



บทความ ทางวิชาการ

การคำนวณปริมาณการไหลในแม่น้ำภายใต้อิทธิพล ระดับน้ำทะเลด้วยความเร็วคลื่น

สำนักวิจัยและพัฒนา

ดร.สมเกียรติ อภินิพนวิศว์
กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม
สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

พฤษภาคม 2554

การคำนวณปริมาณการไหลในแม่น้ำภายใต้อิทธิพล ระดับน้ำทะเลด้วยความเร็วดัชนี

Computation of Tide-Affected River Discharge Using Index Velocity

ดร.สมเกียรติ อภิพัฒน์วิศว์^{1*}, นายสุเมธ สารุเสน², นายธาดา สุขะปทุมพันธ์³

¹ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน skavis@yahoo.com

² สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน sumet982000@yahoo.com

³ สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน thada999@yahoo.com

บทคัดย่อ

เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ (Rating Curve) มีความสำคัญต่อการบริหารจัดการน้ำ ช่วยให้ผู้บริหารน้ำสามารถติดตามปริมาณการไหลในลำน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้การติดตามสถานการณ์น้ำเป็นไปอย่างทันเหตุการณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวิกฤติน้ำหลาก อย่างไรก็ตามเส้นโค้งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ ไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้ดีกับแม่น้ำที่ไหลออกสู่ทะเล เนื่องจากหน้าตัดการไหลของแม่น้ำในช่วงที่อยู่ภายใต้อิทธิพลการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล ไม่มีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเดียว (Unique) กล่าวคือ ณ ระดับน้ำค่าหนึ่ง อาจมีค่าปริมาณน้ำได้หลายค่านั่นเอง ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเส้นโค้งความสัมพันธ์ ให้สามารถประยุกต์ใช้กับแม่น้ำที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเลได้ ซึ่งส่งผลให้การบริหารเพื่อระบายน้ำหลากลงสู่ทะเลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งนี้ โดยเพิ่มตัวแปรความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ (Mean Velocity) เข้าไปในเส้นโค้งความสัมพันธ์ และด้วยการใช้เทคโนโลยีที่ก้าวหน้า เครื่องวัดกระแสน้ำด้วยคลื่นเสียง (Acoustic Doppler Velocimeter; ADV) สามารถตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ ณ ตำแหน่งใดใดในหน้าตัดการไหลได้ตลอดเวลา ซึ่งความเร็วนี้เรียกว่า ความเร็วดัชนี (Index Velocity) จากนั้นจึงแปลงเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดการไหล ด้วย Index Velocity Rating ในการศึกษาใช้สถานีวัดน้ำ (T.1) ของกรมชลประทาน ในแม่น้ำท่าจีน อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม และผลการศึกษาพบว่า เส้นโค้งที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การคำนวณหาปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำได้อย่างแม่นยำและอย่างต่อเนื่อง ซึ่งต่างจากเดิมที่ไม่สามารถคำนวณปริมาณน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเส้นโค้งความสัมพันธ์แบบดั้งเดิมได้

* ผู้ติดต่อหลัก (Corresponding author)

ABSTRACT

Rating curve is the most frequently used methodology for continuous river discharge measurement. It helps water managers in monitoring river discharge continuously. Consequently, the managers are able to response to critical situations promptly e.g. flood period. However, this traditional rating curve is not applicable to the rivers that are under tidal effect. Due to the relationship between water level and discharge is not unique i.e. at a single value of water level, multiple values of discharges exist. The objective of this study is to develop a rating curve capable of estimating tide-affected river discharge by adding mean velocity into the relationship. Consequently, it would help in improving performance of flood management. However, to establish a reliable rating curve is difficult, takes time, and often impossible when the river discharge changes rapidly. To overcome this difficulty, new technology device i.e. Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) is used for measuring river flow velocity. This measured velocity called "Index Velocity" is then turn into mean velocity by using "Index Velocity Rating". In this study, station T.1 on the Tha Chin River at Amphoe Nakhon Chaisri, Nakhon Pathom province is selected. The result shows that the proposed rating curve provides higher accuracy in measuring river discharge than the traditional rating curve does.

คำสำคัญ: Rating Curve; Tide-Affected River Discharge; Index Velocity; Acoustic Doppler Velocity Meter; Index Velocity Rating

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การตรวจวัดปริมาณน้ำในแม่น้ำ (River Discharge; Q) ได้อย่างต่อเนื่อง ในทางปฏิบัติที่นิยมมากที่สุดคือการวัดระดับน้ำ (Stage; H) ในแม่น้ำ แล้วแปลงระดับน้ำเป็นปริมาณน้ำ โดยใช้เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ (Rating Curve) ซึ่งสร้างขึ้นจากข้อมูลที่บ้านทีกไว้ ณ หน้าตัดสถานที่พิจารณา ต่อมาเมื่อติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำแบบอัตโนมัติ ณ สถานีวัดน้ำ ก็สามารถบันทึกข้อมูลระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่อง แล้วใช้เส้นโค้งความสัมพันธ์นี้แปลงระดับน้ำเป็นปริมาณน้ำในแม่น้ำได้อย่างต่อเนื่องเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้นหากนำระบบโทรมาตรมาใช้กับสถานีวัดน้ำ ก็จะช่วยให้ผู้บริหารน้ำ สามารถติดตามและเฝ้าระวังสถานะการณน้ำ ทั้งระดับน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา

อย่างไรก็ตาม การสร้างเส้นโค้งความสัมพันธ์นี้ ใช้ระยะเวลามากและมีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากในปัจจุบันกรมชลประทานยังดำเนินการวัดปริมาณน้ำด้วยเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด (Propeller Current Meter) ซึ่งการวัดแต่ละครั้งใช้เวลานานและใช้เจ้าหน้าที่จำนวนมาก และการสร้าง

เส้นโค้งความสัมพันธ์ที่ดีต้องใช้ข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำจำนวนมาก ครอบคลุมระดับน้ำทั้งหมด ตั้งแต่ระดับน้ำต่ำ ปานกลาง และสูง ส่งผลให้ค่าดำเนินการสูง นอกจากนี้การใช้ระยะเวลานาน ในการวัดปริมาณน้ำในแม่น้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผลการวัดปริมาณน้ำมีความถูกต้องแม่นยำลดลงอีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้น ในทางปฏิบัติ วิธีการใช้เส้นโค้งความสัมพันธ์นี้ ยังต้องประสิทธิภาพเมื่อประยุกต์ใช้กับ (1) แม่น้ำที่น้ำมีการไหลย้อนกลับทิศทาง (flow reversals) (2) แม่น้ำที่น้ำมีการยกตัวของระดับผิวน้ำ (backwater effects) เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ และ (3) แม่น้ำที่มีความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน ในระหว่างช่วงน้ำขึ้นกับช่วงน้ำลงของระดับน้ำทะเล (hysteresis effects) และ 4) แม่น้ำที่มีค่าความผิดของคลองเปลี่ยนแปลง (Morlock et al, 2002)

แม่น้ำหลักของประเทศ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำบางปะกง มีปากแม่น้ำอยู่ในทะเลอ่าวไทย ทำให้การไหลของน้ำลงสู่ทะเลของแม่น้ำเหล่านี้ได้รับอิทธิพลการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย ส่งผลให้เส้นโค้งความสัมพันธ์แบบเดิมที่ใช้กันอยู่ ต้องประสิทธิภาพต่อการคำนวณปริมาณน้ำ เนื่องจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำ ไม่ได้มีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเดียว (Unique) กล่าวคือ ที่ระดับน้ำค่าหนึ่ง เมื่อเป็นช่วงน้ำขึ้น ก็มีค่าปริมาณการไหลในแม่น้ำค่าหนึ่ง แต่หากเป็นช่วงน้ำลง ที่ระดับน้ำค่าเดียวกันนี้กลับมีค่าปริมาณการไหลในแม่น้ำอีกค่าหนึ่ง ซึ่งไม่เท่ากัน ส่งผลให้เส้นโค้งความสัมพันธ์แบบเดิมนี้นำมาใช้ไม่ได้ถูกต้องแม่นยำนัก ทำให้ผู้บริหารน้ำจึงไม่สามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ 1) การพัฒนาเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับแม่น้ำที่อยู่ภายใต้อิทธิพลการขึ้นลงของน้ำทะเลได้ โดยเพิ่มความเร็วกระแสน้ำเข้าไปในความสัมพันธ์อีกตัวแปรหนึ่ง และ 2) การใช้เครื่องมือวัดน้ำสมัยใหม่ที่นำเทคโนโลยีคลื่นเสียง (Hydroacoustic Doppler Technology) มาช่วยในการตรวจวัด ระดับน้ำ ปริมาณน้ำ และความเร็วกระแสน้ำ ส่งผลให้ผลการวัดมีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น ประหยัดค่าดำเนินการ ทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยเครื่องที่ใช้ประกอบด้วย เครื่องวัดปริมาณการไหลในลำน้ำด้วยคลื่นเสียง (Acoustic Doppler River Discharge Measurement System) และ เครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียง (Acoustic Doppler Velocity Meter; ADV) ในการศึกษาผู้วิจัยเลือกสถานีวัดน้ำ T.1 ของกรมชลประทาน ในแม่น้ำท่าจีน ที่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ที่ได้รับอิทธิพลจากระดับน้ำทะเล มาเป็นกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ (Rating Curve)

เส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์ระดับน้ำ ณ หน้าตัดการไหลในลำน้ำหนึ่ง กับ ปริมาณน้ำในหน้าตัดนั้น ซึ่งแต่ละหน้าตัดการไหลในลำน้ำ จะมีค่าเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ทั้งนี้เมื่อเก็บข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำได้จำนวนมากพอ ก็สามารถนำมาเขียนเส้นโค้งความสัมพันธ์ได้

อย่างไรก็ตาม เส้นโค้งนี้แบ่งออกได้ตามลักษณะหน้าตัดลำน้ำ เป็น 2 ประเภทคือ 1) เส้นโค้งแบบถาวร (Permanent) สำหรับลำน้ำที่พื้นที่หน้าตัดการไหลไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อย และ 2) เส้นโค้งแบบเลื่อน (Shifting) สำหรับลำน้ำที่หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงมาก ในส่วนของแม่น้ำที่ไม่มีการตกหรือพัดพาตะกอน (Non-Alluvial Rivers) นั้น จะมีเส้นโค้งแบบถาวร โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คงที่ และเส้นโค้งมีความสัมพันธ์แบบพาราโบลา ดังสมการ (1)

$$Q = C(H - b)^\beta \quad (1)$$

โดย Q คือ ปริมาณน้ำในลำน้ำ (m^3/s), H คือ ระดับน้ำ (m) และ b คือ ค่าคงที่ซึ่งก็คือระดับน้ำที่ปริมาณน้ำเป็นศูนย์นั่นเอง เมื่อแปลงสมการ (1) เข้าในรูป Logarithm จะได้สมการ (2) ในรูปสมการเส้นตรง คือ

$$\log Q = \beta \log(H - b) + \log C \quad (2)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า สมการ (2) ตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่า ความสัมพันธ์นี้เป็นแบบหนึ่งเดียว (Unique) ในทางปฏิบัติ การหาค่า b , β และ C ที่นิยมที่สุด คือการใช้สมการถดถอย (Regression Equation) ต่อมา มีการประยุกต์ใช้ Artificial Neural Network (ANN) เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระดับน้ำ-ปริมาณน้ำในลำน้ำ (Tawfik et al., 1997; Jain and Chalisgaonker, 2000; Sudheer and Jain, 2003; Bhattacharya and Solomatine, 2005) และล่าสุด Ghimire and Reddy (2010) ใช้ Genetic Algorithm (GA) ร่วมกับ Model Tree (MT) เพื่อการสร้างเส้นโค้งความสัมพันธ์ขึ้นเช่นกัน

อย่างไรก็ตาม ในความจริงแล้ว ปริมาณน้ำในลำน้ำไม่ได้ขึ้นอยู่กับระดับน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับความลาดชันตามยาวของท้องน้ำ (Longitudinal Slope) รูปร่างของหน้าตัด ความหยาบของท้องน้ำ เป็นต้น รวมทั้ง ฝนที่ตกไม่สม่ำเสมอ การไหลในลำน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform flow) ทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้ไม่เป็นแบบหนึ่งเดียว ส่งผลให้ค่าที่ได้จากสมการ (2) เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น (Henderson, 1966)

2.2 วิธีดัชนีความเร็ว (Index Velocity Method)

สำนักสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Geological Survey; USGS) ได้พัฒนาวิธีดัชนีความเร็วขึ้น เพื่อใช้ตรวจสอบปริมาณน้ำในลำน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำจำพวกคลื่นเสียง (Hydroacoustic Current Meter) เช่น Acoustic Doppler Velocity Meter (ADVM), Acoustic Doppler Current Profiler (ADVP), Acoustic Velocity Meter (AVM) เป็นต้น ไว้ในหน้าตัดลำน้ำ เพื่อวัดความเร็วกระแสน้ำในบางส่วนของหน้าตัด ซึ่งความเร็วที่วัดได้นี้เรียกว่า ความเร็วดัชนี (Index Velocity) จากนั้นจึงไปหาความเร็วเฉลี่ยในหน้าตัดลำน้ำ (Mean-Channel Velocity) แล้วจึงคำนวณหาปริมาณการไหลในลำน้ำต่อไป โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐาน คือ

$$Q = V_{mean} A \quad (3)$$

โดย Q คือ ปริมาณการไหลของน้ำในลำน้ำ (m^3/s); V_{mean} คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในหน้าตัดลำน้ำ (m/s); และ A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหลในหน้าตัดการไหลนั้น (m^2) ทั้งนี้ พื้นที่หน้าตัดการไหลสามารถคำนวณได้จากความชันโค้งความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-พื้นที่การไหล (Stage-Area Rating)

ซึ่งสร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำ และพื้นที่หน้าตัดการไหล ของหน้าตัดนั้น ในส่วนของความเร็วเฉลี่ยในหน้าตัดนั้น คำนวณได้จาก ความเร็วดัชนี หรือความเร็วที่วัดได้จากเครื่องวัดกระแสน้ำจำพวกคลื่น โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วดัชนีและความเร็วเฉลี่ย (Index Velocity Rating)

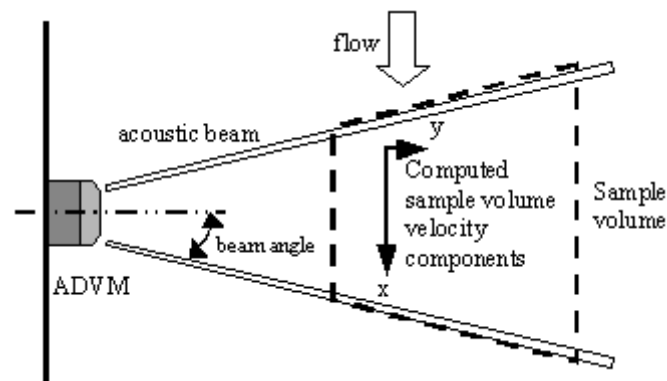
การสร้างเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วดัชนีและความเร็วเฉลี่ยในลำน้ำ มีขั้นตอนดังนี้ 1) ติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่น เช่น ADVN ที่หน้าตัดลำน้ำของสถานีวัดน้ำที่ต้องการ แล้วตั้งให้เครื่อง ADVN ทำการวัดกระแสน้ำแล้วบันทึกลงใน Data Logger 2) สำรวจหน้าตัดลำน้ำ เพื่อสร้างเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล 3) วัดปริมาณการไหลในลำน้ำด้วยเครื่องวัดกระแสน้ำแบบใบพัดแล้วคำนวณหาปริมาณการไหล หรือวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณการไหลในลำน้ำ ก็ได้ ทั้งนี้เครื่อง ADVN ต้องทำการวัดความเร็วดัชนีอยู่ในเวลาเดียวกันด้วย 4) คำนวณหาความเร็วเฉลี่ยในลำน้ำ โดยนำค่าปริมาณการไหลที่วัดได้แต่ละค่า มาหารด้วย พื้นที่หน้าตัดการไหล (ซึ่งหาได้จากเส้นโค้งความสัมพันธ์ระดับน้ำและพื้นที่การไหล) และ 5) ทุกค่าการวัดปริมาณการไหล จะได้คู่ของค่าความเร็วดัชนีและค่าความเร็วเฉลี่ย จากนั้นจึงนำค่าเหล่านี้มาหาเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วดัชนีและความเร็วเฉลี่ย ท้ายที่สุด ด้วยเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่การไหล และเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วดัชนีและความเร็วเฉลี่ย เครื่อง ADVN ที่ติดตั้งไว้ก็สามารถใช้วัดปริมาณการไหลในลำน้ำได้เช่นกัน

2.3 เครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียง (Acoustic Doppler Velocity Meter)

เครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียง คือ เครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียงนั่นเอง โดยอาศัยหลักการดอปเพลอร์ในการวัดความเร็วกระแสน้ำในสองทิศทาง เครื่องวัดนี้นิยมติดตั้งที่สถานีวัดน้ำที่ใช้ดัชนีความเร็วเป็นอย่างมาก เครื่องวัดนี้จะส่งคลื่นเสียงความถี่คงที่ ไปยังกระแสน้ำ เมื่อคลื่นเสียงกระทบกับอนุภาคตะกอนที่ไหลมากับน้ำ คลื่นเสียงก็จะสะท้อนกลับมายังเครื่องวัด แต่ความถี่ของคลื่นเสียงจะเปลี่ยนไป เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอน โดยความถี่ที่เปลี่ยนไปนี้จะสัมพันธ์กับความเร็วของกระแสน้ำ คือ

$$V = (F_d / 2F_o) * C \quad (4)$$

โดย V คือความเร็วกระแสน้ำ (m/s); F_d คือ ความถี่ที่สะท้อนกลับมายังเครื่อง (Hz); F_o คือ ความถี่ที่ส่งจากเครื่องวัด (Hz); และ C คือ ความเร็วเสียง (m/s)



ภาพที่ 1 ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียง ADV

ADV ส่งลำคลื่นเสียงความถี่สูงที่ จำนวนสองลำที่ทำมุมคงที่ (Beam Angle) ไปในแนวระนาบซึ่งขนานกับผิวหน้า โดยเมื่อมองจากมุมบนลงไปยังผิวหน้าจะเห็นกับภาพที่ 1 ทั้งนี้ ADV จะวัดค่าความเร็วกระแสในบริเวณพื้นที่ที่กำหนด (Sample Volume) ทั้งนี้โดยทั่วไป เครื่อง ADV จะติดตั้งอยู่ข้างลำน้ำ ดังนั้น ความเร็วในแนว X คือความเร็วกระแสในทิศทางการไหล และความเร็วในแนว Y คือความเร็วกระแสในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล

3. วิธีการศึกษา

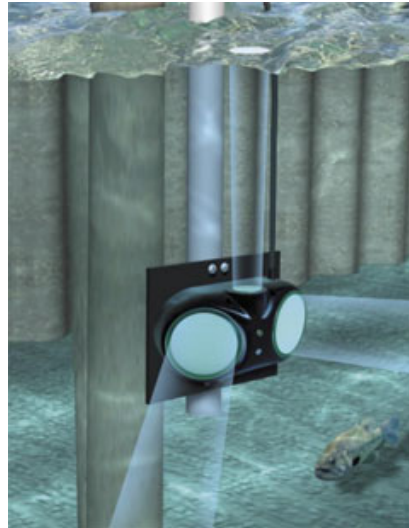
การศึกษานี้เลือกสถานีวัดน้ำ T.1 ของกรมชลประทาน ในแม่น้ำท่าจีน อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ซึ่งการไหลของน้ำที่หน้าตัดนี้ ได้รับอิทธิพลจากการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย เป็นกรณีศึกษา โดยดำเนินการมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 2 ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำ T.1 อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม

3.1 สำรวจหน้าตัดลำน้ำของสถานีวัดน้ำ เพื่อสร้างเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล โดยหาระดับกันแม่น้ำที่ระยะต่างๆในแนวหน้าตัด และด้วยเส้นโค้งนี้เอง เมื่อทราบระดับน้ำ ก็สามารถคำนวณหาค่า พื้นที่หน้าตัดการไหลได้อย่างสะดวก รวดเร็ว

3.2 ติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียง ADVN ที่สถานีวัดน้ำ โดยติดตั้งอยู่ข้างตลิ่งใต้ผิวน้ำ ทั้งนี้ เครื่อง ADVN จะส่งลำคลื่นเสียงความถี่สูงในแนวตั้ง เพื่อวัดระดับผิวน้ำ และลำคลื่นเสียงความถี่สูง สองลำคลื่นในแนวราบขนานกับผิวน้ำ เพื่อวัดความเร็วกระแสน้ำ โดยเครื่องนี้ จะตรวจวัดข้อมูลทั้งสอง ชนิด อย่างต่อเนื่อง (ในการศึกษาครั้งนี้ ตั้งให้วัดทุก 15 นาที) แล้วบันทึกข้อมูลไว้ใน Data Logger (ดูภาพ ที่ 3)



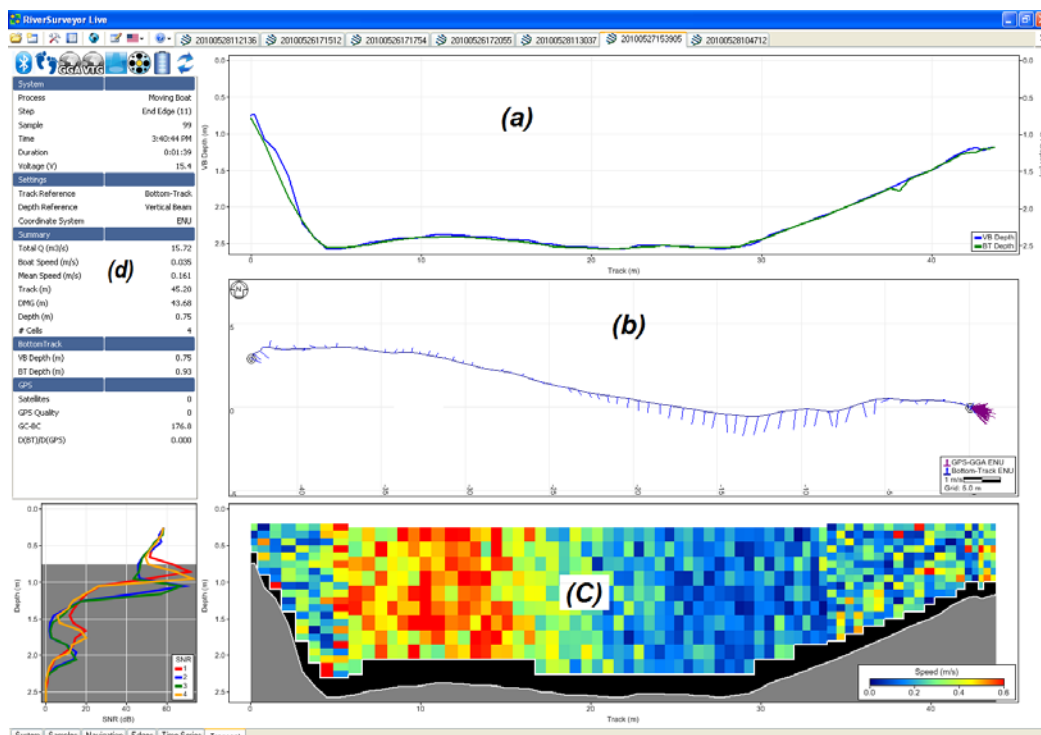
ภาพที่ 3 การติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียง ใต้ผิวน้ำ

3.3 ตรวจวัดปริมาณการไหลในลำน้ำ ณ สถานีวัดน้ำ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณการไหลในลำน้ำแบบ คลื่นเสียง ทั้งนี้เครื่องตรวจวัดปริมาณการไหลในลำน้ำ เป็นเครื่องมือเพื่อการวัดปริมาณการไหลของ น้ำในทางน้ำเปิด ด้วยการใช้เทคโนโลยีอันก้าวหน้าของเครื่องมือนี้ ทำให้การวัดอัตราการไหลของน้ำ ในทางน้ำเปิดไม่ว่าจะเป็นแบบธรรมชาติ หรือแบบที่มนุษย์สร้างขึ้น กลายเป็นเรื่องง่าย ๆ ไม่ยุ่งยาก สะดวก รวดเร็ว ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดอัตราการไหลในลำน้ำและสำรวจรูปหน้า ตัดการไหลของลำน้ำ นอกจากนั้นยังให้ผลการตรวจวัดที่มีคุณภาพโดยมีความถูกต้องแม่นยำสูงอีกด้วย

การใช้งานเพื่อการตรวจวัดปริมาณการไหลในลำน้ำ ไม่ยุ่งยากเพียงแค่นำเครื่องวัดนี้เคลื่อนไปบนผิวน้ำ จากตลิ่งฝั่งหนึ่งไปยังตลิ่งอีกฝั่งหนึ่ง ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของกระแสน้ำ โดยขณะที่กำลัง เคลื่อนตัดกระแสน้ำอยู่นั้น เครื่องวัดจะส่งคลื่นเสียงในแนวตั้งลงไปใต้น้ำเพื่อวัดปริมาณการไหลใน แต่ละพื้นที่การไหลของแนวตั้ง ดังนั้นผลรวมของปริมาณการไหลในแต่ละพื้นที่แนวตั้ง ก็คือปริมาณ การไหลทั้งหมดของน้ำในลำน้ำ ณ เวลาตรวจวัดนั่นเอง (ดูภาพที่ 4 และ 5 ประกอบ) ตามมาตรฐาน แล้ว การตรวจวัดปริมาณน้ำ จะดำเนินการโดยลากเครื่องวัดนี้ตัดลำน้ำไป-กลับอย่างน้อย 2 เที่ยว ซึ่ง จะได้ค่าปริมาณน้ำ 4 ค่า จากนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ตรวจวัดได้ อย่างไรก็ตาม การวัดปริมาณน้ำใน ลำน้ำนี้ ต้องดำเนินการควบคู่ไปกับการวัดกระแสน้ำด้วยเครื่อง ADVN เพื่อให้ได้ข้อมูล ณ เวลา เดียวกัน ตลอดการวัดปริมาณน้ำ



ภาพที่ 4 การวัดปริมาณน้ำในลำน้ำด้วยเครื่องวัดปริมาณการไหลในลำน้ำ



ภาพที่ 5 แสดงผลการวัดปริมาณน้ำในลำน้ำ (a) ระดับก้นลำน้ำ (b) แนวที่เครื่องวัดวิ่งตัดลำน้ำ (c) ภาพแสดงความเร็วกระแสน้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆในหน้าตัดการไหล และ (d) ค่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลในลำน้ำ

3.4 คำนวณหาความเร็วเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำที่บันทึกไว้ หาคด้วย พื้นที่หน้าตัดการไหล ทั้งนี้ พื้นที่หน้าตัดการไหลหาได้จาก ระดับน้ำนั่นเอง

3.5 สร้างเส้นโค้งความเร็วตัดนี้ จากข้อมูลความเร็วตัดนี้ (หรือ ความเร็วจาก ADV) และความเร็วเฉลี่ย โดยนำข้อมูลเหล่านี้มาหาความสัมพันธ์กัน ทั้งในรูปแบบเส้นโค้ง หรือ สมการความสัมพันธ์

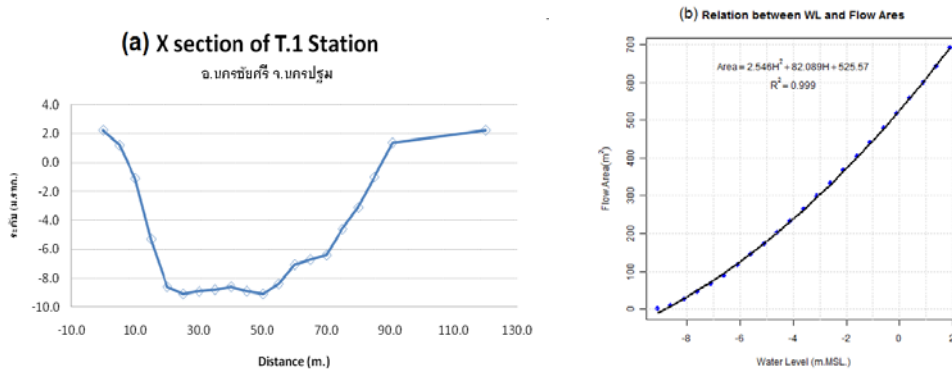
3.6 สร้างเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำที่มีความแม่นยำสูงขึ้น โดยเพิ่มค่าความเร็วเฉลี่ยเข้าไปในความสัมพันธ์

จากเดิม $Q = C(H - b)^\beta$ หรือในรูปของฟังก์ชันคือ $Q = f(H)$ ให้เป็น $Q = f(H, V_{index})$

4. ผลการศึกษาและอภิปราย

จากขั้นตอนการศึกษา ได้ผลการศึกษา ดังนี้

4.1 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหล



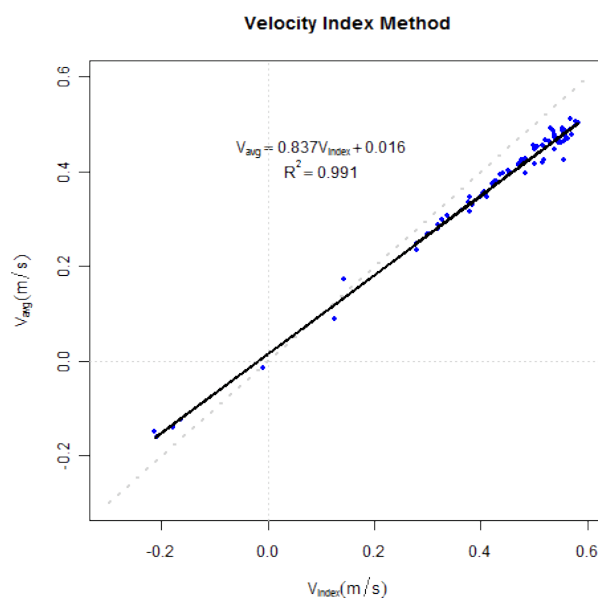
ภาพที่ 5 (a) หน้าตัดลำน้ำของสถานีวัดน้ำ T.1 แม่น้ำท่าจีน จังหวัดนครปฐม (b)

เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่การไหลในลำน้ำ

จากรูปหน้าตัดลำน้ำที่สถานีวัดน้ำ (ภาพที่ 5(a)) เมื่อนำมาพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดการไหลได้ดังภาพที่ 5(b) โดยมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียล ดังนี้

$$A = 2.546H^2 + 82.089H + 525.57 \quad (5)$$

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วดัชนีและความเร็วเฉลี่ย



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วดัชนีและความเร็วเฉลี่ยในลำน้ำ

จากค่าปริมาณน้ำในลำน้ำที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำ แล้วหารด้วยพื้นที่หน้าตัดการไหลซึ่งคำนวณได้จากระดับน้ำที่วัดได้ ทำให้ได้ค่าความเร็วเฉลี่ยในหน้าตัดการไหล ประกอบกับค่าความเร็วดัชนีที่วัดได้จากเครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียง เราสามารถหาความสัมพันธ์ของความเร็วดัชนีและความเร็วเฉลี่ยได้ ดังภาพที่ 6 ได้ความสัมพันธ์เป็น

$$V_{mean} = 0.837V_{index} + 0.016 \quad (6)$$

จากความสัมพันธ์ในสมการ (6) แสดงให้เห็นว่า ความเร็วดัชนีจะมีค่ามากกว่าความเร็วเฉลี่ย ดังนั้นหากนำค่าความเร็วดัชนีไปคำนวณหาปริมาณน้ำโดยตรง ก็จะได้ผลการคำนวณที่มากกว่าความเป็นจริง

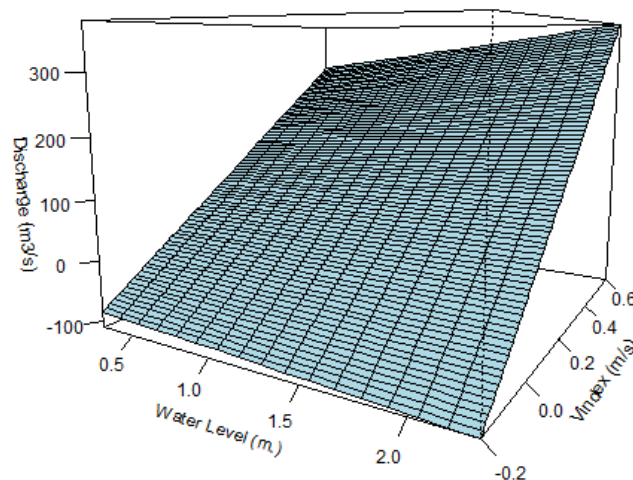
4.3 พัฒนาเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำใหม่ที่ให้ผลที่แม่นยำกว่าเดิม โดยเพิ่มความเร็วดัชนีเข้าไปในสมการ ทำให้เส้นโค้งความสัมพันธ์ใหม่มีรูปแบบเป็น

$$Q = f(H, V_{index}) \quad (7)$$

และเมื่อแทนค่าสมการ (5) และ (6) เข้าไปในสมการ (3) จะได้เป็น

$$Q = A * V_{mean} = (2.546H^2 + 82.089H + 525.57) * (0.837V_{index} + 0.016) \quad (8)$$

โดยที่สมการ (8) นี้ช่วยให้เครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียงที่ติดตั้งที่สถานีวัดน้ำ สามารถวัดปริมาณน้ำที่ไหลในลำน้ำได้ และความสัมพันธ์ในรูป 3 มิติ แสดงได้ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ, ความเร็วดัชนีและปริมาณการไหลในลำน้ำ

5. สรุปผลการศึกษา

ปัญหาเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำแบบดั้งเดิม ไม่มีประสิทธิภาพเมื่อประยุกต์ใช้กับแม่น้ำที่อยู่ภายใต้อิทธิพลการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเล เนื่องจากความสัมพันธ์ไม่เป็นแบบหนึ่งเดียว โดยระดับน้ำหนึ่งค่า อาจมีค่าปริมาณการไหลของน้ำได้หลายค่า นั่น ทำให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำด้วยเส้นโค้งแบบดั้งเดิมนี้ ให้ผลที่มีความคลาดเคลื่อนสูง อย่างไรก็ตาม ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มตัวแปรความเร็วกระแสน้ำเข้าไปในความสัมพันธ์อีกตัวแปรหนึ่ง และด้วยวิธี

ความเร็วต้นนี้ ซึ่งใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบคลื่นเสียง ตรวจวัดกระแสน้ำอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การคำนวณปริมาณการไหลในแม่น้ำภายใต้อิทธิพลระดับน้ำทะเล มีประสิทธิภาพ ให้ผลที่แม่นยำขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายรังสรรค์ สิริยาน ผู้อำนวยการศูนย์ และนายชัยยุทธ์ ชุมพล หัวหน้าฝ่ายปฏิบัติการอุทกวิทยา ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันตก สำหรับความช่วยเหลือในภาคสนาม ทำให้ผลการศึกษาที่ลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณผู้ประเมินบทความที่ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์

7. บรรณานุกรม

- Bhattacharya, B. and Solomatine, D.P., 2005. Neural networks and M5 model trees in modelling water level-discharge relationship. *Neurocomputing*, 63: 381-396.
- Ghimire, B.N.S. and Reddy, M.J., 2010. Development of stage-discharge rating curve in river using Genetic algorithms and model tree, *International workshop Advances in statistical hydrology*, Italy.
- Henderson, F.M., 1966. *Open channel flow*. The Macmillan Company, New York.
- Jain, S.K. and Chalisgaonkar, D., 2000. Setting up stage-discharge relations using ANN. *J. Hydrologic Eng.*, 5(4), 428-433.
- Morlock, S. E., 2009. Evaluation of Acoustic Doppler Current Profiler Measurements of River Discharge, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 95-4218.
- Morlock, S. E., Nguyen, H. T., and Ross, J. H., 2002. Feasibility of acoustic Doppler velocity meters for the production of discharge records from U.S. Geological Survey streamflow-gaging stations. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 01-4157.
- Sudheer, K.P. and Jain, S.K., 2003. Radial basis function Neural Network for modelling rating curves. *J. Hydrologic Eng.*, 8(3), 161-164.
- Tawfik, M., Ibrahim, A. and Fahmy, H., 1997. Hysteresis sensitive Neural Network for modelling rating curves. *J. Computing Civil Eng.*, 11(3), 206-211.
- U.S. Geological Survey, 2010. Index-Velocity. <http://hydroacoustics.usgs.gov/indexvelocity> [20 มกราคม 2554]