

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ในลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

The relationship between the water level and the flow cross-sectional area of the river In the Northeastern Basin of Thailand

โกวิท บุญรอด^{1*} สมพินิจ เหมืองทอง² หริส ประสารมณี³ และ วินัย เขาวนวิวัฒน์⁴

¹ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร

² สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศูนย์กลางนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

³ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

⁴ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: kowitz.bo@muti.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ในลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพิจารณา ณ ตำแหน่งที่สถานีติดตั้งโทรมาตรวัดระดับน้ำของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำชี และลุ่มน้ำมูล จำนวนทั้งสิ้น 10 สถานี กับการตรวจวัดความเร็วการไหลด้วยเครื่องวัดกระแสด้วยคลื่นเสียง (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) ทำการเก็บข้อมูลในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง จากนั้นนำผลการทดสอบในภาคสนามมาวิเคราะห์ความเร็วการไหล อัตราการไหลเฉลี่ยของลำน้ำและข้อมูลพื้นที่หน้าตัดการไหล ถูกนำมาแปรผลเพื่อทำการต่อขยายข้อมูลค่าระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ โดยพิจารณาจากการขึ้น-ลงของระดับน้ำ ในรูปแบบอนุกรมเวลา ผลที่ได้คือ ความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดกับความลึกของการไหลในช่วงค่าระดับต่าง ๆ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวัดอัตราการไหลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายวีดิโอร่วมกับข้อมูลระดับน้ำจากสถานีโทรมาตรของ สสน.

คำสำคัญ: ระดับน้ำ, พื้นที่หน้าตัดการไหล, ความเร็วการไหล, ความลึกของการไหล, เครื่องวัดกระแสด้วยคลื่นเสียง

Abstract

The purpose of this research was to find the relationship between the water level and the cross-sectional area of the river in the Northeastern watershed by considering at the location of the hydrometer installation station of the Hydro-Informatics Institute (HII) in the Mekong, Chi and Mun rivers Total of 10 stations with flow velocity measurement with Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) data were collected during the rainy and

dry seasons. The results of the field tests were then used to analyze the flow velocity. Mean flow rate and flow cross-sectional data. The results were used to expand the water level and river flow cross-sectional data. Considering the rise and fall of the water level in a time-series model, the result is the correlation of the cross-sectional area and the flow depth at different ranges of values. It is part of the development of applications for measuring flow rates using video imaging techniques. Together with the water level data from the HII telemeter station.

Keywords: water level, cross-sectional area, flow velocity, flow depth, Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

1. คำนำ

การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ในลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวัดอัตราการไหลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายวีดิโอร่วมกับข้อมูลระดับน้ำจากสถานีโทรมาตร [1] เพื่อการติดตามสถานการณ์น้ำท่า ใช้ประกอบการวางแผนการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ การติดตามสภาพน้ำท่วม และการจัดสรรน้ำ ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำจนถึงพื้นที่ท้ายน้ำ ปัจจุบันการตรวจวัดอัตราการไหลในลำน้ำใช้ค่าระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าร่วมกับโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหล (Rating curve) โดยการปฏิบัติงานวัดระดับน้ำและนำมาวิเคราะห์เป็นค่าอัตราการไหล แต่ก่อนที่จะได้ค่าอัตราการไหลจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำก่อน โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องวัดโปรไฟล์ความเร็วกระแสน้ำแบบดอปเปลอร์ [2] (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) หลักการของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

โดยเครื่อง ADCP จะปล่อยคลื่นเสียงอุลตราโซนิกสะท้อนอนุภาคในน้ำ กลับมายังเครื่อง ADCP ความถี่ของคลื่นเสียงจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความเปลี่ยนแปลงของความถี่สัมพันธ์แปรโดยตรงกับความเร็วกระแสน้ำ สามารถใช้งานได้ในทางน้ำเปิด เมื่อเครื่อง ADCP เคลื่อนที่ตัดลำนน้ำจากตลิ่งฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งหนึ่ง คลื่นเสียงจะตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำของแต่ละจุดตลอดความลึกในแนวตั้ง ซึ่งเมื่อคูณกับพื้นที่หน้าตัดขวางของการไหลจะได้อัตราการไหลทั้งหมดที่ผ่านหน้าตัดนั้น

ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง จากนั้นนำผลการทดสอบในภาคสนามมาวิเคราะห์ความเร็วการไหล อัตราการไหลเฉลี่ยของลำนน้ำและข้อมูลพื้นที่หน้าตัดการไหล พบว่าข้อมูลในช่วงฤดูฝนที่ลงไปทดสอบภาคสนามจะเป็นข้อมูลระดับน้ำที่สูงสุดแค่ช่วงเวลาเก็บข้อมูล ถ้าหากค่าระดับน้ำสูงกว่านี้หรือถึงระดับตลิ่ง ก็ไม่สามารถหาข้อมูลระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำนน้ำได้ช่วงนั้นได้ จำเป็นนำข้อมูลที่ได้นำมาแปรผลเพื่อทำการต่อขยายข้อมูลค่าระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำนน้ำในค่าระดับน้ำที่สูงกว่า จึงเป็นที่มาของการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำนน้ำดังกล่าว

2. วิธีการศึกษา

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำนน้ำ ใช้วิธีการหาค่าปริพันธ์แบบจำกัดเขต [3] คือการหาค่าพื้นที่ใต้โค้งที่สอดคล้องกับช่วงที่กำหนด กระบวนการนี้ทำได้โดยขั้นตอนการประมาณค่าปริพันธ์ที่เรียกว่า การหาค่าปริพันธ์เชิงตัวเลข (numerical integration) ฟังก์ชันจะมีตัวแปรในสมการแบบตัวแปรเดียวที่เรียกว่า ควอดราเจอร์ (quadrature) กระบวนการนี้จะใช้สมการการหาพื้นที่มาตรฐานตามแบบของนิวตัน-คอต (Newton-Cote's quadrature formula) สูตรมาตรฐานของแบบควอดราเจอร์ (quadrature formula) แสดงในสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (3)

$$I = \int_a^b f(x)dx \quad (1)$$

เมื่อ $f(x)$ = ค่าฟังก์ชันของตัวแปร $x = x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$

แบ่งช่วงของ a, b ออกเป็น n ส่วนเท่าๆ กันให้ความกว้างเป็น w ดังนั้น $x_0=a, x_1=x_0+w, x_2=x_0+2w, \dots, x_n=x_0+nw=b$ แล้วจะได้

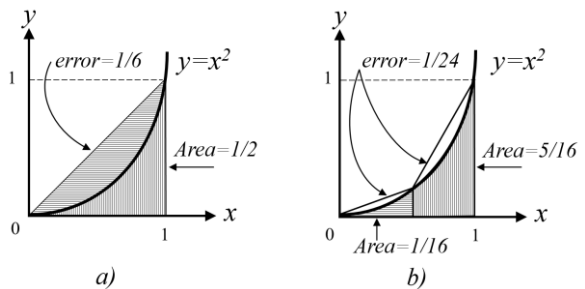
$$\begin{aligned} I &= \int_{x_0}^{x_0+nw} f(x)dx \quad \text{ให้ } x=x_0+rw \text{ และ } dx=rw \\ &= w \int_0^n f(x_0+rw)dr \\ &= w \int_0^n \left[y_0 + r\Delta y_0 + \frac{r(r-1)}{2!} \Delta^2 y_0 + \frac{r(r-1)(r-2)}{3!} \Delta^3 y_0 \right] dr \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \frac{r(r-1)(r-2)(r-3)}{4!} \Delta^4 y_0 + \frac{r(r-1)(r-2)(r-3)(r-4)}{5!} \Delta^5 y_0 \\ &+ \frac{r(r-1)(r-2)(r-3)(r-4)(r-5)}{6!} \Delta^6 y_0 \dots \end{aligned} \quad (2)$$

โดยการใช้สูตรหาค่าในช่วงไปข้างหน้าของนิวตัน ทำการหาปริพันธ์ของแต่ละเทอม [3] จะได้

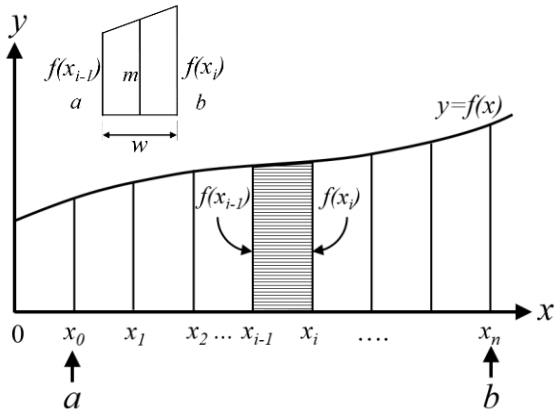
$$\begin{aligned} I &= \int_{x_0}^{x_0+nw} f(x)dx = nw \left[y_0 + \frac{n}{2} \Delta y_0 + \frac{n(2n-3)}{12} \Delta^2 y_0 \right. \\ &+ \frac{n(n-2)^2}{24} \Delta^3 y_0 + \left(\frac{n^4}{5} - \frac{3n^3}{2} + \frac{11n^2}{3} - 3n \right) \frac{\Delta^4 y_0}{4!} \\ &+ \left(\frac{n^5}{6} - 2n^4 + \frac{35n^3}{4} - \frac{50n^2}{3} + 12n \right) \frac{\Delta^5 y_0}{5!} \\ &\left. + \left(\frac{n^6}{7} - \frac{15n^5}{6} + 17n^4 - \frac{225n^3}{4} + \frac{274n^2}{3} - 60n \right) \frac{\Delta^6 y_0}{6!} + \dots \right] \quad (3) \end{aligned}$$

การศึกษานี้ใช้วิธีการประมาณด้วยทฤษฎีสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Method) วิธีนี้จะหาพื้นที่ใต้โค้ง โดยการประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู [3] ซึ่งได้จากการแบ่งพื้นที่ใต้โค้งออกเป็นส่วนย่อย n ส่วนเท่าๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยหากการพื้นที่ของสี่เหลี่ยมคางหมูแต่ละรูปแล้วนำพื้นที่ของแต่ละรูปมารวมกันจะได้คำตอบเป็นค่าปริพันธ์ของฟังก์ชัน $f(x)$ ในช่วงตัวแปร x เปลี่ยนแปลงเมื่อพิจารณาจากรูป รูปที่ 1 a) ถึง b)



รูปที่ 1 a) การประมาณพื้นที่ใต้โค้งด้วยสามเหลี่ยม b) แบ่งพื้นที่ใต้โค้งเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู [3]

ในรูปที่ 1 a) เราจะประมาณพื้นที่ใต้โค้งด้วยรูปสามเหลี่ยม ซึ่งจะมี ความคลาดเคลื่อน (error) มากกว่าที่ควรเป็น ถ้าแบ่งพื้นที่ใต้โค้งเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูตามรูปที่ 1 b) จะเห็นว่ามี ความคลาดเคลื่อนลดลง ดังนั้น ถ้าแบ่งพื้นที่ใต้โค้งออกเป็นส่วนย่อยๆ มากขึ้นจะทำให้มีความถูกต้องดีกว่า ในทางทฤษฎีจะคิดที่จำนวนเป็นอนันต์ เพื่อให้มีความถูกต้องที่สมบูรณ์ แต่ ความคลาดเคลื่อนจะมาจาก การปัดค่าแทน โดยทั่วไป การหาค่าปริพันธ์ของฟังก์ชัน $f(x)$ จาก $x=a$ ถึง $x=b$ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การหาค่าปริพันธ์ด้วยวิธีสี่เหลี่ยมคางหมู [3]

โดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู แบ่งช่วงขีดจำกัดเริ่มจาก a ถึง b ออกเป็น ส่วนย่อย n ส่วนเท่าๆ กัน จะได้สี่เหลี่ยมคางหมูที่มีขอบเขตของแต่ละส่วน อยู่ที่ตำแหน่ง $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ พิจารณาที่สี่เหลี่ยมลำดับ i ซึ่งอยู่ระหว่าง x_{i-1} และ x_i จะมีความกว้าง ความสูงด้านซ้าย และความสูงด้านขวาเป็น $w = \frac{b-a}{n}, f(x_{i-1})$ และ $f(x_i)$ จะคำนวณหาพื้นที่ได้จากสมการ $A_i = \frac{w}{2}(f(x_{i-1}) + f(x_i))$ ซึ่งได้มาจากสูตรการหาพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู $A = mw$ โดยที่ $m = 1/2(a+b)$ เมื่อแทน m จะได้ $A = 1/2(a+b)w$

พื้นที่ทั้งหมดของสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน n รูป ใช้แทนเป็นค่าปริพันธ์ [3] ดังแสดงในสมการที่ (4) เมื่อกำหนดให้ T_n เป็นผลรวมของพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูแต่ละรูป จะได้

$$\begin{aligned} T_n &= A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} + A_n \\ &= \frac{w}{2}[f(x_0) + f(x_1)] + \frac{w}{2}[f(x_1) + f(x_2)] + \frac{w}{2}[f(x_2) + f(x_3)] \\ &+ \dots + \frac{w}{2}[f(x_{n-2}) + f(x_{n-1})] + \frac{w}{2}[f(x_{n-1}) + f(x_n)] \\ &= \frac{w}{2}[f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)] \end{aligned} \quad (4)$$

ซึ่งพิจารณาจากสมการพบว่าความถูกต้องของวิธีสี่เหลี่ยมคางหมู ขึ้นอยู่กับจำนวนของสี่เหลี่ยมคางหมูที่ใช้ในการประมาณค่า และนอกจากนี้ จะได้พื้นที่เป็นเส้นตรง สามารถใช้สี่เหลี่ยมคางหมูเพียงรูปเดียวได้ ขณะที่พื้นที่ภายใต้โค้งที่มีโค้งเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว หลายโค้ง ในทางทฤษฎี ต้องใช้สี่เหลี่ยมคางหมูหลายรูป ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงเรื่องของการเร็วในการคำนวณ และความผิดพลาดที่เกิดจากการปัดค่าตัวเลข แล้วปรากฏว่า

จำนวนสี่เหลี่ยมที่ใช้จะมีจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่เหมาะสมและให้ผลดีกว่า จำนวนที่มากเกินไป

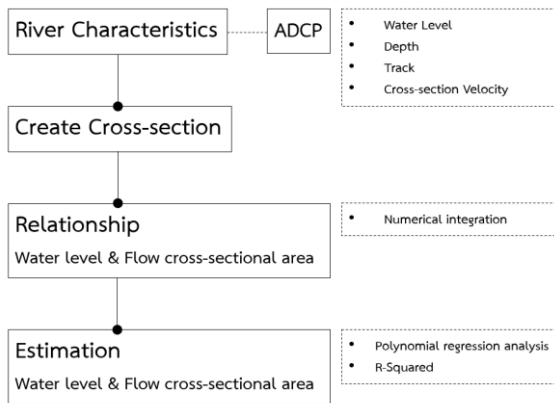
เมื่อได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ด้วยวิธีการหาค่าปริพันธ์แบบจำกัดเขต จากนั้นทำการต่อขยายข้อมูลค่าระดับน้ำ และพื้นที่หน้าตัดลำน้ำด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนาม [4] (Polynomial regression analysis) เป็นการสร้างสมการในรูปแบบของพหุนาม และข้อมูลมีการกระจายแบบไม่เชิงเส้น แต่ยังคงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว คือ ตัวแปร x และตัวแปร y หรือฟังก์ชัน $f(x)$ หากข้อมูลที่ต้องการนำมาวิเคราะห์มี n ข้อมูล กล่าวคือ y_i และ x_i เมื่อ $(i=1, 2, 3, \dots, n)$ ในรูปสมการถดถอยแบบพหุนามทั่วไป ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$y = f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (5)$$

เมื่อ $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ คือ ค่าคงที่ที่ต้องการหา

2.2 กรอบแนวคิดในการศึกษา

การหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ในลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวัดอัตราการไหลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายวิดีโอร่วมกับข้อมูลระดับน้ำจากสถานีโทรมาตร เมื่อทางผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ภาคสนามทำการเก็บข้อมูลในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความเร็วการไหล อัตราการไหลเฉลี่ยของลำน้ำและข้อมูลพื้นที่หน้าตัดการไหล พบว่าข้อมูลในช่วงฤดูฝนที่ลงไปทดสอบภาคสนามจะเป็นข้อมูลระดับน้ำที่สูงสุดแค่ช่วงเวลาเก็บข้อมูล ถ้าหากค่าระดับน้ำสูงเกินไปหรือถึงระดับตลิ่ง ไม่สามารถหาข้อมูลระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำได้ช่วงนั้นได้ จำเป็นนำข้อมูลที่ได้อ มาแปรผลเพื่อทำการต่อขยายข้อมูลค่าระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ในค่าระดับน้ำที่สูงกว่า โดยทำการสร้างกรอบแนวคิดการศึกษาเริ่มต้นมาจาก การนำข้อมูลภาคสนาม ที่ได้จากเครื่องมือ ADCP ได้แก่ ค่าระดับน้ำ ตำแหน่งความลึกของท้องน้ำ ณ จุดตรวจวัดต่างๆ ความเร็วของการไหลในหน้าตัดลำน้ำ เป็นต้น นำมาสร้างพื้นที่หน้าตัดการไหล จากนั้นคำนวณพื้นที่หน้าตัดการไหล เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ด้วยวิธีการหาค่าปริพันธ์เชิงตัวเลข (numerical integration) จากนั้นทำการต่อขยายข้อมูลค่าระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ณ ตำแหน่งที่สูงกว่า ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial regression analysis) สร้างสมการในรูปแบบของพหุนาม และข้อมูลมีการกระจายแบบไม่เชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดในการศึกษา

2.3 พื้นที่ศึกษา

การคัดเลือกและกำหนดตำแหน่งการตรวจวัดเบื้องต้นเป็นการพิจารณา ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งสถานีโทรมาตรวัดระดับน้ำของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียง ตามลุ่มน้ำหลัก ได้แก่ ลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำชี และลุ่มน้ำมูล หลังจากที่ได้ลงพื้นที่และนำเสนอพิจารณา ร่วมกับคณะกรรมการ ได้ผลการคัดเลือกสถานีตรวจวัด 10 จุด รายละเอียดตำแหน่งของสถานีตรวจวัดที่ได้ทำการคัดเลือกเพื่อสำรวจภาคสนาม ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 4 จากนั้นจึงวางแผนลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูล ณ จุดที่คัดเลือกทั้ง 10 สถานี โดยได้มีการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ วางแผนสำรวจตำแหน่ง และประชุมหารือวิธีการตรวจวัดในภาคสนามอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งรายละเอียดข้อมูลได้แสดงต่อไปนี้

ตารางที่ 1 สถานีตรวจวัดน้ำที่คัดเลือก 10 สถานี

ลำดับ	สถานี	ลุ่มน้ำ	แม่น้ำ	รายละเอียด
1	SKM001	โขง	สงคราม	อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร
2	TBW027	โขง	น้ำอูน	อ.พรรณานิคม จ.สกลนคร
3	TBW028	โขง	น้ำยาม	อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร
4	CHI006	ชี	ชี	อ.เมือง จ.ขอนแก่น
5	CHI011	ชี	ชี	อ.เขื่องใน จ.อุบลราชธานี
6	CHI012	ชี	ชี	อ.เมือง จ.มหาสารคาม
7	CHI015	ชี	พอง	อ.เมือง ขอนแก่น
8	MUN009	มูล	ชี	อ.เมือง จ.สุรินทร์
9	MUN015	มูล	มูล	อ.ท่าตูม จ.สุรินทร์
10	MUN017	มูล	ลำเขบาย	อ.เขื่องใน จ.อุบลราชธานี

ตำแหน่งตรวจวัดในลุ่มน้ำโขง (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

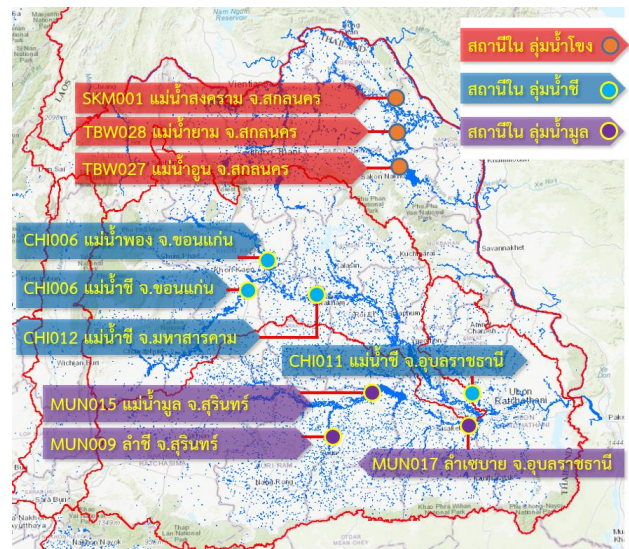
- 1) สถานี SKM001 อากาศอำนวย ต.โพนงาม อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร
พิกัด LAT 17.7775 LONG 104.0510
- 2) สถานี TBW027 ลำน้ำอูน ต.สว่าง อ.พรรณานิคม จ.สกลนคร
พิกัด LAT 17.3227 LONG 103.9792
- 3) สถานี TBW028 บ้านโพธิ์ชัยทอง ต.อากาศ อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร
พิกัด LAT 17.5996 LONG 103.9808

ตำแหน่งตรวจวัดในลุ่มน้ำชี

- 4) สถานี CHI006 บ้านหนองบัวดีหมี ต.ท่าพระ อ.เมือง จ.ขอนแก่น
พิกัด LAT 16.3259 LONG 102.786
- 5) สถานี CHI011 เขื่องใน ต.เขื่องใน อ.เขื่องใน จ.อุบลราชธานี
พิกัด LAT 15.3224 LONG 104.5465
- 6) สถานี CHI012 บ้านดินดำ ต.แก้ง อ.เมือง จ.มหาสารคาม
พิกัด LAT 16.2322 LONG 103.2711
- 7) สถานี CHI015 สะพานฉลอง 200 ปี ต.หนองตม อ.เมือง จ.ขอนแก่น
พิกัด LAT 16.5290 LONG 102.9060

ตำแหน่งตรวจวัดในลุ่มน้ำมูล

- 8) สถานี MUN009 เมืองสุรินทร์ ต.ตระแสง อ.เมือง จ.สุรินทร์
พิกัด LAT 14.8755 LONG 103.3786
- 9) สถานี MUN015 ท่าตูม ต.ทุ่งกลา อ.ท่าตูม จ.สุรินทร์
พิกัด LAT 15.3297 LONG 103.6826
- 10) สถานี MUN017 เมืองอุบลฯ ต.หัวดอน อ.เขื่องใน จ.อุบลราชธานี
พิกัด LAT 15.3277 LONG 104.6818



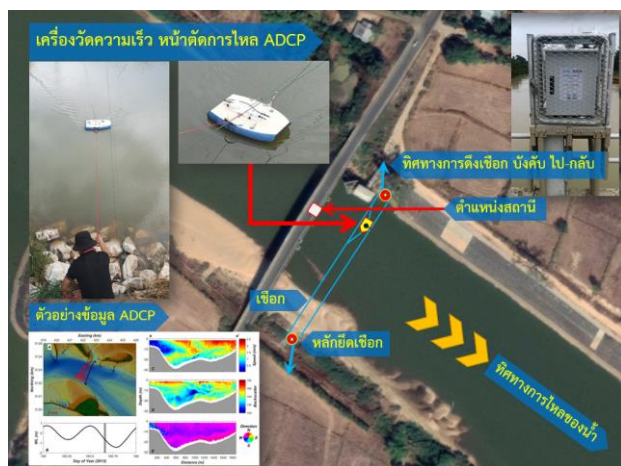
รูปที่ 4 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วการไหลและอัตราการไหล

2.4 การสำรวจหน้าตัดการไหล ความเร็วการไหล และอัตราการไหลด้วยเครื่องวัดโปรไฟล์ความเร็วกระแสน้ำแบบดอปเปลอร์

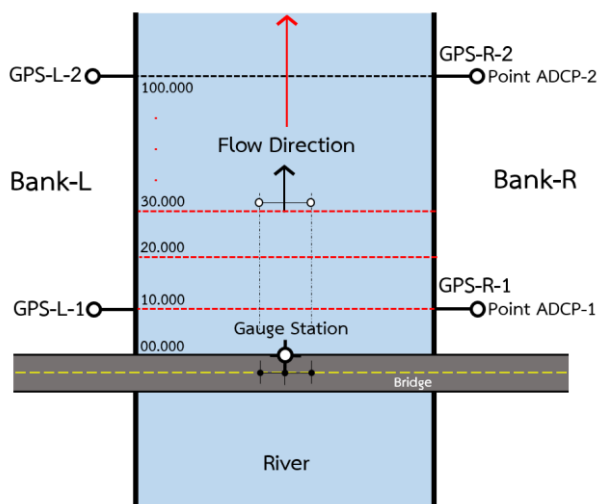
การสำรวจหน้าตัดการไหล วัดความเร็วการไหล และอัตราการไหลด้วยเครื่องวัดโปรไฟล์ความเร็วกระแสน้ำแบบดอปเปลอร์ (ADCP) ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง 10 สถานี ดำเนินการโดยการตรวจวัดในลักษณะของการลากเครื่อง ADCP ตัดลำน้ำตามขวาง จากตลิ่งฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งหนึ่ง คลื่นเสียงของเครื่อง ADCP จะตรวจวัดความเร็วของกระแสและความลึกของลำน้ำของแต่ละในแนวตั้งตามระยะทางที่ลากเคลื่อนผ่านไป เครื่อง ADCP ตรวจวัดและส่งสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีโปรแกรมสำหรับจัดเก็บวิเคราะห์ และสามารถประมวลผลในลักษณะแบบเรียลไทม์ ซึ่งผลที่เครื่อง

ADCP ประมวลผลได้จะแสดงให้เห็นเป็นค่าความเร็วการไหลที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางและความลึกของน้ำตามหน้าตัดลำน้ำ รวมถึงการแสดงผลข้อมูลอัตราการไหล ทั้งนี้ข้อมูลต่าง ๆ ได้ถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าความเร็ว และอัตราการไหลร่วมกับอัลกอริทึมคำนวณอัตราการไหลที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

สำหรับในขั้นตอนการเก็บข้อมูลความเร็วและอัตราการไหล คณะผู้วิจัยได้กำหนดให้ลากเครื่อง ADCP ตัดลำน้ำไปและกลับ คิดเป็น 1 รอบของการวัดค่า โดยแต่ละสถานีตรวจวัดได้ดำเนินการอย่างน้อย 3 รอบ ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลความยาวลำน้ำ (ตามขวาง) พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ ความเร็วการไหลเฉลี่ย และอัตราการไหลเฉลี่ย ทั้งนี้ข้อมูลความเร็วการไหล (แสดงผลด้วยเดคซี) อัตราการไหล และความลึก ที่ได้จากเครื่อง ADCP เป็นการบันทึกทุกระยะความลึก 0.20 – 0.30 เมตร โดยข้อมูลดังกล่าว ถูกจัดรูปแบบเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมการคำนวณความเร็วไหลของกระแสน้ำเมื่อบันทึกภาพวิดีโอที่ระยะต่าง ๆ ตามแนวตัดขวางของลำน้ำ ขั้นตอนการสำรวจในภาคสนาม ณ ตำแหน่งที่คัดเลือกในภาพรวม ดังแสดงในรูปที่ 5, 6



รูปที่ 5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่อง ADCP

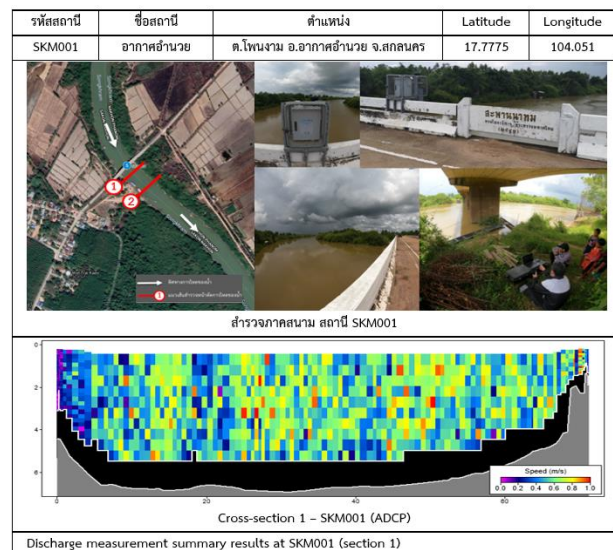


รูปที่ 6 การสำรวจความเร็วการไหลและหน้าตัดลำน้ำด้วยเครื่อง ADCP

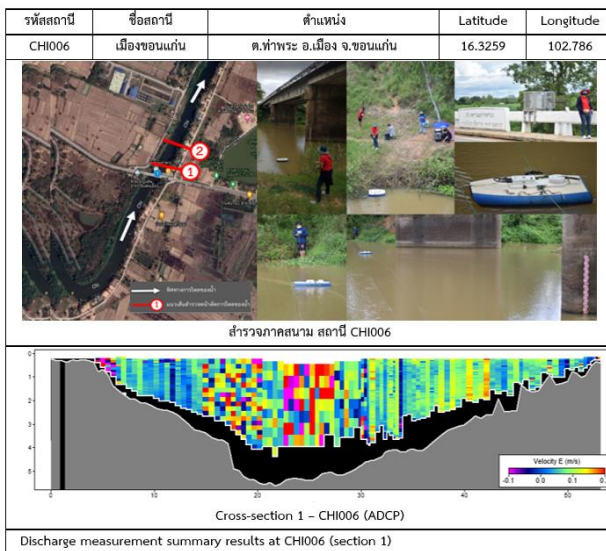
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การสำรวจความเร็วการไหลและหน้าตัดลำน้ำด้วยเครื่อง ADCP ในช่วงฤดูฝน-ฤดูแล้ง

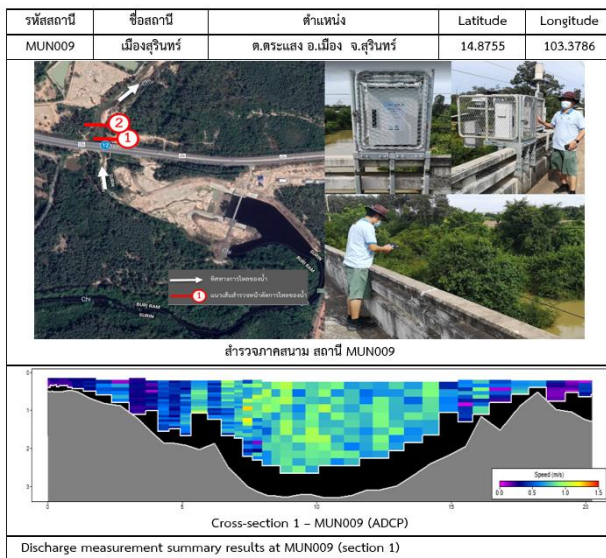
การลงพื้นที่เพื่อสำรวจความเร็วการไหลและหน้าตัดลำน้ำในช่วงฤดูฝน-ฤดูแล้ง คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการในช่วงเดือนสิงหาคม - กันยายน พ.ศ. 2564 และในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 – มกราคม 2565 โดยดำเนินการทั้ง 10 สถานี ของทั้ง 3 ลุ่มน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งนี้เนื่องจากผลของข้อมูลมีจำนวนมาก จะแสดงตัวอย่างผลการสำรวจหน้าตัดการไหลและวัดความเร็วการไหลด้วยเครื่อง ADCP หน้าตัดที่ 1 ช่วงฤดูฝน ตัวอย่างข้อมูลของสถานี SKM001 (ลุ่มน้ำโขง) สถานี CHI006 (ลุ่มน้ำชี) และสถานี MUN009 (ลุ่มน้ำมูล) ดังแสดงในรูปที่ 7-9 ผลการสำรวจความเร็วการไหลและหน้าตัดลำน้ำในช่วงฤดูฝน-ฤดูแล้ง ทั้ง 10 สถานี ได้จัดแสดงไว้ตารางที่ 2 และตารางที่ 3



รูปที่ 7 ผลการดำเนินการสำรวจภาคสนาม ณ สถานี SKM001 (ลุ่มน้ำโขง)



รูปที่ 8 ผลการดำเนินการสำรวจภาคสนาม ณ สถานี CHI006 (ลุ่มน้ำชี)



รูปที่ 9 ผลการดำเนินการสำรวจภาคสนาม ณ สถานี MUN009 (ลุ่มน้ำมูล)

ตารางที่ 2 ผลการสำรวจพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ ความเร็วการไหลเฉลี่ย และอัตราการไหล จากเครื่อง ADCP ช่วงฤดูฝน

No.	Station Name	Width (m)	Area (m ²)	Mean speed (m/s)	Total discharge (m ³ /s)
1	CHI006 ลำน้ำชี	50.36	148.98	0.11	15.68
2	CHI011 ลำน้ำชี	94.90	724.35	0.68	489.73
3	CHI012 ลำน้ำชี	62.96	90.52	0.38	34.61
4	CHI015 ลำน้ำพอง	46.93	69.78	0.17	11.63
5	SKM001 ลำน้ำสงคราม	88.75	519.82	0.56	290.11
6	TWB027 ลำน้ำอูน	37.17	119.18	0.13	14.92
7	TWB028 ลำน้ำยาม	42.36	163.97	0.10	16.29
8	MUN009 ลำน้ำมูล	23.06	37.60	0.60	22.44
9	MUN015 ลำน้ำมูล	74.08	127.05	0.42	53.58
10	MUN017 ลำเซบาย	56.96	245.32	0.51	124.70

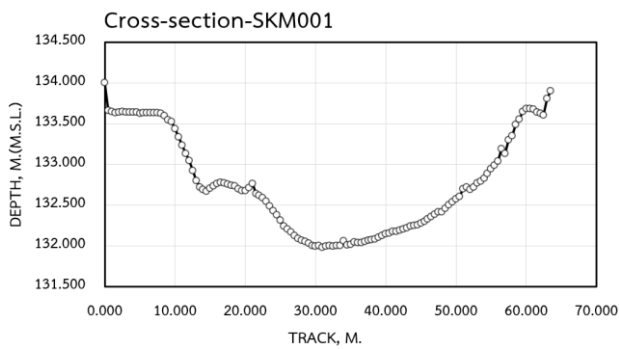
ตารางที่ 3 ผลการสำรวจพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ ความเร็วการไหลเฉลี่ย และอัตราการไหล จากเครื่อง ADCP ช่วงฤดูแล้ง

No.	Station Name	Width (m)	Area (m ²)	Mean speed (m/s)	Total discharge (m ³ /s)
1	CHI006 ลำน้ำชี	53.107	165.233	0.034	5.595
2	CHI011 ลำน้ำชี	93.00	709.86	0.66	470.34
3	CHI012 ลำน้ำชี	76.85	281.48	0.28	78.56
4	CHI015 ลำน้ำพอง	46.08	68.53	0.16	11.22
5	SKM001 ลำน้ำสงคราม	58.722	82.833	0.023	1.874
6	TWB027 ลำน้ำอูน	56.65	181.64	0.19	35.07
7	TWB028 ลำน้ำยาม	39.58	163.67	0.22	36.69
8	MUN009 ลำน้ำมูล	15.31	19.52	0.32	6.22
9	MUN015 ลำน้ำมูล	83.45	217.02	0.539	116.90
10	MUN017 ลำเซบาย	55.82	240.41	0.50	119.76

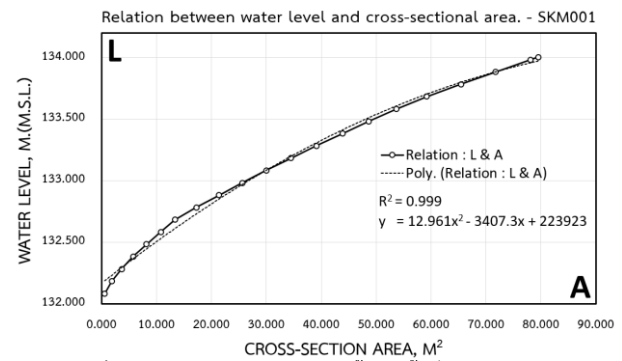
ผลจากการลงพื้นที่พบอุปสรรคในช่วงฤดูแล้ง ในบางสถานีการไหลของน้ำในลำน้ำมีการไหลค่อนข้างต่ำ ทำให้ผลข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน ต้องลงพื้นที่เก็บข้อมูลซ้ำหลายรอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและน่าเชื่อถือ

3.2 ผลสำรวจหน้าตัดลำน้ำด้วยเครื่อง ADCP เพื่อนำไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ

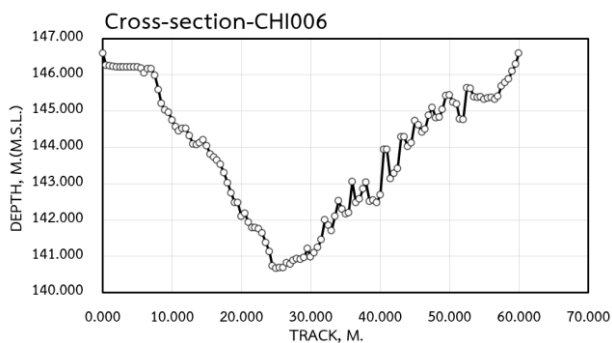
ผลการสำรวจหน้าตัดลำน้ำจากเครื่อง ADCP โดยทำการตรวจวัดพื้นที่หน้าตัด ความเร็วการไหล และอัตราการไหล บริเวณที่ห่างจากจุดติดตั้งสถานีโทรมาตรประมาณ 5 ถึง 10 เมตร ข้อมูลหน้าตัดลำน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลจะถูกนำมาแปรผล เพื่อการต่อข้อมูลค่าระดับน้ำ และพื้นที่หน้าตัดลำน้ำต่อไป ดังแสดงตัวอย่างของสถานี SKM001, CHI006 และ MUN009 ช่วงฤดูแล้ง ดังรูปที่ 10 ถึงรูปที่ 12



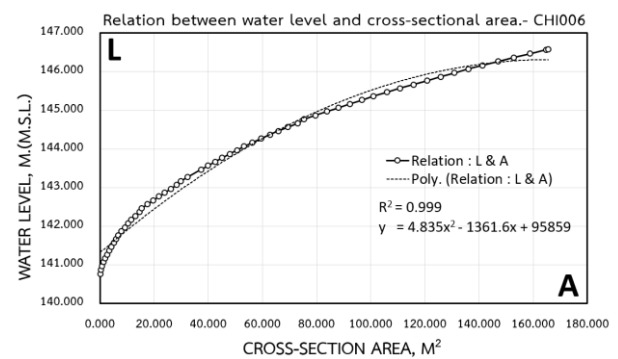
รูปที่ 10 หน้าตัดลำน้ำที่ได้จากเครื่อง ADCP
ตัวอย่างสถานี SKM001 (ลุ่มน้ำโขง)



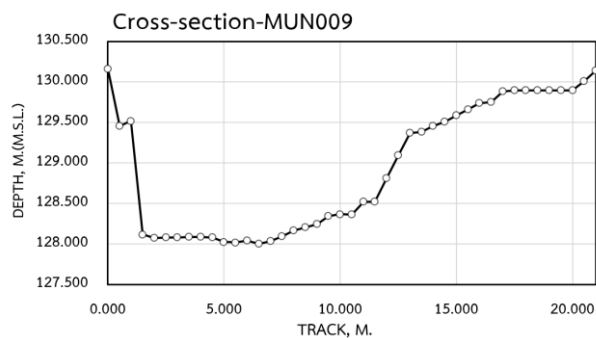
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล
ตัวอย่างสถานี SKM001 (ลุ่มน้ำโขง)



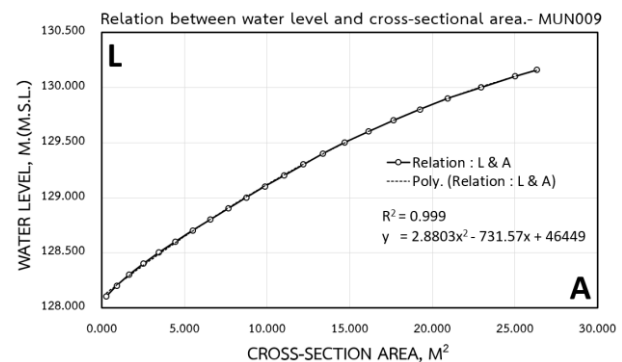
รูปที่ 11 หน้าตัดลำน้ำที่ได้จากเครื่อง ADCP
ตัวอย่างสถานี CHI006 (ลุ่มน้ำชี)



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล
ตัวอย่างสถานี CHI006 (ลุ่มน้ำชี)



รูปที่ 12 หน้าตัดลำน้ำที่ได้จากเครื่อง ADCP
ตัวอย่างสถานี MUN009 (ลุ่มน้ำมูล)



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล
ตัวอย่างสถานี MUN009 (ลุ่มน้ำมูล)

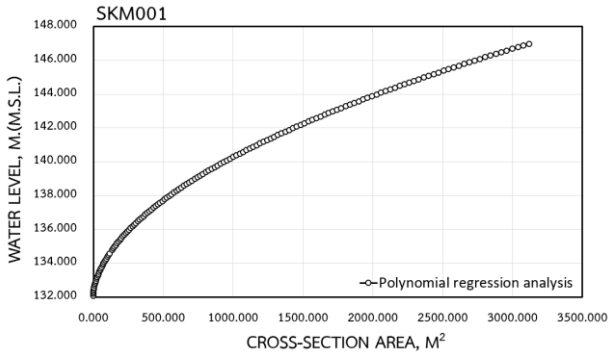
จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ใช้วิธีการหาค่าปริพันธ์แบบจำกัดเขต โดยใช้สมการการหาพื้นที่มาตรฐานตามแบบของนิวตัน-คอต (Newton-Cote's quadrature formula) ด้วยวิธีการประมาณด้วยทฤษฎีสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal method) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 13 ถึง 15

เมื่อได้ผลจากความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลของลำน้ำ ด้วยวิธีการหาค่าปริพันธ์เชิงตัวเลข ทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องระหว่างการวัดในสนามด้วยเครื่อง ADCP กับ วิธีการหาค่าปริพันธ์แบบจำกัดเขต ด้วยทฤษฎีสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในตารางที่ 4

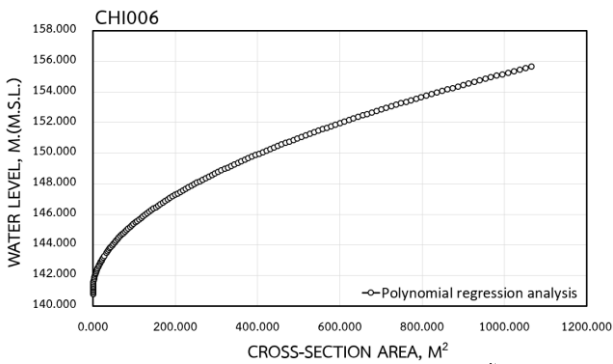
ตารางที่ 4 ตรวจสอบค่าความถูกต้องระหว่างการวัดในสนามด้วยเครื่อง ADCP กับวิธีการหาค่าปริพันธ์เชิงตัวเลข

Station	Level, m.(m.s.l.)	Cross-section area, m ²		% error
		ADCP	Numerical	
SKM001	134.050	82.833	79.520	3.9996
CHI006	146.580	165.233	165.630	0.2403
MUN009	129.802	19.5200	19.246	1.4037

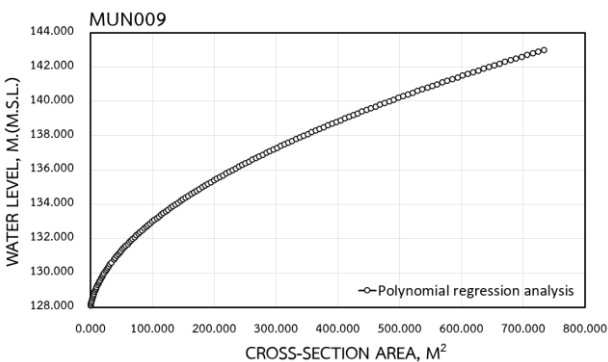
เมื่อตรวจสอบค่าความถูกต้องระหว่างการวัดในสนามด้วยเครื่อง ADCP กับ วิธีการหาค่าปริพันธ์เชิงตัวเลขแล้ว ทำการต่อข้อมูลค่าระดับน้ำ และพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนาม ตัวอย่าง ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 16 ถึง 18



รูปที่ 16 ต่อขยายข้อมูลค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล ตัวอย่างสถานี SKM001 (ลุ่มน้ำโขง)



รูปที่ 17 ต่อขยายข้อมูลค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล ตัวอย่างสถานี CHI006 (ลุ่มน้ำชี)



รูปที่ 18 ต่อขยายข้อมูลค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล ตัวอย่างสถานี MUN009 (ลุ่มน้ำมูล)

4. บทสรุป

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลในแต่ละจุดตรวจวัด โดยใช้ข้อมูลหน้าตัดการไหลภาคสนามด้วยเครื่อง ADCP กับ การวิเคราะห์พื้นที่หน้าตัดการไหลด้วยวิธีหาค่าปริพันธ์เชิงตัวเลข สร้างความสัมพันธ์ของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคาง

หมู กับ การขึ้น-ลงของระดับน้ำ ในรูปแบบอนุกรมเวลา แล้วทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องพบว่าอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.2403-3.9996 และตรวจสอบความเชื่อมั่นของข้อมูลที่คำนวณได้ด้วยวิธี R-Squared ซึ่งผลที่ได้จากตัวอย่างทั้ง 3 สถานี มีค่า 0.999 ผลจากการต่อขยายข้อมูล ในระดับที่สูงกว่าจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ และพื้นที่หน้าตัดการไหล ณ ตำแหน่งที่ต้องการหาค่า เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ร่วมกับการศึกษาการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวัดอัตราการไหลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายวีดิโอร่วมกับข้อมูลระดับน้ำ จากสถานีโทรมาตร ช่วยให้สามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลระดับน้ำจากสถานีโทรมาตรของ สสน. ผ่านการทำงานของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น และทำให้สามารถนำไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ ณ เวลานั้นในลักษณะเรียลไทม์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผลการศึกษาถือเป็นส่วนหนึ่งของโครงการ “การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวัดอัตราการไหลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายวีดิโอร่วมกับข้อมูลระดับน้ำจากสถานีโทรมาตร.” ดำเนินงานร่วมกันระหว่างสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในปีงบประมาณ 2565 ซึ่งคณะผู้ดำเนินงานขอขอบคุณการให้การสนับสนุนที่สำคัญในด้านต่าง ๆ และการให้ข้อเสนอแนะระหว่างการดำเนินงานจากผู้ทรงคุณวุฒิของ สสน. เพื่อให้โครงการเกิดการพัฒนาและมีความสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมพินิจ เหมือนทอง, หริส ประสานฉ่ำ, โกวิท บุญรอด, วิทยา ชำนาญไพโร และ ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์. (2565) รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวัดอัตราการไหลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายวีดิโอร่วมกับข้อมูลระดับน้ำจากสถานีโทรมาตร” สนับสนุนโดย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.
- [2] สมพินิจ เหมือนทอง, วินัย เขาวนวิวัฒน์, โกวิท บุญรอด, หริส ประสานฉ่ำ, และ ชนิษฐา ชัยบรรดิษฐ์ (2565). การพัฒนาแอปพลิเคชันประมวลผลภาพถ่ายวีดิโอเพื่อใช้วัดความเร็วการไหลผิวน้ำ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565, หน้า WRE02-1- WRE02-5.
- [3] กิตติวุฒิ จินนะบุตร (2546). ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับงานวิศวกรรม. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา, ISBN 974-416-598-7. หน้า 168-170.
- [4] บัณฑิต กฤตาคม (2556). ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับงานวิศวกรรม. ศูนย์ปฏิบัติการผลิตสื่อสิ่งพิมพ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, นครราชสีมา, หน้า 121.