บทความวิจัย

การหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารชลประทานสายซอยฝั่งซ้ายของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ภัทรสุดา โพธิ์ศรี* และ เอนก เนรมิตครบุรี
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย
โชคชัย คงเกราะ
ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาปราณบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6311 6838 อีเมล: Phattrasuda_ph@rmutto.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.08.001
รับเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 10 สิงหาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 2 ธันวาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 3 สิงหาคม 2564
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารส่งน้ำชลประทานกรณีพื้นที่ศึกษาของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 สำนักชลประทานที่ 14 อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพื่อศึกษาวิธีและขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทาน ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารชลประทานที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำที่วัดได้ไหลผ่านอาคาร ซึ่งจะช่วยควบคุมปริมาณการไหลได้ถูกต้องมากขึ้น ในการศึกษาได้เลือกอาคารชลประทานสายซอยฝั่งซ้ายของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 จำนวน 11 อาคาร ได้แก่ คลองส่งน้ำสายซอย 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 62, 64 และ 66 ซ้าย ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำให้แก่พื้นที่การเกษตรกรรมของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากการทดสอบวัดความเร็วกระแสน้ำผ่านหน้าตัดในคลองทั้ง 11 คลองสายย่อย จะได้ค่าที่แตกต่างกันค่อนข้างมากเนื่องจาก 1) ขนาดของคลองแต่ละคลองมีขนาดแตกต่างกัน 2) การทดสอบได้ทำการเปิดระยะของบาน หรือระยะ (G_o) ที่ขนาดความสูงแตกต่างกัน 3) ขนาดของบานประตูระบายน้ำของแต่ละคลองก็แตกต่างกัน ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหน้าตัดอยู่ระหว่าง 0.383–1.520 ลบ.ม./วินาที ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_S) จะแปรผกผันกับค่าความแตกต่างของระดับความสูง (ΔH) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_S) อยู่ระหว่าง 0.118 ถึง 0.718 และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง (n) ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0224 จากผลการศึกษานำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำมาพิจารณาประกอบกับงบประมาณที่ได้จัดสรรตามรอบการปรับปรุงว่าควรจะจัดลำดับการบำรุงรักษาคลองสายใดก่อนหลังเพื่อให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุด

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์การไหล อาคารชลประทาน การไหลแบบจม

การอ้างอิงบทความ: ภัทรสุดา โพธิ์ศรี, เอนก เนรมิตครบุรี และ โชคชัย คงเกราะ, "การหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารชลประทานสายซอยฝั่งซ้ายของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 32, ฉบับที่ 3, หน้า 585–597, ก.ค.–ก.ย. 2565.

Research Article

Discharge Coefficient of Irrigation Structure in Regulators of Left Lateral Canal of Pranburi Operation and Maintenance Branch 4, Kui Buri District, Prachuap Khiri Khan Province

Phattrasuda Phosri* and Anek Neramitkornburee
Department of Civil Engineering. Faculty of Engineering and Architecture. Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Uthenthawai Campus, Bangkok, Thailand
Chokchai Kongkraw
Pranburi Operation and Maintenance Branch 4, Regional Irrigation Office 14, Kui Buri District, Prachuap Khiri Khan, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 6311 6838, E–mail: Phattrasuda_ph@rmutto.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.08.001
Received 20 May 2020; Revised 10 August 2020; Accepted 2 December 2020; Published online: 3 August 2021
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This study aims to calibrate the discharge coefficient of irrigation structures of the Pranburi Operation and Maintenance, Branch 4, Regional Irrigation Office 14, Kui Buri District, Prachuap Khiri Khan Province. The discharge coefficient (C_s) can be used to calculate the amount of water flowing through the irrigation structures, which control the flowing volume more accurately. The 11 head regulators of the left lateral canal were calibrated, which were 50L, 51L, 52L, 54L, 58L, 59L, 60L, 61L, 62L, 64L, and 66L. The result shows the accuracy of calculated velocity of the water flow through the cross-section of each canal. They are quite different due to 1) canal diverse sizes 2) different heads of sluice gates (G_o) and 3) varying sluice gate dimension patterns. The measured discharge varied between 0.383–1.520 m^3/s and the discharge coefficient (C_s) is inversely proportional to the elevation difference (ΔH). The discharge coefficient (C_s) is between 0.118–0.718 while average Manning's roughness coefficient (n) is 0.0224. The results can be applied in conjunction with the timely-based budgetary allocations in support of canal maintenance prioritization to ensure the most effective goal available.

Keywords: Discharge Coefficient, Irrigation Structure, Submerged Flow

Please cite this article as: P. Phosri, A. Neramitkornburee, and C. Kongkraw, "Discharge coefficient of irrigation structure in regulators of left lateral canal of Pranburi operation and maintenance branch 4, Kui Buri district, Prachuap Khiri Khan province," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 3, pp. 585–597, Jul.–Sep. 2022 (in Thai).

1. บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุปโภคบริโภค ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม และด้านรักษาระบบนิเวศ ปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำได้รุมเร้าประเทศมาเป็นระยะเวลานาน ทั้งในกรณีปัญหาภัยแล้งและน้ำท่วม [1] ด้วยเหตุนี้การบริหารจัดการทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดจึงเป็นสิ่งสำคัญ การจัดการน้ำ [2] คือ ความพยายามที่จะนำน้ำจากแหล่งน้ำไปทำการเพาะปลูก โดยอาศัยการจัดการ ซึ่งประกอบด้วยการวางแผน การปฏิบัติงาน การติดตามผล การประเมินผล และการวิเคราะห์ปรับปรุงแผน เพื่อให้การใช้น้ำเกิดประโยชน์สูงสุดตามวัตถุประสงค์ของโครงการชลประทานที่วางไว้ คลองส่งน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่สุดและสำคัญที่สุดของโครงการชลประทานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ คลองดินและคลองดาด ขนาดของคลองส่งน้ำจะกำหนดตามอัตราการไหล [3] ฉะนั้นการวัดอัตราการไหลที่ถูกต้องจึงมีความจำเป็นในการวางแผนการส่งน้ำชลประทาน

การวัดอัตราการไหลเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการบริหารจัดการน้ำ โดยจะชี้ให้เห็นถึงปริมาณน้ำที่ส่ง และการสูญเสียน้ำในแต่ละจุดของการส่งน้ำ ในทางปฏิบัติยังไม่สามารถวัดปริมาณในการจัดสรรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร สำหรับประเทศไทยได้เริ่มนำเอาเทคโนโลยี อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ เข้ามาช่วยในการควบคุมระบบบริหารคลองส่งน้ำ เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำชลประทานมีประสิทธิภาพ ทั่วถึง เป็นธรรมและยั่งยืน โดยได้มีการนำเสนอระบบคลองอัตโนมัติเพื่อใช้ควบคุมระดับน้ำ ด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย (Target Water Level) แบบอัตโนมัติ [4] แต่ยังถูกจำกัดในระบบชลประทานนำร่องโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาสองพี่น้อง เนื่องจากข้อจำกัดในด้านงบประมาณสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือควบคุม ทำให้การจัดสรรน้ำไม่ตรงกับปริมาณความต้องการเป็นเหตุให้ต้องเสียน้ำบางส่วนที่ต้องระบายทิ้ง โดยที่บางพื้นที่ยังไม่ได้รับน้ำ การวัดปริมาณน้ำให้เหมาะสมกับเวลา ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการที่แม่นยำ จึงมีความจำเป็นในการบริหารจัดการน้ำให้มีประโยชน์สูงสุด ได้น้ำพอดีในเวลาที่เหมาะสมการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยให้พื้นที่ที่เคยเสียโอกาสกลับมาสร้างผลผลิตให้กับสังคมได้เพิ่มมากขึ้น และยังช่วยลดความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในสังคมได้ด้วย

จากผลการทดสอบอาคารควบคุมน้ำเพื่อสอบเทียบสมการการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำของคลอง 5L–2L คลองสายใหญ่ในระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาสองพี่น้อง ระหว่างวันที่ 20 สิงหาคม 2551 ถึง 31 ตุลาคม 2551 [5] ซึ่งทุกอาคารควบคุมน้ำ มีค่า Coefficient of Determination, $R^2 > 0.75$ และผลจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's Roughness; n) ของโครงการส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครปฐมและสองพี่น้อง พบว่า มีค่า n=0.0189 และ n=0.0180 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ออกแบบไว้ [6] ดังนั้นการตรวจสอบค่าปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทานรวมทั้งการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลองส่งน้ำโดยเฉพาะคลองส่งน้ำที่มีอายุการใช้งานมาก ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพคลองเพื่อนำมาวางแผนการบำรุงรักษาทำให้การใช้งานเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทานปากคลองส่งน้ำสายซอยเพื่อสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's Roughness) ของคลองส่งน้ำที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 40 ปี เทียบกับค่าที่ใช้ในการออกแบบโดยเลือกอาคารส่งน้ำปากคลองสายซอย จำนวน 11 อาคาร ได้แก่ คลองซอย 50L, 51L, 52L, 54L, 58L, 59L, 60L, 61L, 62L, 64L และ 66L ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกสายซอยฝั่งซ้ายของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาปราณบุรี เพื่อให้หน่วยงานนำไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำและบำรุงรักษาคลองส่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

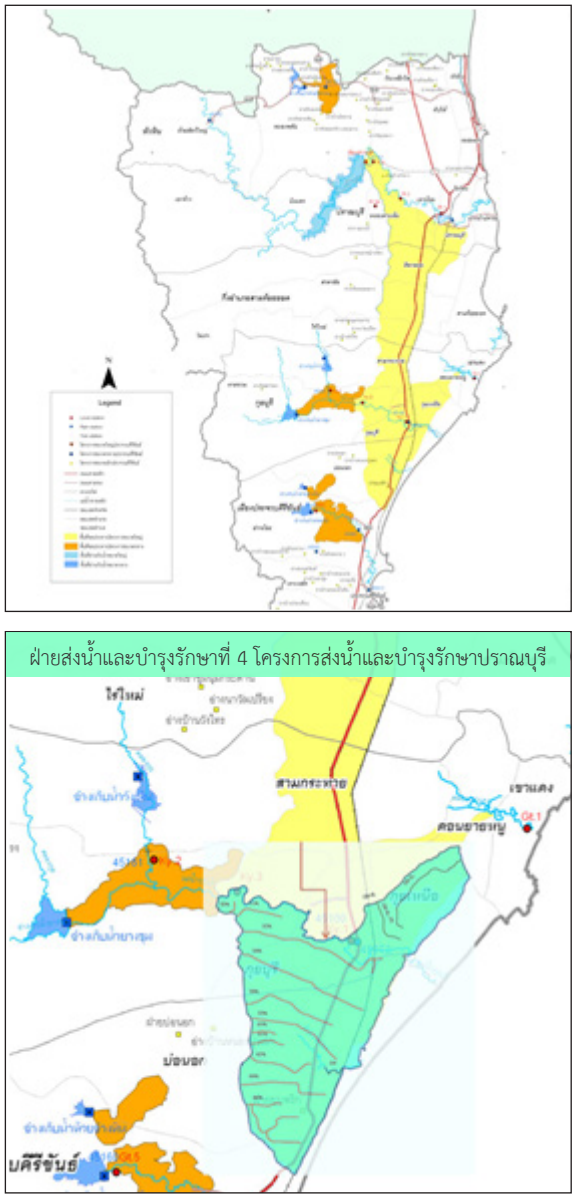
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ข้อมูลและพื้นที่ทำการศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของเขื่อนปราณบุรีที่สร้างกั้นแม่น้ำปราณบุรี เพื่อเก็บกักน้ำ บรรเทาอุทกภัย และส่งน้ำไปใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคในช่วงฤดูแล้ง เป็นเขื่อนดินสร้างปิดกั้นแม่น้ำปราณบุรี ระหว่างเขาตกน้ำกับเขาเตย ที่อำเภอปราณบุรี

จังหวัดประจวบคีรีขันธ์สันเขื่อนยาว 1,500 เมตร ระดับสันเขื่อน 45 เมตร เก็บกักน้ำได้ 445 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเฉลี่ยปีละ 436 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ.ศ. 2510 แล้วเสร็จ พ.ศ. 2521 สร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ทางด้านการชลประทาน พื้นที่รับประโยชน์ 364,000 ไร่ ในกรณีน้ำเต็มอ่าง ใช้เพื่อการประปา อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และรักษาระบบนิเวศ อยู่ในการความรับผิดชอบของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาปราณบุรี ในส่วนของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 (กุยบุรี) มีหน้าที่ความรับผิดชอบในด้านการส่งน้ำและบำรุงรักษาอาคารชลประทานต่างๆ ในเขตท้องที่ตำบลหาดขาม ตำบลกุยเหนือ อำเภอกุยบุรี ตำบลบ่อนอก อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

การศึกษาครั้งนี้ได้หาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารส่งน้ำปากคลองสายซอย จำนวน 11 อาคาร ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกสายซอยฝั่งซ้ายของฝ่ายส่งน้ำ และบำรุงรักษาที่ 4 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 เพื่อนำมาใช้คำนวณปริมาณน้ำในคลองสายซอย และเป็นข้อมูลในการวางแผน และติดตามผลการส่งน้ำของพื้นที่โครงการได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษางานฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ [7]

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดความเร็วกระแสน้ำ

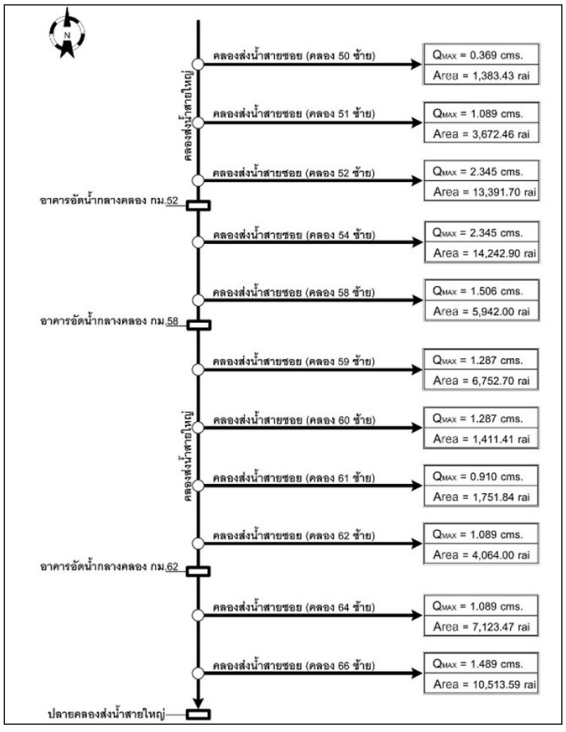
วิธีการวัดปริมาณน้ำในคลองที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ [9]

2.2.1 เครื่องมือวัดกระแสน้ำ ใช้วัดปริมาณของน้ำ และเวลาที่น้ำไหลผ่านโดยตรง (Volumetric Flow) สามารถวัดโดยการจับเวลาที่ปริมาณน้ำจำนวนหนึ่งไหลลงสู่ถังที่ทราบปริมาณแล้ว จากนั้นคำนวณอัตราการไหล

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องมือวัด Electric Current Meter (Propeller) [10] ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยนำ Propeller ไปติดไว้กับปลายก้านหยั่ง (Wading Rod) และจุ่มลงในน้ำตามแนวดิ่ง ให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของใบพัดอยู่ตรงจุดที่กำหนดของความลึก เมื่อใบพัดหมุนครบ 10 รอบ จะส่งสัญญาณเสียงดังขึ้น 1 ครั้ง จดบันทึกจำนวนรอบกับเวลาที่วัด

2.2.2 วิธีการวัดความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ วิธีนี้ใช้หลักการที่ว่าปริมาณน้ำผ่านจุดใดจุดหนึ่ง จะเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำ สำหรับการวัดความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ เครื่องวัดกระแสน้ำ (Current Meter)

(ก) ตำแหน่งคลองส่งน้ำสายซอยในพื้นที่ศึกษา [8]

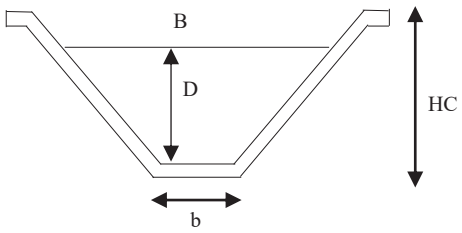


(ข) ผังแสดงรายละเอียดคลองส่งน้ำสายซอยในพื้นที่ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 [8]

รูปที่ 2 พื้นที่ศึกษางานฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ [8]

รูปที่ 3 เครื่องวัดกระแสน้ำ Electric Current Meter (Propeller) [10]

ขนาดหน้าตัดคลองดังแสดงในตารางที่ 1



ตารางที่ 1 หน้าตัดทางน้ำคลองส่งน้ำสายซอย [8]

หน่วย : เมตร

ชื่อคลอง	b	D	HC	B
คลองส่งน้ำสายซอย 50L	0.50	0.40	0.55	2.15
คลองส่งน้ำสายซอย 51L	0.75	0.40	0.80	3.15
คลองส่งน้ำสายซอย 52L	1.00	0.40	1.00	4.00
คลองส่งน้ำสายซอย 54L	1.00	0.40	0.95	3.85
คลองส่งน้ำสายซอย 58L	0.75	0.40	0.85	3.30
คลองส่งน้ำสายซอย 59L	0.75	0.40	0.80	3.15
คลองส่งน้ำสายซอย 60L	0.50	0.40	0.65	2.45
คลองส่งน้ำสายซอย 61L	0.75	0.40	0.70	2.85
คลองส่งน้ำสายซอย 62L	0.75	0.40	0.75	3.00
คลองส่งน้ำสายซอย 64L	1.25	0.40	1.20	4.85
คลองส่งน้ำสายซอย 66L	1.25	0.40	1.20	4.85

ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำปราณบุรี [8]

2.2.3 วิธีวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยใช้ทุ่นลอย เป็นวิธีการที่ง่ายแต่เป็นค่าโดยประมาณ มีขั้นตอนในการทำดังนี้ คือ เลือกช่วงตรงที่สุดของทางน้ำให้มีความยาวตั้งแต่ 20–30 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำจะต้องสม่ำเสมอ

2.3 การคำนวณความเร็วและอัตราการไหลของน้ำ

การหาความเร็วเฉลี่ยโดยใช้เครื่องวัดกระแสน้ำ ในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของแต่ละหน้าตัดย่อยโดยวิธี Mean-section Method ซึ่งเครื่องวัดกระแสน้ำไม่สามารถวัดความเร็วของกระแสน้ำได้โดยตรง โดยทั่วไปจะคำนวณหาความเร็วของกระแสน้ำจากสมการ $V = aN + b$ โดยความเร็วของกระแสน้ำจะเท่ากับจำนวนรอบ (N) ของการหมุนของใบพัดคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ (a) และบวกด้วยค่าคงที่ (b) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะเครื่องมือวัดกระแสน้ำแต่ละเครื่องโดยค่าสัมประสิทธิ์ และค่าคงที่ดังกล่าวได้จากการตรวจสอบการหมุนส่วนประกอบของเครื่องมือในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ โดยนำเอาส่วนที่หมุนได้ไปติดกับอุปกรณ์ที่วิ่งด้วยความเร็วคงที่ และจุ่มลงในน้ำจากนั้นนำค่าความเร็วของอุปกรณ์ที่วิ่ง และจำนวนรอบของเครื่องมือวัดกระแสน้ำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ตามสมการมาตรฐาน $V = aN + b$ เมื่อ N คือ อัตราการหมุนของเครื่องวัดที่วัดได้ (รอบ/วินาที) a, b คือ ค่าคงที่ ที่ได้จากการสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องมือ [11] โดยในการศึกษาครั้งนี้สมการ ค่า a, b ของเครื่องมือดังแสดงในสมการที่ (1)

$$V = (0.2392N + 0.01) \tag{1}$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)
N คือ จำนวนรอบต่อเวลา (รอบ/วินาที)
a, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องมือ
อัตราการไหลของน้ำดังแสดงในสมการที่ (2)

$$Q = AV \tag{2}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่รูปตัดลำน้ำ (ตารางเมตร)
V คือ ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)

2.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง

โรเบิร์ต แมนนิ่ง (Robert Manning) [12] ได้หาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังแสดงในสมการที่ (3)

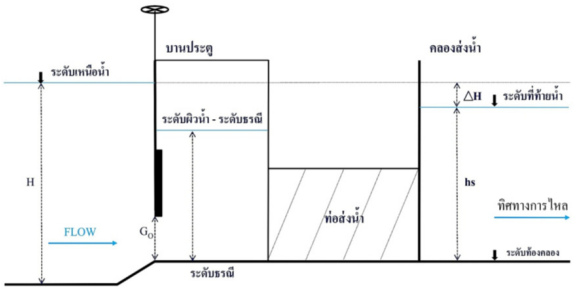
$$n = \frac{1}{Q} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

เมื่อ n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง(Manning's Roughness Coefficient)
R คือ รัศมีชลศาสตร์(Hydraulic Radius) = A/P (เมตร)
S คือ ความลาดชันของคลองชลประทาน
A คือ พื้นที่รูปตัดลำน้ำ (ตารางเมตร)
P คือ ความยาวของเส้นขอบเปียก (เมตร)
Q คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

โดยคลองสายซอยทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า n = 0.014 [8] ในการออกแบบ ซึ่งมีผู้เสนอเกณฑ์การออกแบบการเลือกค่า n ไว้สำหรับใช้ในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ฝั่งขวา [6] ให้ใช้ค่า n = 0.016 ส่วนการใช้ค่า n ในการออกแบบแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยที่กรมชลประทานเคยรวบรวมไว้ใน พ.ศ. 2534 ซึ่งเป็นช่วงที่ใกล้เคียงกับปีที่ออกแบบและก่อสร้างคลองสายย่อยในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การออกแบบการเลือกค่า n ในการออกแบบแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย [6]

ภาค	n	
	เดิม	ปัจจุบัน
ฝ่ายออกแบบชลประทานส่วนเหนือ	0.014	0.016–0.018
ฝ่ายออกแบบชลประทานส่วนตะวันออกเฉียงเหนือ	0.014	0.016–0.018
ฝ่ายออกแบบชลประทานส่วนกลาง (โครงการนครปฐมใช้ 0.014 และโครงการสองพี่น้องใช้ 0.016)	0.014	0.016–0.018
ฝ่ายออกแบบชลประทานส่วนใต้	0.013	0.016–0.018



รูปที่ 4 ลักษณะการไหลของน้ำลอดใต้บานตรงแบบท่วมท้ายบานระบายน้ำ

2.5 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (C_s)

นำค่าอัตราการไหลที่คำนวณได้ในหน้าตัดซึ่งอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ (Q) คำนวณจากสูตรคำนวณปริมาณน้ำผ่านประตูระบายน้ำ กรณีการไหลเป็นแบบท่วมท้ายบานระบายน้ำ (Submerged Flow) [13] ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (C_s) ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$C_s = \frac{Q}{Lh_s\sqrt{2g\Delta H}} \quad (4)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำผ่านบานระบายน้ำเป็น เมตร^3/วินาที

C_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (สัมพันธ์กับค่า h_s/G_o)

L คือ ความกว้างของช่องการไหล (เมตร)

h_s คือ ความลึกของท้ายน้ำที่ Submerged (เมตร)

H คือ ระดับน้ำเหนือน้ำ

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตร/วินาที^{2})

ΔH คือ ผลต่างระหว่างระดับเหนือน้ำ และท้ายน้ำ (เมตร)

การไหลของน้ำลอดใต้บานระบาย [13] หมายถึง การไหลแบบท่วมท้ายบานระบายจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อความลึกของน้ำทางด้านท้ายอาคารมีค่ามากกว่าความลึกของระยะเปิดบาน (G_o) ซึ่งลักษณะการไหลของน้ำผ่านบานประตูระบายน้ำในพื้นที่ศึกษาเป็นลักษณะการไหลแบบท่วมท้ายบานระบายน้ำ

ปัญหาของคันคลองดาดมักจะพบความเสียหายเนื่องจากแรงดันของน้ำซึ่งเกิดจากการไหลของน้ำผ่านรอยต่อระหว่างการดาด และการทรุดตัวของดินเนื่องจากเกิดรอยร้าวบนแนวคอนกรีตดาดคลอง [14] ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลของคลองชลประทานใช้ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพตามที่ออกแบบ รวมทั้งการกำหนดช่วงเวลาในการปรับบาน [5] ดังนั้นในการบริหารจัดการส่งน้ำ ควรพิจารณาจากข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ และปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation)

3. ผลการทดลอง

ผลการเก็บข้อมูลแต่ละคลองสายซอยทั้ง 11 คลอง ได้ค่าเฉลี่ยตามระยะเวลารอบเวร (ตามฤดูกาลส่งน้ำช่วงมกราคมถึงมีนาคม พ.ศ. 2561) จำนวน 11 อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละคลอง

ชื่อคลอง	ความเร็วการไหล	สัมประสิทธิ์การไหล	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ
	V (m/s)	C_s	Manning's n
คลองส่งน้ำสายซอย 50L	0.653	0.118	0.0343
คลองส่งน้ำสายซอย 51L	1.237	0.181	0.0170
คลองส่งน้ำสายซอย 52L	1.155	0.354	0.0120
คลองส่งน้ำสายซอย 54L	1.413	0.371	0.0139
คลองส่งน้ำสายซอย 58L	1.146	0.718	0.0165
คลองส่งน้ำสายซอย 59L	0.822	0.256	0.0176
คลองส่งน้ำสายซอย 60L	0.686	0.142	0.0273
คลองส่งน้ำสายซอย 61L	0.770	0.130	0.0144
คลองส่งน้ำสายซอย 62L	0.786	0.193	0.0253
คลองส่งน้ำสายซอย 64L	0.509	0.210	0.0300
คลองส่งน้ำสายซอย 66L	0.519	0.571	0.0380

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลแต่ละคลองสายซอยดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้ของคลองส่งน้ำสายซอย 50 ซ้าย (50L)

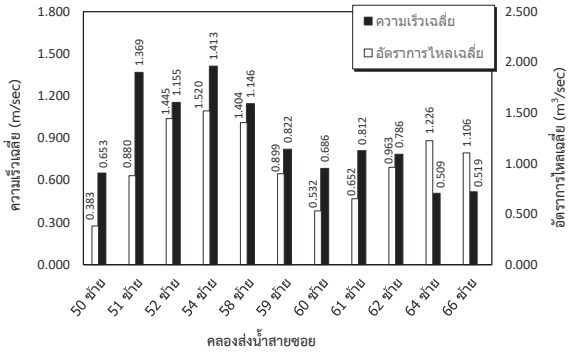
ชื่อคลอง	ครั้งที่	ความเร็วการไหล	สัมประสิทธิ์การไหล	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ
		V (m/s)	C_s	Manning's n
คลองส่งน้ำสายซอย 50 ซ้าย	1	0.510	0.117	0.0315
	2	0.480	0.100	0.0358
	3	0.471	0.090	0.0376
	4	0.468	0.076	0.0713
	5	0.678	0.083	0.0251
	6	0.787	0.120	0.0224
	7	0.802	0.142	0.0219
	8	0.833	0.165	0.0238
	9	0.843	0.170	0.0395

3.1 ความเร็วและอัตราการไหล

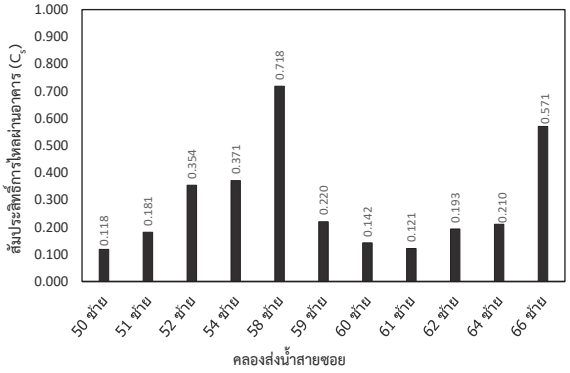
ความเร็วกระแสน้ำ และอัตราการไหลผ่านหน้าตัดในคลองทั้ง 11 คลองซอยสายย่อย แสดงดังรูปที่ 5 พบว่า ได้ค่าความเร็วกระแสน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.509–1.413 เมตร/วินาที และอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารมีค่าอยู่ระหว่าง 0.383–1.520 เมตร^3/วินาที ค่าอัตราการไหลแตกต่างกันไปอันเนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดของแต่ละคลองมีขนาดแตกต่างกันเป็นไปตามสมการที่ (2) และขึ้นอยู่กับระยะเปิดบานประตูจากการทดสอบได้ทำการเปิดระยะของบาน หรือระยะ G_o ที่ขนาดความสูงแตกต่างกัน และขนาดของบานประตูระบายน้ำของแต่ละคลองก็แตกต่างกัน หากคลองสายซอยสายไหนมีพื้นที่หน้าตัดเล็กปริมาณน้ำที่ไหลก็จะวัดได้ค่าน้อย แต่หากคลองสายซอยสายไหนมีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ปริมาณน้ำที่วัดได้ค่ามากเป็นไปตามสมการที่ (2)

3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s)

จากผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคาร

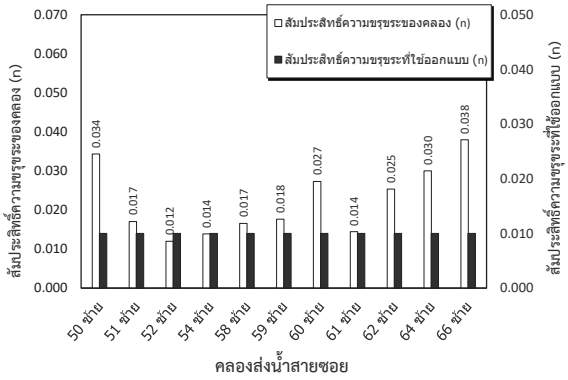


รูปที่ 5 ความเร็วและปริมาณน้ำที่ผ่านหน้าตัดในคลอง



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s)

แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พบว่า ค่าแนะนำของสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s) ของการออกแบบคลองชลประทานกรณีประตูระบายน้ำขนาดเล็กที่มีความกว้างน้อยกว่า 3.00 เมตร มีค่า C_s = 0.60 [15] ค่าที่ได้จากการศึกษามีค่าแตกต่างกันมาก อยู่ระหว่าง 0.118 ถึง 0.718 ดังแสดงในรูปที่ 6 ทั้งนี้ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าความต่างของความสูงของระดับเหนือน้ำและระดับท้ายน้ำ หรือค่าความแตกต่างของระดับความสูง (ΔH) หากค่าความสูงระดับเหนือน้ำและท้ายน้ำแตกต่างกันมาก จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s) ที่ได้นั้นมีค่าน้อย แต่หากค่าความสูงระดับเหนือน้ำและท้ายน้ำแตกต่างกันน้อยจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s) ที่ได้นั้นก็จะมีค่ามาก ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s) จะแปรผกผันกับค่าความแตกต่างของระดับความสูง (ΔH)



รูปที่ 7 ค่าความแตกต่างของค่า n ที่ได้จากการทดสอบเมื่อเทียบกับค่าที่ใช้ในการออกแบบ

3.3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจากทดสอบและค่าที่ใช้ในการออกแบบ

จากค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจากที่ออกแบบไว้ (n=0.014) แสดงว่าความสามารถหรือประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำนั้น ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพมีสาเหตุมาจากสภาพของคลองมีวัชพืชปกคลุมมาก และเกิดการพังทลายทรุดตัวของคลองบางส่วน และในคลองบางสายค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงที่ออกแบบไว้ เนื่องจากมีการปรับปรุง หรือซ่อมแซมคลองส่งน้ำในเวลาไม่นานมานี้

จากการเปรียบเทียบค่า n จากการศึกษาได้ค่าเฉลี่ย n=0.0224 กับคลองส่งน้ำขนาดเล็ก (อัตราการไหลไม่เกิน 5 เมตร^3/วินาที) ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครปฐม โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง [6] พบว่าค่า n=0.0189 และ n=0.0180 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า มีค่ามากกว่าเกณฑ์การออกแบบ (n=0.016) ดังแสดงในตารางที่ 5

3.4 ผลการสอบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง C_s และค่า h_s/G_o

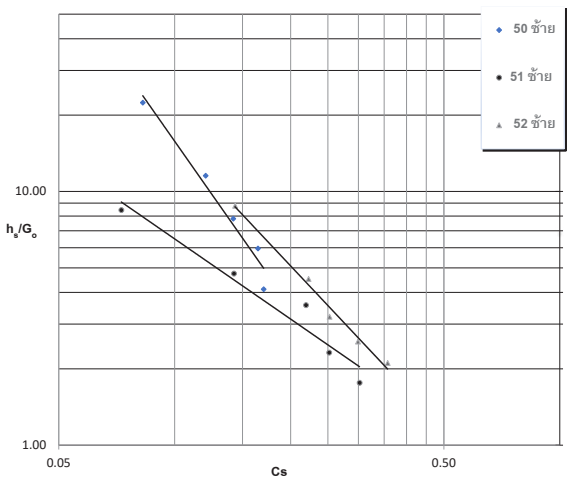
จากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร C_s และ h_s/G_o ทั้ง 11 คลองสายย่อย ดังแสดงในรูปที่ 8 (ก)–(ง) แต่ละคลองส่งน้ำสายย่อย 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 62, 64 และ 66 ซ้าย มีค่า R^2 ดังนี้ 0.9630, 0.9447, 0.9881, 0.9258, 0.7651, 0.9841, 0.4212, 0.6707, 0.8074, 0.6728 และ 0.1382 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า ค่าที่ได้ส่วนใหญ่ค่า C_s มีความสัมพันธ์กับระยะเปิดบานประตู ส่วนคลองสายย่อยบางคลองที่มีค่า R^2 น้อย เช่น คลองสายย่อย 66L พบว่า เกิดจากค่าที่ยกบานประตูระบายน้ำในแต่ครั้งที่เก็บข้อมูลมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งเป็นผลมาจากระดับน้ำในคลองตามรอบการเก็บข้อมูลในขณะนั้นมีการปรับระยะเปิดบานมีระยะแตกต่างกันมาก ทำให้ระดับน้ำเหนือน้ำและท้ายน้ำ (ΔH) แตกต่างกันมากจึงส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่าง C_s และ h_s/G_o ดังกล่าว

ตารางที่ 5 ค่า n โครงการฯนครปฐม โครงการฯ สองพี่น้อง และพื้นที่ศึกษา

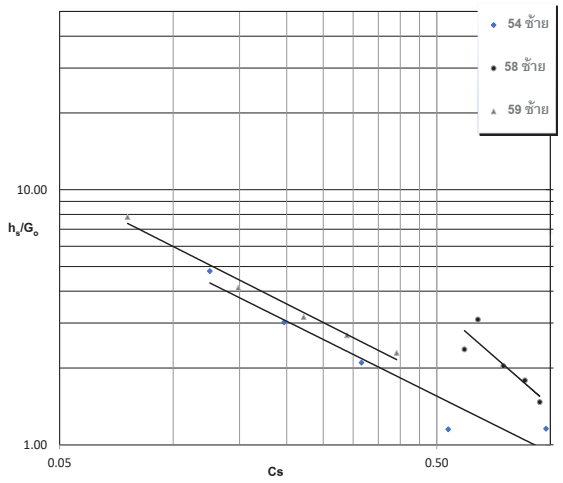
โครงการฯ นครปฐม	โครงการฯสองพี่น้อง	พื้นที่ศึกษา
ตรวจวัด 4 จุด	ตรวจวัด 4 จุด	
0.020	0.020	0.034
0.018	0.016	0.017
0.018	0.019	0.012
0.020	0.017	0.014
ค่าเฉลี่ย = 0.0189	**ค่าเฉลี่ย = 0.0180**	0.018
		0.027
		0.014
		0.025
		0.030
		0.038
		ค่าเฉลี่ย = 0.0224

4. อภิปรายผลและสรุป

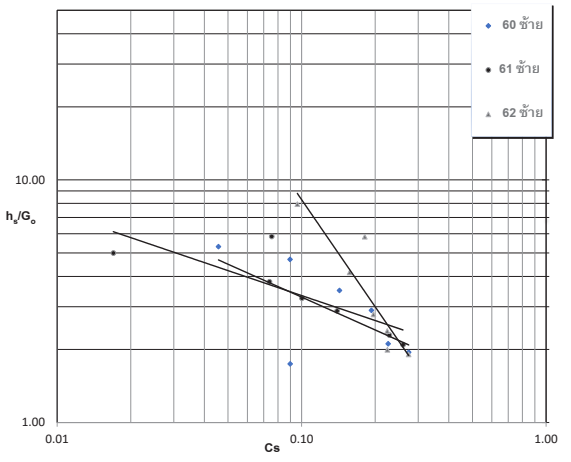
จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ความเร็ว (V) และอัตราการไหล (Q) ผ่านอาคารชลประทานที่ทำการตรวจวัดทั้ง 11 คลองสายย่อย มีค่าแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากระดับน้ำเหนือน้ำกับท้ายน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อระยะเปิดบานประตูไม่เท่ากันทำให้อัตราการไหลที่ไหลผ่านแตกต่างกัน ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากแผนการบริหารจัดการน้ำในการปล่อยน้ำออกคลองซอยแต่ละสาย



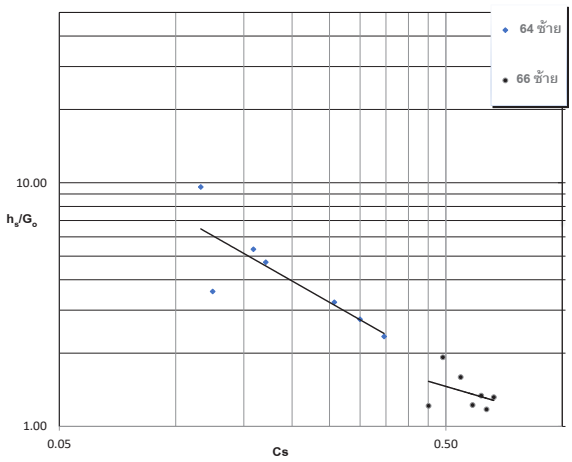
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง C_s และ h_s/G_o ของคลองสายย่อย 50L, 51L และ 52L



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง C_s และ h_s/G_o ของคลองสายย่อย 54L, 58L และ 59L



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง C_s และ h_s/G_o ของคลองสายย่อย 60L, 61L และ 62L



(ง) ความสัมพันธ์ระหว่าง C_s และ h_s/G_o ของคลองสายย่อย 64L และ 66L

รูปที่ 8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร C_s และ h_s/G_o ทั้ง 11 คลองสายย่อย

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s)

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s) ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเป็นผลมาจากอัตราการไหล (Q) เนื่องจากในช่วงที่เก็บข้อมูลเป็นช่วงของการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก การปรับระยะเปิดบานให้ระยะแตกต่างกันมาก จึงส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s) ของแต่ละคลองสายย่อย ส่งผลให้ระดับน้ำเหนือน้ำและท้ายน้ำ (ΔH) แต่ละคลองสายซอยแตกต่างกันมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s) อยู่ระหว่าง 0.118–0.718 และค่าอัตราการไหล (Q) อยู่ระหว่าง 0.383–1.520 เมตร^3/วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาสองพี่น้อง พบว่า C_s อยู่ระหว่าง 0.051–0.578 และ Q อยู่ระหว่าง 0.258–3.957 เมตร^3/วินาที [16] ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้ต่างก็มีความคลาดเคลื่อนกว่าค่าที่ออกแบบอันเนื่องมาจากระยะ

เปิดบานในช่วงที่มีการส่งน้ำเข้าแต่ละคลอง

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (C_s) ที่ได้จากการศึกษา และเปรียบเทียบจากงานศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มักจะมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าที่ใช้ออกแบบเนื่องมาจากปัจจัยการบริหารจัดการแต่ละช่วงเวลาซึ่งส่งผลต่ออัตราการไหลตามมา ฉะนั้นการบริหารจัดการน้ำ หรือการระบายน้ำเข้าคลองส่งน้ำควรพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วยจากแผนการส่งน้ำตามรอบเวร

4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง (n)

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง (n) มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0224 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากค่าที่ออกแบบ(n=0.014) เท่ากับ 37.50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการฯ นครปฐม และโครงการฯ สองพี่น้องมีเปอร์เซ็นต์แตกต่างจากค่าที่ออกแบบที่ 25.92 เปอร์เซ็นต์ และ 11.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าความแตกต่างจากค่าที่ออกแบบของพื้นที่ศึกษามีสาเหตุมาจากการขาดการบำรุงรักษาที่ต่อเนื่องอันเนื่องมาจากรอบการขุดลอก คลองบางสายมีการชำรุด การบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน คลองซอยที่มีการขุดลอกและบำรุงรักษาต่อเนื่องพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลองมีค่าใกล้เคียงกับที่ออกแบบ (n=0.014) ส่วนในคลองสายซอยที่ขาดการบำรุงรักษาต่อเนื่องพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมีค่ามากกว่าที่ออกแบบไว้ ซึ่งส่งผลต่ออัตราการไหลในคลองนั้นๆ มีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นผลจากการศึกษาครั้งนี้ดังแสดงในตารางที่ 5 สามารถนำมาใช้เพื่อพิจารณาในการวางแผนเพื่อบำรุงรักษาและปรับปรุงคลองซอยแต่ละสายให้สามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ ทั้งนี้การใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง (n) ที่เป็นค่ามาตรฐานในการออกแบบคลองชลประทานทั้งโครงการขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ในปัจจุบันยังใช้ค่ามาตรฐานเดียวกัน ฉะนั้นการศึกษาที่ผ่านมาและการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำมาใช้พิจารณาค่าการออกแบบเพื่อใช้ปรับปรุงให้เหมาะสมต่อไปได้

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_s และ h_s/G_o

จากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร C_s และ hs/G_o ทั้ง 11 คลองสายย่อย พบว่า ค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.1382–0.9881 จากค่าที่ได้จะเห็นว่ามีความผันแปรค่อนข้างมากเนื่องจากเป็นช่วงที่เก็บข้อมูลเป็นช่วงของการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก การปรับระยะเปิดบานให้ระยะแตกต่างกันมาก ส่งผลให้ระดับน้ำเหนือน้ำและท้ายน้ำ (ΔH) แต่ละคลองสายซอยแตกต่างกันเนื่องมาจากการบริหารจัดการน้ำหรือการระบายน้ำเข้าคลองส่งน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว

จากผลการศึกษาข้างต้นดังสรุปในตารางที่ 6 สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำมาพิจารณาประกอบกับงบประมาณที่ได้จัดสรรตามรอบการปรับปรุงว่าควรจะจัดลำดับการบำรุงรักษาคลองสายใดก่อนหลังเพื่อให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุดในการปรับปรุงแต่ละรอบ ในการออกแบบระบบชลประทานจะถูกออกแบบโดยใช้ความต้องการน้ำสูงสุด และค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่ถูกเลือกมาใช้ออกแบบจะเป็นค่าคงที่ตลอดอายุการใช้งานของโครงการแต่การใช้งานทุกระบบย่อมมีการเสื่อมสภาพไปตามระยะเวลา เช่น ประสิทธิภาพการส่งน้ำในคลอง ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องล้วนส่งผลถึงอัตราการไหลในคลองที่ลดลงตามอายุการใช้งาน ด้วยเหตุนี้โครงการชลประทานจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินความสามารถของระบบเป็นครั้งคราวเมื่อปริมาณน้ำไม่เป็นไปตามที่ออกแบบระบบไว้เพื่อได้ทราบถึงประสิทธิภาพของการทำงานของระบบที่แท้จริงเพื่อที่จะได้นำมาวางแผนการบริหารจัดการและบำรุงรักษาระบบที่เหมาะสมต่อไป

จากการศึกษาผู้ศึกษามีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1) การศึกษาในครั้งนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของแนวทางในการพัฒนาข้อมูลพื้นฐานของโครงการฯ เพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำ เพื่อการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ยังมีข้อมูลพื้นฐานอีกหลายตัวที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการบริหารจัดการน้ำ

2) ค่าความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากองค์ประกอบหลายประการ เช่น เครื่องมือที่ใช้ในการวัด การอ่านค่าความเร็วของกระแสน้ำ การอ่านค่าความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่งที่วัดน้ำ ดังนั้นเจ้าหน้าที่ที่ทำการวัดน้ำควรมีความรอบครอบในการดำเนินงานเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของ V, Q, C_s และ n ในพื้นที่ศึกษา

ชื่อคลอง	ความเร็วการไหล	อัตราการไหล	สัมประสิทธิ์การไหล	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ
	V (m/s)	Q (m^3/s)	C_s	Manning's n
คลองส่งน้ำสายซอย 50L	0.653	0.383	0.118	0.034
คลองส่งน้ำสายซอย 51L	1.237	0.880	0.181	0.017
คลองส่งน้ำสายซอย 52L	1.155	1.445	0.354	0.012
คลองส่งน้ำสายซอย 54L	1.413	1.520	0.371	0.014
คลองส่งน้ำสายซอย 58L	1.146	1.404	0.718	0.017
คลองส่งน้ำสายซอย 59L	0.822	0.899	0.256	0.018
คลองส่งน้ำสายซอย 60L	0.686	0.532	0.142	0.027
คลองส่งน้ำสายซอย 61L	0.770	0.652	0.130	0.014
คลองส่งน้ำสายซอย 62L	0.786	0.963	0.193	0.025
คลองส่งน้ำสายซอย 64L	0.509	1.226	0.210	0.030
คลองส่งน้ำสายซอย 66L	0.519	1.106	0.571	0.038

3) ควรมีการสอบเทียบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลทุกๆ 5 ปี เป็นอย่างน้อย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งน้ำและการบริหารจัดการน้ำของโครงการ

4) ควรมีการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลของอาคารชลประทานทั้งในกรณีการไหลเป็นแบบการไหลอิสระ และการไหลแบบจม

5) อาคารชลประทานบางอาคาร เมื่อมีการซ่อมแซม หรือปรับปรุงใหม่ก็ควรมีการวัดความเร็วกระแสน้ำ เพื่อตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลที่เป็นจริงใหม่ทั้งหมด

หากจะมีการพัฒนาแบบจำลองการบริหารคลองส่งน้ำเพิ่มเติม อาจพิจารณานำแนวคิดหรือเทคนิคใหม่ๆ ตลอดจนอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ เข้ามาช่วยในการบริหารจัดการระบบส่งน้ำเพื่อให้การบริหารจัดการน้ำเพื่อการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรมโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาคำแนะนำในเรื่องการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ และสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Chinnarasri, O. Kamnoet, and P. Sutasuntorn, “Situations and suggestions for the national policy regarding water resources management,” *KMUTT Research And Development Journal*, vol. 39, no. 1, pp. 63–84, 2016 (in Thai).

[2] V. Varawoot, *Advanced Water Management*, 1st ed. Nakhon Pathom: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, 1995, pp. 1–2 (in Thai).

[3] Bureau of water management and Hydrology, “Water management and hydrology,” Royal Irrigation Department, Bangkok, Thailand, pp. 2, 1982 (in Thai).

[4] V. Sriwongsa and V. Vudhivanich, “Kamphaengsean canal automation system,” *Kamphaengsaen Academic Journal*, vol. 5, no. 3, pp. 36–44, 2007 (in Thai).

[5] U. Soteyome, V. Vudhivanich, S. Model, S. Step, and D. Wave, "Canal operation model (COM)," *The Journal of KMUTNB*, vol. 22, no. 3, pp. 539–548, 2012 (in Thai).

[6] S. Chuenwaja, "Determination of Manning's roughness coefficient in concrete lined canal," *Kasetsart Engineering Journal*, vol. 15, pp. 21–30, 1991 (in Thai).

[7] Operation and Maintenance Branch 4. (2020). *Kui Buri District, Prachuap KhiriKhan Province* [Online]. Available: http://irrigation.rid.go.th/rid14/gis/pic/images_prajoub/prajoub_4_06

[8] Operation and Maintenance Branch 4. (2020). *Kui Buri District, Prachuap KhiriKhan Province* [Online]. Available: http://irrigation.rid.go.th/rid14/pranburi/home.htm

[9] K. Pongput, *Irrigation Maintenance and Operations Learning Process*, 1st ed., Bangkok: Kasetsart University, pp. 311, 1999 (in Thai).

[10] P. Collar and G. Griffiths, "Single point current meters," *Encyclopedia of Ocean Sciences*, vol. 5, pp. 206–212, 2019.

[11] P. Pholpananavee. (2011, July). *Principles for calculating the amount of water passing through buildings* [Online]. Available: http://www.hydro-2.com/OLDVERSION/HD-00/Document/news56_pramoht.pdf

[12] V. T. Chow, "Values of roughness coefficient 'n' (uniform flow)," *in Open Channel Hydraulics*. Mcgraw Hill 1959, pp. 206.

[13] K. Chalong, *Management of Thai's Basin*. Bangkok: OCEAN Blue Print Co., Ltd, 1985, pp. 295 (in Thai).

[14] Royal Irrigation Department, "*Guide to care and maintenance of irrigation buildings and irrigation systems*," Bangkok, pp. 10, 2016 (in Thai).

[15] Royal Irrigation Department, *Manual for Calculating the Amount of Water Passing Through Irrigation Structure*. Bangkok, pp. 34, 2015 (in Thai).

[16] P. Eiangthong, S. Jongmee, and S. Suntornmanechot, "Calibrating discharge coefficient of irrigation structures: Case study of Song Phi Nong operation and maintenance project, Suphan Buri province." Department of Civil Engineering – Irrigation, Faculty of Engineering, Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 2009 (in Thai).