่ (สมการที่ 7) โดยที่ค่า D คือระยะทาง Euclidean ที่คำนวณจากความลาดชันและ PTC ตามสมการที่ 3

$$R.O.C = 0.1295R + (0.139D - 6.237) \quad (7)$$

สมการที่พัฒนาขึ้นนี้จะช่วยแก้ไขข้อจำกัดของวิธีเดิมที่ต้องอาศัยดุลยพินิจของวิศวกรในการเลือกประเภทภูมิประเทศ โดยใช้ข้อมูลความลาดชันและเปอร์เซ็นต์ความปกคลุมของต้นไม้ที่วิเคราะห์ได้จากแหล่งข้อมูลภูมิสารสนเทศ มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าโดยตรง ทำให้ผลการประเมินมีความเป็นมาตรฐานและเป็นกลางมากขึ้น

เมื่อนำสมการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่ารายปีผ่านหัวงานโครงการทั้ง 20 แห่ง แล้วเปรียบเทียบกับผลจากวิธีเดิม ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าผ่านหัวงานโครงการระหว่างวิธีเดิมกับวิธีที่พัฒนาขึ้น

Code	PTC (%)	Slope (%)	ปริมาณน้ำท่าจากวิธีเดิม (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำท่าจากวิธีใหม่ (ลบ.ม.)	ร้อยละความแตกต่าง
D3	20.2	2.3	668,097.2	466,518.0	-30.2%
W3	15.8	2.9	33,930,401.8	24,696,104.0	-27.2%
W8	18.8	12.8	2,776,260.3	2,139,071.2	-23.0%
W1	25.3	5.2	2,464,575.2	1,957,357.9	-20.6%
D4	25.3	10.0	247,956.1	198,706.7	-19.9%
W4	28.5	13.7	2,843,560.8	2,368,909.5	-16.7%
W7	29.8	15.2	7,394,560.2	6,338,148.4	-14.3%
D1	38.4	2.5	1,607,753.6	1,397,961.1	-13.1%
D2	33.5	18.7	216,166.8	190,018.4	-12.1%
W9	37.6	19.8	18,569,315.4	17,019,950.4	-8.3%
W11	18.3	12.3	1,113,359.7	1,106,561.4	-0.6%
W10	55.6	17.8	38,919,755.9	39,428,903.0	1.3%
R4	61.7	13.9	1,611,789.3	1,645,276.6	2.1%
W2	54.6	27.8	514,161.4	534,663.7	4.0%
D5	24.6	14.9	243,079.7	256,563.2	5.6%
W6	58.7	26.4	2,808,244.7	2,974,800.4	5.9%
R2	63.3	31.5	150,554.0	159,884.4	6.2%
W5	57.7	32.9	1,661,683.2	1,783,727.9	7.3%
R3	87.5	20.4	4,463,416.5	4,873,841.3	9.2%
R1	65.8	22.7	633,707.8	696,133.7	9.9%

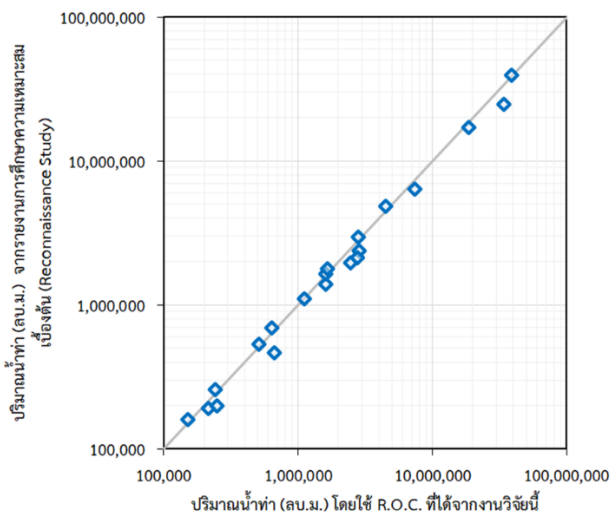
จากตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธีมีทั้งกรณีที่วิธีใหม่ให้ค่าน้อยกว่าวิธีเดิม (ค่าความแตกต่างเป็นลบ) และกรณีที่วิธีใหม่ให้ค่ามากกว่าวิธีเดิม (ค่าความแตกต่างเป็นบวก) โดยมีโครงการที่ให้ผลแตกต่างไม่เกิน $\pm 10\%$ จำนวน 11 โครงการ (ร้อยละ 55 ของทั้งหมด) และแตกต่างไม่เกิน $\pm 20\%$ จำนวน 16 โครงการ (ร้อยละ 80 ของทั้งหมด)

โครงการที่มีความแตกต่างมากที่สุด (มากกว่า 20%) ได้แก่ แก้มลิงห้วยตลุง (D3) ฝายวังไชน่า (W3) ฝายห้วยชันตาดหมื่น (W8) และฝายห้วยลูกนก (W1) มีลักษณะร่วมกันคือมีค่า PTC ต่ำ (15.8-25.3%) และมีค่า Slope ต่ำมาก (2.3-12.8%) ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจอธิบายได้ว่า ในวิธีเดิม วิศวกรอาจสำรวจพื้นที่และประเมินเฉพาะบริเวณหัวงานโครงการว่าเป็นภูมิประเทศประเภท C ซึ่งเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดและมีป่าโปร่งหรือมี

นาข้าวบางส่วน ขณะที่ในวิธีใหม่ แต่การคำนวณโดยตรงจากค่า Slope และ PTC คำนวณเฉลี่ยทั้งพื้นที่รับน้ำ ทำให้ค่า R.O.C. น้อยกว่าวิธีเดิม

ในทางตรงกันข้าม กลุ่มโครงการที่มีค่า PTC สูงและ Slope สูง เช่น จัดหาน้ำสนับสนุน ดช.บ้านทิลป่า (R3) และอ่างเก็บน้ำบ้านโป่งพรหม อันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ (R1) ซึ่งวิธีใหม่ให้ค่าน้ำท่าสูงกว่าวิธีเดิม ประมาณ 9-10% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิศวกรโครงการประเมินลักษณะภูมิประเทศเฉพาะบริเวณทางโครงการว่าเป็นประเภท C แต่สภาพพื้นที่จริงจากพื้นที่รับน้ำทั้งหมดส่วนมากเป็นพื้นที่ป่าไม้และความลาดชันสูง จึงทำให้ผลการประเมิน R.O.C. โดยวิธีใหม่สูงกว่าวิธีเดิม

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธี ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.995 ซึ่งค่าที่ใกล้ 1 แสดงถึงความสอดคล้องที่ดีมากระหว่างผลการคำนวณจากทั้งสองวิธี บ่งชี้ว่าสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับวิธีเดิมได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในช่วงค่าปริมาณน้ำท่าระดับกลาง (1-10 ล้านลูกบาศก์เมตร) ที่ข้อมูลกระจายตัวอยู่ใกล้เส้นแนวโน้ม 1:1 มากที่สุด



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่คำนวณด้วยวิธีเดิมและวิธีใหม่

จากผลการวิเคราะห์ที่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าระหว่างวิธีเดิมและวิธีใหม่ โดยเฉพาะในโครงการที่มีความแตกต่างสูงสุด (ประมาณ 30%) จะมีนัยสำคัญในทางปฏิบัติที่สำคัญ ความแตกต่างระดับ 20-30% ในการประเมินปริมาณน้ำท่าจะส่งผลโดยตรงต่อการกำหนดขนาดความจุกักเก็บของโครงการ หากออกแบบตามวิธีใหม่ซึ่งให้ค่าน้อยกว่า จะทำให้ประหยังบประมาณก่อสร้าง แต่ต้องพิจารณาความเสี่ยงจากการมีความจุไม่เพียงพอในบางกรณีด้วย ทั้งนี้ วิธีใหม่คาดว่าจะให้ผลการประเมินที่แม่นยำกว่าในพื้นที่ที่มีความหลากหลายของลักษณะภูมิประเทศและพืชพรรณ เนื่องจากพิจารณาข้อมูลเฉลี่ยทั้งพื้นที่รับน้ำ ไม่ใช่เฉพาะบริเวณทางโครงการ ซึ่งจะช่วยให้การออกแบบโครงการสอดคล้องกับสภาพจริงมากขึ้น

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสมการประมาณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือน (R.O.C.) โดยใช้ตัวแปรเชิงพื้นที่ ได้แก่ ความลาดชัน (slope) จากข้อมูล MERIT DEM และเปอร์เซ็นต์ความปกคลุมของต้นไม้ (PTC) จาก ISCGM ผลการทดสอบกับโครงการชลประทานขนาดเล็ก 20 โครงการในภาคตะวันตกของประเทศไทย พบว่าสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถประมาณค่า R.O.C. ได้สอดคล้องกับวิธีดั้งเดิม โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้อง เท่ากับ 0.995 ซึ่งแสดง

ถึงความสอดคล้องที่ดีมาก โดยสมการใหม่นี้ช่วยเชื่อมโยงตัวแปรเชิงพื้นที่กับค่า R.O.C. ได้อย่างชัดเจน ลดการพึ่งพาดุลยพินิจของวิศวกรโครงการ และสร้างความเป็นมาตรฐานในการประเมินปริมาณน้ำท่าสำหรับการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการชลประทานขนาดเล็ก

สมการที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งในคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับวิศวกรในการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการชลประทานขนาดเล็กทั่วประเทศ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการประเมิน อย่างไรก็ตาม การวิจัยในอนาคตควรขยายขอบเขตการทดสอบให้ครอบคลุมพื้นที่ในภูมิภาคอื่นๆ ของประเทศไทยที่มีลักษณะภูมิประเทศและพืชพรรณแตกต่างกัน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของสมการในบริบทที่หลากหลาย นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาความแม่นยำของการประเมินปริมาณน้ำท่าจากสมการที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดจริงในพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำท่า เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของสมการและปรับปรุงความแม่นยำให้เหมาะสมกับการใช้งานในการออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็กในอนาคต และควรศึกษาการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของค่า R.O.C. ต่อการเปลี่ยนแปลงของ %Slope และ PTC เพื่อให้เข้าใจว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลต่อค่า R.O.C. มากกว่ากัน และในช่วงค่าใดที่การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อค่า R.O.C. อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของสมการได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ ควรพิจารณาศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่มีต่อค่า PTC และค่า R.O.C. ในระยะยาว ซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการขยายตัวของเขตเมือง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ขอขอบพระคุณสำนักงานชลประทานที่ 13 ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเล่มวางแผนโครงการศึกษาเบื้องต้น รวมถึงเพื่อนและพี่น้องที่เป็นผู้ช่วยในการเก็บข้อมูลและรวบรวมข้อมูลในการศึกษาเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dittthakit, P., Pinthong, S., Salaeh, N., Binnui, F., Khwanchum, L., and Pham, Q. B. 2021. Using machine learning methods for supporting GR2M model in runoff estimation in an ungauged basin, *Scientific Reports*, 11, 19955.
- [2] Machado, R. E., Cardoso, T. O., and Mortene, M. H. 2022. Determination of runoff coefficient (C) in catchments based on analysis of precipitation and flow events, *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 208–216.
- [3] Zheng, Y., Coxon, G., Woods, R., Li, J., and Feng, P. 2023. A Framework for Estimating the Probability Distribution of Event Runoff Coefficient in Ungauged Catchments, *Water Resources Research*, 59, e2022WR033227.
- [4] Itsukushima, R. 2021. Characteristics and controlling factors of the drought runoff coefficient, *Water*, 13(9), 1259.
- [5] Kriangsiri, P. and Lertsincharoen, J. 1995. Guidelines for Studying Small Water Resource Project Planning in Northern Thailand using Spreadsheet Programs, *Kasetsart Engineering Journal*, 9(25), 75–114.

- [6] Lu, J., Chen, X., Zhang, L., Sauvage, S., and Sánchez-Pérez, J. M. 2018. Water balance assessment of an ungauged area in Poyang Lake watershed using a spatially distributed runoff coefficient model, *Journal of Hydroinformatics*, 20(5), 1009–1024.
- [7] Akbari, M., Haghighi, A. T., Aghayi, M. M., Javadian, M., Tajrishy, M., and Kløve, B. 2019. Assimilation of satellite-based data for hydrological mapping of precipitation and direct runoff coefficient for the Lake Urmia basin in Iran, *Water*, 11(8), 1624.
- [8] Yamazaki, D. et al. 2017. A high-accuracy map of global terrain elevations, *Geophysical Research Letters*, 44(11), 5844–5853.
- [9] Kobayashi, T., Tsend-Ayush, J., and Tateishi, R. 2016. A new global tree-cover percentage map using MODIS data, *International Journal of Remote Sensing*, 37(4), 969–992.
- [10] Willmott, C. J., Robeson, S. M., and Matsuura, K. 2012. A refined index of model performance, *International Journal of Climatology*, 32(13), 2088–2094.