เทคโนโลยีคลื่นเสียงเพื่อการตรวจวัดการไหลในลำน้ำเปิด

Doppler Technology for Open Channel Flow Measurement

ดร.สมเกียรติ อภิพัฒนวิศว์

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

e-mail: skavis@yahoo

บทคัดย่อ

ในทศวรรษนี้ ปรากฏการณ์คลื่นเสียงที่เรียกว่า ดอปเปลอร์เป็นปรากฏการณ์หลักที่มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวัดการไหลของน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการไหลในลำน้ำเปิด เช่น แม่น้ำ ลำคลอง คลองชลประทาน เป็นต้น ส่งผลให้ในปัจจุบัน การตรวจวัดการไหลในลำน้ำเปิด กลายเป็นเรื่องง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่สิ้นเปลืองทรัพยากร (เช่น บุคลากร เวลาและงบประมาณ เป็นต้น) ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านอิเลคทรอนิคและคอมพิวเตอร์ซอฟแวร์ เครื่องมือตรวจวัดการไหลในลำน้ำที่ทันสมัยได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการดอปเปลอร์ ส่งผลให้การตรวจวัดการไหล มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้นมาก และการดำเนินการตรวจวัดเป็นไปได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย เนื่องจากไม่มีความจำเป็นต้องนำเครื่องมือไปติดตั้งหรือวาง ณ ตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด เหมือนการใช้เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด นอกจากนั้น ยังสามารถเชื่อมต่อเข้าระบบโทรมาตรเพื่อการติดตามสถานะการณ์ได้ตลอดเวลาอีกด้วย

บทความนี้มีวัตถุประสงค์หลักดังนี้ เพื่อ 1) อธิบายถึงหลักการตรวจวัดของเครื่องวัดการไหลในลำน้ำเปิดด้วยคลื่นเสียงดอปเปลอร์ ซึ่งประยุกต์ใช้เพื่อวัดความเร็วกระแสน้ำ ทั้งแบบจุดเดียวหรือหลายจุดพร้อมกัน และเพื่อวัดปริมาณการไหลในแม่น้ำ ทั้งแบบครั้งเดียวหรือแบบต่อเนื่อง 2) แสดงถึงวิวัฒนาการของเครื่องวัดการไหลของน้ำด้วยคลื่นเสียงดอปเปลอร์ 3) อธิบายถึงประเภทของเครื่องวัด ตลอดจนการเลือกใช้เครื่องวัดให้ตรงกับความต้องการ ทั้งนี้ การเลือกใช้เครื่องมือตรวจวัดการไหลของน้ำที่เหมาะสม ช่วยให้ตรวจวัดการไหลมีความถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้ผู้บริหารน้ำสามารถบริหารจัดการส่งน้ำได้ในปริมาณที่ถูกต้องตามแผนจัดสรรน้ำ ไม่ส่งน้ำในปริมาณที่มากกว่าความต้องการ อันส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์ หรือในทางตรงข้าม ไม่ส่งน้ำในปริมาณที่น้อยกว่าแผน ก่อให้การขาดแคลนน้ำ อันส่งผลให้กระทบต่อการอุปโภคบริโภค และสร้างความเสียหายต่อผลผลิตด้านการเกษตรและอุตสาหกรรม เป็นต้น

คำสำคัญ: การวัดการไหลในลำน้ำเปิด, เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบคลื่นเสียงดอปเปลอร์, เทคโนโลยีดอปเปลอร์

Abstract

In the latest decade, Doppler Effect plays an important role in flow measurement technology especially open channel flow e.g. rivers, canals, and irrigation canals etc. As a result, measuring flow in an open channel becomes an easy task, not sophisticated, not consuming huge resources (e.g. manpower, time, and budget). Advancement of technologies in electronics and computer software, new devices for measuring flow are developed based on Doppler effect. Consequently, high accuracy flow measurements are now convenient, quick, and save to operate. The main reason is that the new devices need not to be installed at the locations where measurements needed. It does not like operating flow measurement with the traditional current meter. Moreover, these devices can be linked to telemetering system for real-time monitoring as well.

The objectives of this study are to 1) describe the Doppler Effect applied for flow velocity as a single position or multi-position simultaneously, discharge measurement as individual or continuous. 2) illustrate the development of devices using Doppler Effect. 3) explain types of devices, select appropriate device for task. Selecting appropriate devices affects the accuracy of measurement. This would help water managers delivering water with the right amounts that are not more the requirements that would save water, in contrast, delivering less water than the requirement would harm the crop yields and industrial products.

Keywords: Open channel flow measurement, Acoustic Doppler Current Profiler, Doppler technology

1. คำนำ

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำ คือความสามารถในการควบคุมและส่งน้ำไปยังพื้นที่เป้าหมายได้ตามปริมาณที่กำหนดไว้ในแผนการจัดสรรน้ำ เพราะจะช่วยลดการสูญเสียน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์ ในกรณีที่ส่งน้ำในปริมาณที่มากกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ไปยังพื้นที่เป้าหมาย และในกรณีกลับกันคือส่งน้ำไปยังพื้นที่เป้าหมายในปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ ก่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำ สร้างความเดือดร้อนแก่ประชาชน และสร้างความเสียหายต่อผลผลิตทางการเกษตรหรือทางการอุตสาหกรรม ดังนั้น การควบคุมน้ำให้ไหลไปยังพื้นที่เป้าหมายในปริมาณที่ถูกต้องใกล้เคียงกับปริมาณน้ำตามแผนการจัดสรรที่กำหนดไว้ ช่วยให้การใช้น้ำเกิดประโยชน์สูงสุด ลดการสูญเสียน้ำซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีจำกัด โดยนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆได้ อย่างไรก็ตาม โดยธรรมชาติของการปฏิบัติแล้ว เมื่อไม่แน่ใจว่าน้ำที่ส่งอยู่มีปริมาณน้ำเท่าใด จะถูกต้องหรือใกล้เคียงกับปริมาณน้ำตามแผนหรือไม่ ผู้บริหารน้ำจะดำเนินการส่งน้ำแบบเผื่อขาด คือส่งน้ำในปริมาณที่ค่อนไปทางมากกว่าแผน เพื่อป้องกันความเดือนร้อนเสียหายที่เกิดจากการขาดน้ำ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำไปโดยไม่คุ้มค่า ดังนั้น การหมั่นตรวจวัดปริมาณน้ำที่ส่งไปยังพื้นที่เป้าหมาย จึงเป็นกิจกรรมที่จำเป็นต้องดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เมื่อพบว่าปริมาณน้ำคลาดเคลื่อนไป ก็ปรับแก้

ให้กลับมาเท่ากับปริมาณน้ำตามแผน ก็จะช่วยให้แน่ใจได้ว่า น้ำได้รับการจัดสรรอย่างถูกต้องตามแผน ส่งผลให้การบริหารจัดการน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

แม้ว่าการตรวจวัดปริมาณน้ำที่ส่งไปตามระบบโครงข่ายส่งน้ำ จะเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำ แต่กิจกรรมนี้มักถูกละเลย เนื่องจากการตรวจวัดน้ำเป็นกิจกรรมที่ยุ่งยาก ซับซ้อน และในการตรวจวัดแต่ละครั้งนั้น สิ้นเปลืองทรัพยากรมาก กล่าวคือต้องใช้บุคคลากรที่มีความชำนาญ ใช้เวลาตรวจวัดมาก และใช้เงินงบประมาณมาก โดยที่การส่งน้ำในประเทศไทย ส่วนใหญ่ส่งน้ำผ่านระบบลำน้ำเปิด ซึ่งเป็นระบบที่ประหยัดที่สุด อาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก พาน้ำไหลไปตามแม่น้ำ คลองธรรมชาติ คลองชลประทาน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ธรรมชาติของการไหลในลำน้ำเปิด ปริมาณการไหลจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา หรือทางวิศวกรรมชลศาสตร์เรียกว่า การไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady flow) ในปัจจุบัน การตรวจวัดปริมาณน้ำในลำน้ำเปิด จะใช้เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ (Current Meter) ทั้งแบบดั้งเดิมคือแบบใบพัดหรือแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำได้เฉพาะจุด ทำให้ต้องนำเครื่องวัดไปวาง ณ ตำแหน่งที่ตรวจวัดหลายๆจุด เมื่อให้ได้ความเร็วกระแสน้ำหลายจุดในหน้าตัดลำน้ำ แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยของความเร็วกระแสน้ำ จากนั้นจึงคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดการไหล จึงจะได้ปริมาณการไหลในช่วงเวลาที่ตรวจวัด ทั้งนี้การตรวจวัดต้องใช้ผู้ชำนาญงาน เลือกจุดตรวจวัดที่เหมาะสมตามหลักวิชาการ อย่างไรก็ตาม หากลำน้ำมีขนาดใหญ่มาก การตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำในระดับความลึกมากๆ จะยุ่งยาก เนื่องจากต้องใช้เรือลอยลำเหนือตำแหน่งตรวจวัด จากนั้นจึงหย่อนเครื่องวัดลงไปในน้ำโดยใช้ตุ้มน้ำหนักถ่วงให้เครื่องวัดอยู่ในตำแหน่งความลึกที่ต้องการ จะเห็นได้ว่าการตรวจวัดในแต่ละจุดใช้เวลามาก ต้องใช้งบประมาณมาก ยิ่งไปกว่านั้น การตรวจวัดใช้ระยะเวลามาก ทำให้ความแม่นยำลดลง เนื่องจากในแม่น้ำมีลักษณะการไหลที่ไม่คงที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นในขณะเริ่มตรวจวัด และเสร็จสิ้นการตรวจวัด ปริมาณน้ำแตกต่างกันมาก ทำให้ผลที่ตรวจวัดได้มีความคลาดเคลื่อนสูง ตัวอย่างเช่น การตรวจวัดปริมาณน้ำในแม่น้ำอเมซอน ประเทศบราซิล ด้วย current meter ในเวลาประมาณ 1.5 วัน ในการตรวจวัดปริมาณน้ำแต่ละค่า (Sloat, 2013)

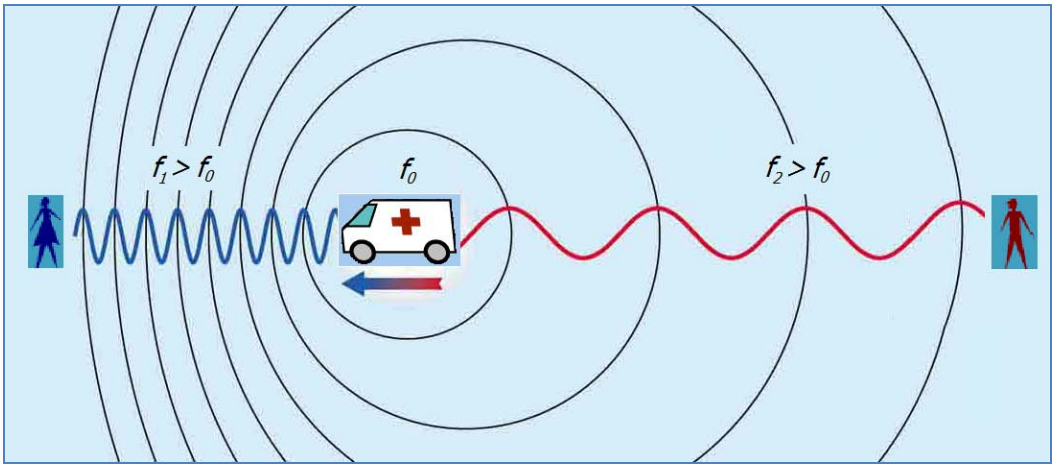
ในปัจจุบัน เทคโนโลยีอิเลคทรอนิคและคอมพิวเตอร์ก้าวหน้าอย่างมาก ทำให้มีการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดการไหลในทางน้ำเปิด ซึ่งใช้งานได้สะดวก ตรวจวัดได้รวดเร็ว และให้ความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น และที่สำคัญด้วยเทคโนโลยีคลื่นเสียงดอปเปลอร์ จึงไม่จำเป็นต้องนำเครื่องวัดไปวางในตำแหน่งตรวจวัด ปัจจุบันบริษัทต่างๆมีการผลิตออกจำหน่ายในราคาที่ย่อมเยา ทำให้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้ การตรวจวัดใช้หลักการของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ โดยคลื่นเสียงอุตราโซนิคที่ปล่อยออกไป เมื่อสะท้อนอนุภาคในน้ำกลับมายังเครื่องวัด ความถี่ของคลื่นเสียงจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความเปลี่ยนแปลงของความถี่นี่เองจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วกระแสน้ำ ด้วยการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดกว่า 30 ปี ทำให้เครื่องวัดการไหลในลำน้ำเปิดนี้ สามารถตรวจวัดได้หลายรูปแบบ ทั้งตรวจวัดแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ทั้งแบบหลายจุดพร้อมกัน ทั้งตรวจวัดในแนวราบและแนวดิ่ง ทั้งตรวจวัดที่ได้ปริมาณน้ำในลำน้ำเลยหรือเฉพาะความเร็วกระแสน้ำ ณ กลุ่มตำแหน่งที่สนใจ ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องตรวจวัดที่เหมาะสมกับงานตรวจวัดจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะ

ช่วยประหยัดงบประมาณ ทั้งยังได้ผลการตรวจวัดมีถูกต้องแม่นยำสูง ไม่จำเป็นต้องเลือกเครื่องวัดที่มีประสิทธิภาพสูงเกินความต้องการของประเภทงาน นอกจากนี้ เครื่องตรวจวัดเหล่านี้ ยังสามารถต่อเชื่อมเข้ากับระบบโทรมาตร หรือระบบ GPRS ของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เข้าสู่ server และแสดงผลผ่าน webpage ทำให้สามารถติดตาม เฝ้าระวังสถานการณ์น้ำได้ทั้งระดับน้ำและปริมาณน้ำได้ตลอดเวลา ดังนั้น การใช้เทคโนโลยีการตรวจวัดการไหลในลำน้ำเปิดสมัยใหม่ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำที่ดี

บทความนี้เขียนขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้ 1) เพื่ออธิบายถึงหลักการตรวจวัดของเครื่องวัดการไหลในลำน้ำเปิดด้วยคลื่นเสียงดอปเปลอร์ 2) เพื่อแสดงถึงวิวัฒนาการของเครื่องวัดการไหลของน้ำด้วยคลื่นเสียงดอปเปลอร์ 3) อธิบายถึงประเภทของเครื่องวัด ตลอดจนการเลือกใช้เครื่องวัดให้ตรงกับความต้องการ ทั้งนี้ ในส่วนต่อไปจะเป็นการอธิบายถึงปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ โดยที่ไม่จำเป็นต้องนำเครื่องมือไปวางหรือติดตั้งในตำแหน่งตรวจวัด อันส่งผลให้การตรวจวัดมีความรวดเร็ว สะดวกและปลอดภัย จากนั้นจะเป็นการกล่าวถึงวิวัฒนาการของเครื่องวัดที่ทันสมัยนี้ และการเลือกใช้เครื่องตรวจวัดให้เหมาะกับประเภทงานตรวจวัด ทั้งนี้จะมีการแสดงตัวอย่างผลการตรวจวัดในแม่น้ำสำคัญ และท้ายที่สุดเป็นการสรุปและเสนอแนะ

2. ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ที่เรียกกันในทางวิทยาศาสตร์ว่า Doppler Effect หรือ Doppler Shift นั้น ค้นพบโดย Christian Doppler นักฟิสิกส์ชาวออสเตรเลีย ในปี ค.ศ. 1842 ซึ่งอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นเสียงที่ผู้ฟังได้รับ ในขณะที่ผู้ฟังเคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง ตัวอย่างเช่น รถพยาบาลฉุกเฉินที่เปิดไซเรนความถี่หนึ่ง เมื่อวิ่งเข้าหาประชาชนที่ยืนอยู่ริมถนน ผู้คนเหล่านั้นจะได้ยิ่งเสียงไซเรนที่มีความถี่สูงขึ้น เมื่อรถพยาบาลวิ่งมาถึงตำแหน่งที่ประชาชนยืนอยู่ ประชาชนเหล่านั้นจะได้ยินเสียงไซเรนที่มีความถี่เท่ากันกับความถี่ของไซเรนจากแหล่งกำเนิดเสียง ต่อมาเมื่อรถพยาบาลวิ่งเลยไป ประชาชนจะได้ยินเสียงไซเรนที่มีความถี่ต่ำกว่าแหล่งกำเนิด ปรากฏการณ์นี้อธิบายได้ว่า เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง (รถพยาบาล) วิ่งเข้าหาผู้สังเกต (ประชาชน) นั้น คลื่นเสียงที่ปล่อยออกมาแต่ละลูก จะมีระยะทางที่จะเดินทางมาถึงผู้สังเกต สั้นลง ทำให้คลื่นเสียงเดินทางถึงผู้สังเกตได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงขึ้น ในทางตรงข้าม เมื่อแหล่งกำเนิดวิ่งห่างออกจากผู้สังเกต ระยะทางที่คลื่นแต่ละลูกใช้ในการเดินทางมายังผู้สังเกตจะมากขึ้น ทำให้คลื่นเสียงเดินทางมาถึงผู้สังเกตช้าลง ส่งผลให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงที่มีความถี่ต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ โดยรถพยาบาลเปิดไซเรนความถี่ f_o วิ่งไปทางซ้าย ทำให้ผู้หญิงได้ยินเสียงไซเรน(สีน้ำเงิน)ที่มีความถี่ f_1 ซึ่งสูงกว่า f_o ในขณะที่ ผู้ชายที่อยู่ด้านขวา ได้ยินเสียงไซเรน(สีแดง)ที่มีความถี่ f_2 ซึ่งต่ำกว่า f_o

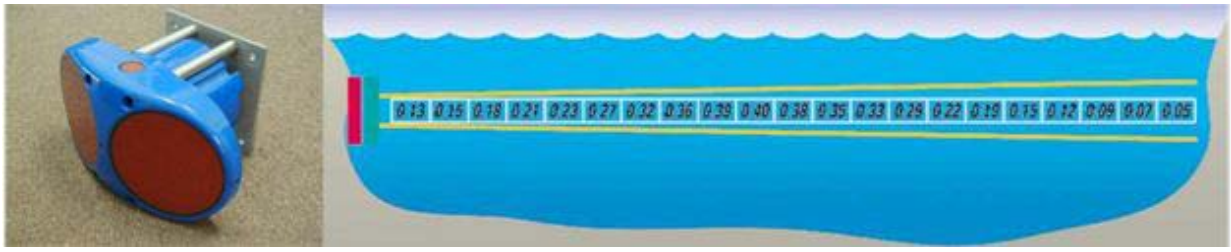
สูตรทั่วไป สำหรับการคำนวณหาความถี่ที่ได้รับของผู้สังเกต เขียนได้ดังนี้

$$f = \left(\frac{c + v_r}{c + v_s}\right) f_0 \qquad (1)$$

โดย f คือ ความถี่ของเสียงที่ผู้สังเกตได้รับ (Hz), f_0 คือ ความถี่ของเสียงที่สร้างจากแหล่งกำเนิดเสียง (Hz), c คือ ความเร็วคลื่นเสียงในตัวกลาง (กรณีในน้ำ ความเร็วเสียงเท่ากับ 1482 m/s ที่อุณหภูมิ 20° c), v_r คือ ความเร็วของผู้สังเกตเมื่อเทียบกับน้ำ (m/s) โดยมีค่าเป็นบวก เมื่อเคลื่อนเข้าหาแหล่งกำเนิด และมีค่าเป็นลบ เมื่อเคลื่อนออกห่างจากแหล่งกำเนิด, v_s คือ ความเร็วของแหล่งกำเนิด (m/s) โดย มีค่าเป็นบวก เมื่อเคลื่อนออกห่างจากผู้สังเกต และ มีค่าเป็นลบ เมื่อเคลื่อนเข้าหาผู้สังเกต กล่าวโดยสรุปคือ ความถี่ที่ได้รับจะลดลง เมื่อแหล่งกำเนิดหรือผู้สังเกตวิ่งห่างจากกันและกัน ในทางตรงข้าม ความถี่ที่ได้รับจะเพิ่มขึ้น เมื่อแหล่งกำเนิดหรือผู้สังเกตวิ่งเข้าหากัน

ทั้งนี้ เครื่องวัดการไหลในลำน้ำเปิด ตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำโดยใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกับ เรดาห์ตรวจจับความเร็วรถยนต์ (Doppler Radar) โดยเมื่อตำรวจยิงลำคลื่นเสียงไปที่รถที่กำลังวิ่งอยู่ คลื่นเสียงจะกระทบตัวรถแล้วสะท้อนกลับมายังเครื่องรับคลื่น ด้วยรถที่เคลื่อนเข้าหาผู้ยิงคลื่น ทำให้ระยะทางที่คลื่นเดินทางสั้นลง ส่งผลให้ความถี่คลื่นสูงขึ้น และความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้เอง นำไปหาความเร็วของรถยนต์ได้ดังสมการ (1) ในทำนองเดียวกัน เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำด้วยคลื่นเสียงดอปเปลอร์ก็ทำงานในลักษณะเดียวกัน ต่างกันที่การใช้อนุภาคเล็กๆที่ไหลมากับน้ำเป็นตัวสะท้อนคลื่นเสียง และหัวยิงกับหัวรับคลื่นเสียงติดตั้งอยู่ในน้ำริมตลิ่งแทน

อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำด้วยคลื่นเสียงดอปเปลอร์ มีการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น โดยสามารถตรวจวัดในหลายๆจุดพร้อมๆกัน โดยผู้วัดสามารถกำหนดตำแหน่งตรวจวัดในแนวเดียวกัน และระยะห่างระหว่างจุดวัดก็กำหนดได้โดยขนาดของเซลล์ (ดูรูปที่ 3) ทำให้ผลการตรวจจัดมีความแม่นยำขึ้น



รูปที่ 3 ตำแหน่งตรวจวัดหลายจุดพร้อมกันในแนวราบ ซึ่งกำหนดโดยตั้งขนาดของเซลล์ที่จะวัด (cell size) จะได้ความเร็วของกระแสน้ำในแต่ละเซลล์ ตลอดแนวหน้าตัดลำน้ำ

3. เครื่องมือตรวจวัดการไหลในลำน้ำเปิด

ด้วยแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ต้องการจะวัดน้ำ (เช่น ความเร็วกระแสน้ำและปริมาณน้ำ) โดยผู้ตรวจวัดไม่จำเป็นต้องนำเครื่องตรวจวัดไปวางหรือติดตั้ง ณ ตำแหน่งตรวจวัด อย่างเช่นเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด เป็นต้น เนื่องจากในช่วงน้ำหลาก การตรวจวัดมีอันตรายมาก จึงได้มีการประยุกต์ใช้หลักการผลกระทบดอปเปลอร์ มาตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอิเลคทรอนิคและคอมพิวเตอร์ซอฟแวร์ ทำให้มีการพัฒนาเครื่องตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ ซึ่งใช้งานง่าย ตรวจวัดได้สะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย นอกจากนั้นยังให้ความละเอียดแม่นยำสูงอีกด้วย

Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) เป็นชื่อเรียกรวมของเครื่องวัดกระแสน้ำแบบคลื่นเสียงดอปเปลอร์ทุกประเภท เริ่มมีการผลิตจำหน่ายในช่วงทศวรรษ 1980 โดยมีความถี่ใช้การตั้งแต่ 300 KHz ไปจนถึง 3 MHz ทั้งนี้ ADCP เป็น เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบคลื่นเสียงในน้ำ (Hydroacoustic Current Meter) คล้ายเครื่องโซนาร์ (Sonar) ที่ใช้ตรวจวัตถุใต้น้ำหรือมหาสมุทร เช่นฝูงปลา เป็นต้น แต่ ADCP ใช้เพื่อตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำตลอดแนวความลึก โดยหลักการของผลกระทบดอปเปลอร์ ซึ่งคลื่นเสียงสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับอนุภาคในน้ำและความถี่เปลี่ยนแปลงไป

ในปี ค.ศ. 1982 เริ่มมีการใช้ ADCP ตรวจวัดปริมาณน้ำในแม่น้ำ Mississippi ที่เมือง Baton Rouge มลรัฐ Louisiana (Christensen and Herrick, 1982) การตรวจวัดครั้งนี้มีการเปรียบเทียบกับการตรวจวัดโดยวิธีเรือเคลื่อนที่แบบใช้เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด (Conventional moving-boat) ซึ่งผลการตรวจวัดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยคือน้อยกว่าร้อยละ 5 อย่างไรก็ตาม ในเวลานั้นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีในการประมวลผลคลื่นเสียงดอปเปลอร์ยังไม่มีความก้าวหน้าพอ ทำให้ไม่นำข้อมูลการตรวจวัด มา

คำนวณปริมาณน้ำในแม่น้ำและปากแม่น้ำได้ทันที จึงต้องมีการคำนวณปริมาณน้ำในห้องปฏิบัติการ ภายหลังการตรวจวัดเก็บข้อมูลแล้วเสร็จ

ในปี ค.ศ. 1985 สำนักงานสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐ (US Geological Survey, USGS) ได้พัฒนาระบบตรวจวัดปริมาณน้ำสำเร็จเป็นครั้งแรก โดยใช้เครื่อง ADCP แบบ narrow-band (Simpson and Oltmann, 1993) แต่ระบบนี้ข้อจำกัดในเรื่องการตรวจวัดลำน้ำตื้น เนื่องจาก narrow-band ADCP สามารถตรวจวัดในน้ำที่มีความลึกมากกว่า 3.4 เมตรขึ้นไป ความลึกน้อยกว่านี้จะมีความผิดพลาดสูง

ต่อมาในปี ค.ศ. 1991 จึงมีการพัฒนา broad-band ADCP ขึ้น และจากการทดสอบพบว่า short-term random error ของ broad-band ADCP มีค่าต่ำกว่าของ narrow-band ADCP ด้วยเหตุนี้ จึงสามารถนำ broad-band ADCP มาปรับให้สำหรับการตรวจวัดในน้ำตื้นได้ และในปี ค.ศ. 1992 USGS ได้ประเมินการใช้ broad-band ADCP เพื่อการวัดน้ำในแม่น้ำ โดยเลือกเฉพาะสถานีวัดน้ำต่างๆทั่วสหรัฐอเมริกา ที่มีผลการตรวจวัดที่ดีมาเปรียบเทียบกัน พบว่า broad-band ADCP ให้ผลการตรวจวัดที่แม่นยำ ใกล้เคียงกันผลที่ได้จากสถานีวัดน้ำเหล่านั้น (Morlock; 1996) ต่อมา ผู้ผลิตได้พัฒนา broad-band ADCP ที่มีขนาดเล็กลง และติดตั้ง built-in bottom-tracking capability เข้าไปด้วย แต่ยังเรียกรวมๆกันแบบทั่วไปว่า ADCP เช่นกัน ปัจจุบันได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา จีน อินเดีย อิรัค ออสเตรเลีย แอฟริกาใต้ และ ไทย เป็นต้น

ระบบตรวจวัดปริมาณน้ำแบบ ADCP เป็นระบบเดียวที่สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำในแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลของระดับน้ำทะเล รวมทั้งปริมาณน้ำที่ปากแม่น้ำได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งแม่น้ำหรือคลองที่มีอัตราการไหลไม่คงที่ (Simpson and Oltmann, 1993) ปัจจุบัน ADCP ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประโยชน์ สามารถนำไปใช้ตรวจวัดน้ำในแม่น้ำ แทนระบบเดิมที่ใช้เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบเดิมได้ โดยเฉพาะลำน้ำที่มีความลึกเกินกว่าที่เดินลุยน้ำ (Wading measurement) ลงไปวัดน้ำได้

4. ประเภทของเครื่องตรวจวัดการไหลในลำน้ำเปิด

ด้วยระยะเวลาที่ เทคโนโลยีคลื่นเสียงดอปเปลอร์ พัฒนามาตลอด 30 ปี ทำให้มีการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดการไหลในลำน้ำเปิดออกมาเป็นจำนวนมากมาย หลายประเภท ตามการใช้งาน และหลากหลายยี่ห้อ (Sontek, 2012; RDI, 2012) ทั้งนี้สามารถแบ่งตามลักษณะการติดตั้งและใช้งาน ได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

4.1 ประเภทติดตั้งข้างตลิ่ง

เครื่อง ADCP ประเภทติดตั้งข้างตลิ่งนี้ ออกแบบมาเพื่อใช้เพื่อวัดความเร็วกระแสน้ำในระนาบแนวราบ โดยส่งคลื่นเสียงออกจากตลิ่งที่ติดตั้งไปยังตลิ่งอีกด้านหนึ่งของลำน้ำ ผู้ใช้สามารถตั้งเวลาในการวัดได้ตามความต้องการ เช่น ตรวจวัดทุกๆ 1 วินาที ไปจนถึง ทุกๆ 24 ชั่วโมง เป็นต้น ทั้งนี้ หากตรวจวัดบ่อย จะสิ้นเปลืองพลังงานและหน่วยความจำในตัวเครื่อง ผู้ใช้จึงควรกำหนดความถี่ในการตรวจวัดให้สอดคล้องกับ

ความต้องการ นอกจากนั้น ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดจำนวนจุดตรวจวัดในแนวราบได้ โดยกำหนดขนาดของ cell size ซึ่งมีได้สูงสุดถึง 128 cell size (ดังแสดงในรูปที่ 4) นอกจากนี้ เครื่องประเภทนี้ยังมีคลื่นเสียงในแนวดิ่ง เพื่อใช้วัดระดับน้ำในลำน้ำได้อีกด้วย

รูปที่ 4 แสดงการติดตั้ง ADCP ประเภทติดตั้งที่ข้างตลิ่ง

เครื่อง ADCP ประเภทนี้มีให้เลือกหลายขนาด แบ่งตามความถี่ของคลื่นเสียง โดยมีขนาดตั้งแต่ความถี่ 300 KHz ไปจนถึง 1500 KHz การเลือกใช้ขนาดใด ขึ้นอยู่กับความกว้างของลำน้ำที่จะตรวจวัด อย่างไรก็ตาม เครื่องที่ใช้ความถี่ต่ำจะตรวจวัดลำน้ำได้กว้างกว่าเครื่องที่ใช้ความถี่สูง โดยเครื่องขนาดความถี่ 300 KHz จะตรวจวัดลำน้ำได้กว้างถึง 300 เมตร ในขณะที่ เครื่องขนาดความถี่ 1500 KHz จะตรวจวัดลำน้ำได้กว้างเพียง 0.75 เมตร

รูปที่ 5 เครื่อง ADCP ประเภทติดตั้งข้างตลิ่ง ขนาดความถี่ต่างๆ โดยมีชื่อทางการค้าว่า ChannelMaster (ด้านซ้าย) และ Argonaut Side Looker (ด้านขวา)

เครื่อง ADCP ประเภทนี้ สามารถตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำได้อย่างต่อเนื่อง จึงเหมาะกับการติดตามสถานการณ์น้ำในลำน้ำ เช่น ความเร็วกระแสน้ำและระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถต่อเชื่อมกับระบบโทรมาตร ช่วยให้สามารถติดตามสถานการณ์น้ำในลำน้ำที่สนใจ ได้แบบเวลาจริง (Real time) และหากต้องการทราบปริมาณน้ำในลำน้ำอย่างต่อเนื่อง ก็สามารถใช้วิธีความเร็วดัชนี (Index Velocity Method) เข้าช่วยในการแปลงความเร็วตรวจวัดเป็นปริมาณน้ำที่ไหลในลำน้ำ ณ เวลานั้นๆได้ (สมเกียรติ และคณะ 2554) อย่างไรก็ตาม วัชพืชที่ลอยมากับน้ำ เช่น ผักตบชวา มักจะลอยมาติดอยู่เหนือระดับเครื่องวัด ทำให้คลื่นเสียงที่

วัดระดับน้ำไม่สามารถทำงานได้หรือทำงานผิดพลาด ส่งผลให้ไม่สามารถคำนวณหรือคำนวณปริมาณน้ำผิดพลาดได้ ดังนั้น จึงควรหมั่นดูแล นำผักตบชวาออกอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้ เครื่องวัดประเภทนี้ กรมชลประทาน ได้นำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในการติดตามสถานการณ์น้ำของแม่น้ำสายใหญ่ ในลุ่มน้ำหลักของประเทศ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำปิง แม่น้ำยม แม่น้ำวัง และแม่น้ำน่าน เป็นต้น

4.2 ประเภทติดตั้งก้นลำน้ำ

เครื่อง ADCP ประเภทติดตั้งก้นลำน้ำ ออกแบบเพื่อใช้กับลำน้ำขนาดเล็ก ซึ่งมีความลึกน้อย อันเป็นปัญหาต่อการตรวจวัดในแนวราบ ทั้งนี้ เครื่อง ADCP ประเภทนี้ส่งคลื่นเสียงในแนวดิ่งจากก้นคลองขึ้นสู่ผิวน้ำ ผู้ใช้สามารถกำหนดจำนวนจุดของการตรวจวัดและตั้งเวลาของการตรวจวัดได้เช่นเดียวกับเครื่อง ADCP ประเภทติดตั้งข้างตลิ่ง เครื่องวัดประเภทนี้ มีความถี่ระหว่าง 2.4 – 3.0 MHz ใช้ได้กับลำน้ำที่มีความลึกตั้งแต่ 0.08 เมตร ถึง 5 เมตร

รูปที่ 6 การติดตั้ง ADCP ประเภทติดตั้งที่ก้นลำน้ำ (ซ้าย) เครื่อง ADCP ประเภทติดตั้งก้นลำน้ำ Sontek-IQ (กลาง) และ Vertical ADCP (ขวา)

เครื่องวัดประเภทนี้ ใช้ติดตามสถานการณ์น้ำในลำน้ำขนาดเล็กได้ดี เช่นเดียวกับเครื่องวัดประเภทติดตั้งริมตลิ่ง คือติดตามสถานการณ์ได้แบบเวลาจริง คือ ความเร็วกระแสน้ำและระดับน้ำ หากลำน้ำขนาดเล็กนี้มีรูปหน้าตัดทรงเรขาคณิตเช่น คลองชลประทาน ก็สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำในลำน้ำได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ความสัมพันธ์ของการกระจายความเร็วในหน้าตัด ไม่จำเป็นต้องทำวิธีความเร็วดัชนีแต่อย่างใด ทำให้เครื่องวัดประเภทนี้เหมาะกับการติดตามสถานการณ์น้ำในคลองชลประทานเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเครื่องวัดนี้ติดตั้งที่ก้นลำน้ำ ทำให้มีปัญหาในการใช้งานกับลำน้ำที่มีตะกอน เนื่องจากตะกอนจะตกทับทมเครื่องวัด ทำให้ทำงานผิดพลาดหรือไม่สามารถทำงานได้ จึงเป็นสาเหตุหลักที่เครื่องวัดประเภทนี้ไม่ได้รับความนิยมนักในประเทศไทย เมื่อเทียบกับเครื่องวัดประเภทติดตั้งข้างตลิ่ง

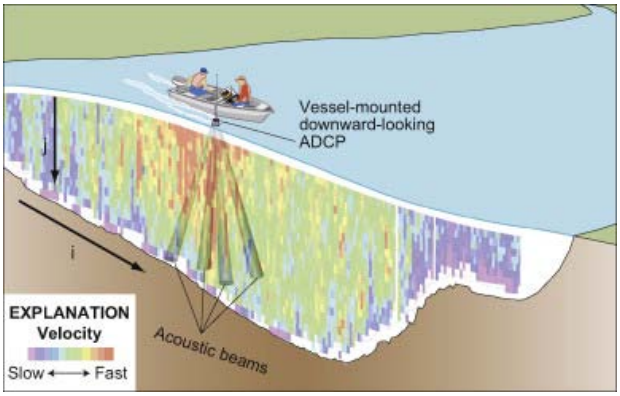
4.3 ประเภทติดกับเรือเคลื่อนที่

เครื่อง ADCP ประเภทติดกับเรือเคลื่อนที่ ออกแบบมาเพื่อใช้วัดปริมาณการไหลของน้ำในลำน้ำโดยตรง ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีความเร็วดัชนีในการคำนวณปริมาณน้ำ ทำให้ผลการตรวจวัดปริมาณน้ำมีความถูกต้องแม่นยำกว่าเครื่องวัดแบบติดอยู่กับที่อย่างในสองประเภทข้างต้น โดยเครื่อง ADCP นี้จะติดไปกับข้างเรือและส่งคลื่นเสียงในแนวดิ่งไปยังก้นลำน้ำ (ดังแสดงในรูปที่ 7)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเครื่อง ADCP ประเภทนี้จะสามารถวัดปริมาณน้ำได้โดยตรงและมีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่ก็ไม่เหมาะกับการใช้เพื่อติดตามสถานการณ์น้ำผ่านระบบโทรมาตรได้ เนื่องจากทุกครั้งที่ตรวจวัดต้องนำเครื่องวิ่งตัดลำน้ำ กรมชลประทานนำเครื่อง ADCP ประเภทนี้พร้อมด้วยระบบหาค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Differential Global Positionly System; DGPS) มาใช้เพื่อตรวจวัดปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา (ชูเกียรติ และคณะ, 2548)

รูปที่ 7 การติดตั้ง ADCP ประเภทติดตั้งกับเรือเคลื่อนที่

เมื่อเรือเคลื่อนที่ตัดลำน้ำจากตลิ่งฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งหนึ่ง คลื่นเสียงจะตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำของแต่ละจุดตลอดความลึกในแนวดิ่ง เมื่อคูณกับพื้นที่หน้าตัดการไหลในแนวดิ่งนั้น ก็จะได้ปริมาณน้ำในพื้นที่หน้าตัดของแต่ละแนวดิ่ง เมื่อเรือวิ่งถึงตลิ่งฝั่งตรงข้าม ผลรวมของปริมาณน้ำในพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด ก็คือปริมาณน้ำในลำน้ำ ณ เวลานั้นนั่นเอง (ดังแสดงในรูปที่ 8)



รูปที่ 8 การตรวจวัดปริมาณน้ำด้วยเครื่อง ADCP ประเภทติดกับเรือเคลื่อนที่

4.4 ประเภทติดกับแพเคลื่อนที่

เครื่อง ADCP ประเภทติดตั้งกับแพเคลื่อนที่ ออกแบบมาเพื่อใช้งานในลักษณะเดียวกับเครื่องวัดประเภทติดตั้งกับเรือเคลื่อนที่ ซึ่งวัดปริมาณน้ำในลำน้ำได้โดยตรง เนื่องจากการนำเรือเข้าตรวจวัดปริมาณน้ำในลำน้ำที่ไม่กว้างมาก มีความยุ่งยากและสิ้นเปลือง ประกอบกับเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการผลิตเครื่อง ADCP ประเภทติดกับเรือเคลื่อนที่ ได้ในขนาดที่เล็กลงและน้ำหนักเบา และประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงได้มีการผลิตเครื่อง ADCP ประเภทติดกับแพเคลื่อนที่ขึ้น เพื่อใช้วัดปริมาณน้ำในลำน้ำที่ไม่กว้างนักได้สะดวก รวดเร็วและประหยัดงบประมาณในการตรวจวัดลงได้มาก

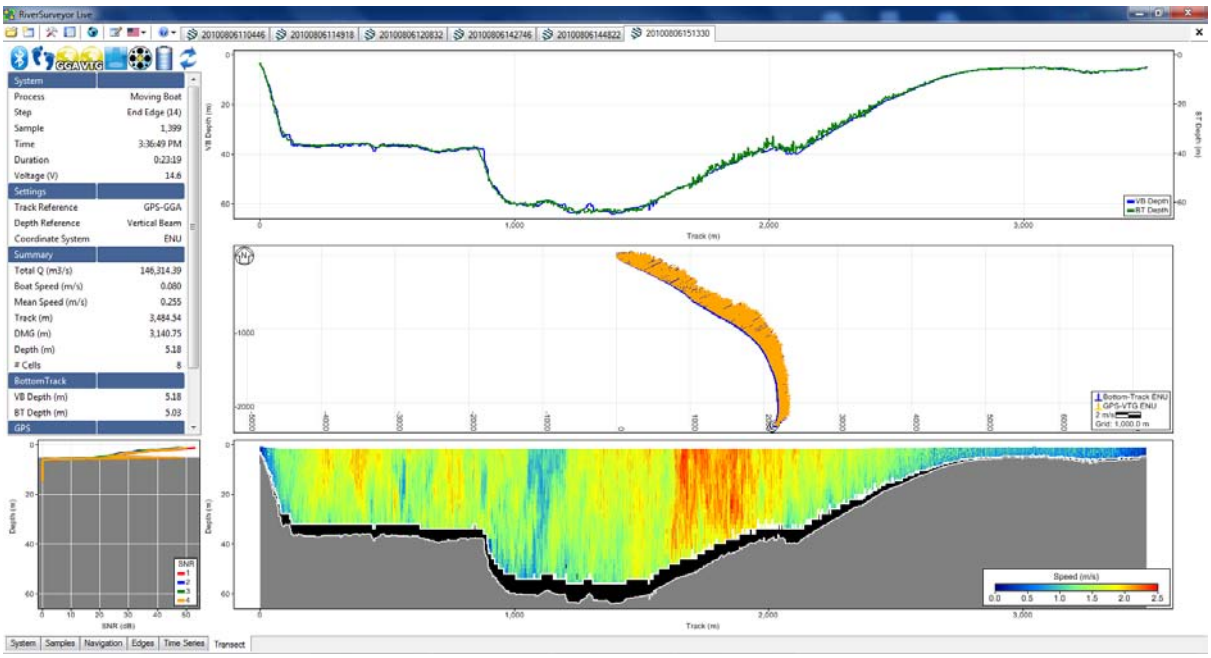
เครื่องวัดประเภทนี้จะมีเข็มทิศแม่เหล็ก (Magnetic Compass) ติดมากับเครื่องด้วยเพื่อบอกทิศทางที่แพเคลื่อนที่ได้ (โดยอ้างอิงกับพื้นก้นลำน้ำ) นอกจากนั้นยังสามารถต่อเชื่อมกับระบบหาค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) เพื่อหาพิกัดตำแหน่งได้แม่นยำขึ้นได้อีกด้วย ส่งผลให้ในปัจจุบันเครื่อง ADCP ประเภทนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการตรวจวัดปริมาณน้ำในลำน้ำ เครื่องวัดประเภทนี้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีหลากหลายรุ่นให้เลือก มีทั้งการตรวจวัดแบบ ขณะแพลอยอยู่คงที่ (stationary) และ แบบแพเคลื่อนที่ (non-stationary) ให้เหมาะสมกับงานตรวจวัดในกรณีต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 9

รูปที่ 9 เครื่อง ADCP ประเภทติดกับแพ รุ่น Stream Pro (ซ้าย) รุ่น RiverRay (กลาง) และ รุ่น RiverSurveyor M9 (ขวา)

ในการตรวจวัดปริมาณน้ำในลำน้ำที่ไม่ใหญ่หรือกว้างมาก ผู้วัดสามารถเดินข้ามสะพานและลากแพตัดลำน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำได้โดยไม่ต้องใช้เรือ หรือในกรณีไม่มีสะพาน ผู้ใช้อาจขึงเชือกข้ามลำน้ำแล้วผูกแพเข้ากับเชือก จากนั้นจึงลากแพข้ามลำน้ำ เพื่อตรวจวัดปริมาณน้ำได้เช่นกัน นอกจากนั้น ในกรณีแม่น้ำใหญ่ผู้ใช้ก็ยังสามารถผูกแพไว้กับเรือแล้วลากเรือตัดลำน้ำได้เช่นกัน (ดังแสดงในรูปที่ 10)

รูปที่ 10 การตรวจวัดปริมาณน้ำด้วยเครื่อง ADCP ประเภทติดกับแพเคลื่อนที่ ในกรณีขึงเชือกแล้วลากตัดลำน้ำ (ซ้าย) และในกรณีลากแพไปกับเรือ (ขวา)

การตรวจวัดปริมาณน้ำด้วยเครื่อง ADCP นี้ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์โน๊ตบุคโดยผ่านระบบ bluetooth ซึ่งผลการตรวจวัดทั้งหมดจะแสดงในหน้าจอของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุม ทำให้ผู้ตรวจวัดเห็นผลการตรวจวัดเช่น ความเร็วกระแสน้ำ ณ จุดต่างๆในหน้าตัดการไหล รูปหน้าตัดการไหล ปริมาณน้ำ ตลอดจนแนวการตรวจวัด ได้ตลอดระยะเวลาการตรวจวัด (ดังแสดงในรูปที่ 11) ในปี พ.ศ. 2548 กรมชลประทาน เริ่มนำเครื่องวัดประเภทนี้มาใช้ที่จังหวัดเชียงใหม่ และปัจจุบันได้มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง แทนการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด ช่วยให้การตรวจวัดปริมาณน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตรวจวัดรวดเร็วขึ้น และได้ผลที่แม่นยำขึ้น



รูปที่ 11 ผลการตรวจวัดปริมาณน้ำจาก ADCP ประเภทติดกับแพเคลื่อนที่ ทั้งนี้ ช่องด้านซ้ายมือในแนวดิ่ง คือ ข้อมูลการตรวจวัดและปริมาณน้ำ ช่องแนวนอนด้านบน แสดงหน้าตัดการไหลคือความลึกและความกว้างของลำน้ำ ช่องแนวนอนกลาง คือทิศทางและแนวที่แพวิ่งตัดลำน้ำ และช่องแนวนอนล่างแสดงความเร็วของกระแสน้ำ ณ จุดต่างๆในหน้าตัดการไหล ทั้งนี้ ผลการตรวจวัดนี้คือ การตรวจวัดปริมาณน้ำในแม่น้ำอเมซอน ประเทศบราซิล ในวันที่ 6 สิงหาคม ค.ศ.2010 ได้ปริมาณน้ำ 146,314.39 m^3/s ระยะเวลาตรวจวัด 23.2 นาที แม่น้ำกว้าง 3,500 เมตร ความลึกสูงสุด 62 เมตร (ที่มา Sloat, 2013)

5. สรุป

เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบคลื่นเสียงดอปเปลอร์ ADCP เป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่เข้ามาแทนที่เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำด้วยใบพัด ซึ่งใช้งานกันมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1932 มานานกว่า 80 ปี (Emery and Thomson, 2001) นอกจากเครื่อง ADCP จะช่วยให้การตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ กลายเป็นเรื่องง่าย สะดวก รวดเร็ว ไม่ยุ่งยากแล้ว ยังช่วยให้การตรวจวัดมีความถูกต้องแม่นยำขึ้นและประหยัดงบประมาณอีกด้วย ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ช่วยให้เครื่อง ADCP สามารถตรวจวัดตัวแปรต่างๆของการไหลในทางลำน้ำเปิดได้หลากหลายตัวเช่น ความเร็วกระแสน้ำ ระดับน้ำ ความลึก พื้นที่หน้าตัดการไหล และ ปริมาณน้ำ ทั้งนี้ การตรวจวัดยังเป็นการตรวจวัดในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา (Spatial and time) เช่น ความเร็วของกระแสน้ำ ณ ตำแหน่งและเวลาต่างๆ

นอกจากนั้น เครื่อง ADCP ยังมีหลากหลายประเภท ทั้งที่เหมาะสำหรับการเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์น้ำในลำน้ำโดยผ่านระบบโทรมาตร หรือเหมาะสำหรับการตรวจสอบปริมาณน้ำในลำน้ำในกรณีการส่งน้ำ เพื่อประโยชน์ต่อการปรับแก้ปริมาณการส่งน้ำให้ถูกต้องตามแผนงาน ซึ่งช่วยให้การบริหารจัดการ

น้ำมีประสิทธิภาพขึ้นได้ด้วยข้อมูลที่ทันต่อเหตุการณ์และถูกต้องแม่นยำ อย่างไรก็ตาม การใช้งานเครื่อง ADCP ควรศึกษาและเลือกประเภทของเครื่องวัดให้เหมาะกับงานการตรวจวัด จึงจะช่วยให้ใช้เครื่องวัดได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและประหยัดงบประมาณจัดซื้อด้วย ตารางที่ 1 จึงสรุปความสามารถของเครื่องมือ ADCP ตามประเภทการติดตั้งไว้ เพื่อการพิจารณาเลือกใช้ในเบื้องต้น

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความสามารถในการตรวจวัดของเครื่อง ADCP ประเภทต่างๆ

ประเภทตามการติดตั้ง	ความสามารถในการตรวจวัด									หมายเหตุ
	ความเร็วน้ำ	ความเร็วและทิศทาง	ความลึก	ความกว้าง	ความเร็วและหน้าตัด	ปริมาณน้ำ	ตรวจวัดอัตโนมัติ	GPS เชื่อมต่อ	เชื่อมต่อโทรมาตร	
ข้างตลิ่ง	✓	✓		✓			✓		✓	*
ก้นลำน้ำ	✓	✓	✓				✓		✓	*
เรือเคลื่อนที่	✓	✓	✓		✓	✓		✓		
แพเคลื่อนที่	✓	✓	✓		✓	✓		✓		

หมายเหตุ : * ตรวจวัดปริมาณน้ำได้ แต่ต้องใช้เทคนิค ความเร็วดัชนี เข้าช่วย

การบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพ นอกจากจะช่วยให้เกิดการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า ยังช่วยพัฒนาชาติได้อีกด้วย เนื่องจากน้ำที่ประหยัดได้ สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ สร้างผลผลิตแก่ประเทศได้ ตัวอย่างเช่น หากประสิทธิภาพการชลประทานเพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 10 จะช่วยให้มีน้ำมากขึ้นเพียงพอต่อการจัดสรรแก่พื้นที่ชลประทานได้มากขึ้นประมาณร้อยละ 10 เช่นกัน ช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรของชาติ โดยไม่จำเป็นต้องพัฒนาแหล่งน้ำเพิ่มเติมเพื่อจัดหาแหล่งน้ำต้นทุนเพิ่ม

ปัจจุบัน เครื่อง ADCP ได้รับความนิยม นำไปใช้ในงานวิจัยต่างๆมากมาย เช่น ศึกษาถึงคุณลักษณะของการไหลแบบปั่นป่วนในลำน้ำ (García et al., 2005) การศึกษาอัตราการเคลื่อนตัวของตะกอนท้องน้ำ (Muste et al., 2007) การศึกษาตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ (Filizola and Guyot, 2004) การศึกษาการรั่วซึมของน้ำในคลองดิน (Kinzli et al., 2010) เป็นต้น ดังนั้น งานวิจัยครั้งต่อไป โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องชลศาสตร์ของของไหล จึงควรให้ความสนใจและนำเครื่อง ADCP มาใช้ในงาน เพราะจะช่วยให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและคุณภาพ อันจะช่วยให้งานวิจัยประสบความสำเร็จและผลงานวิจัยเป็นที่ยอมรับในวงกว้าง ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้ตรวจสอบบทความ ตลอดจนให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อคุณภาพของบทความ

เอกสารอ้างอิง

ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล, กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ, เสรี เศวตเศรณี, และคณะ (2548). โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำปากแม่น้ำเจ้าพระยาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, รหัสโครงการ RDG4430004, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

สมเกียรติ อภิพัฒนวิศว์, สุเมธ สาธุเสน, และ ธาดา สุขะปุณพันธุ์ (2554). การคำนวณปริมาณการไหลในแม่น้ำภายใต้อิทธิพลระดับน้ำทะเลด้วยดัชนีความเร็ว, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16

Christensen, J. L., and Herrick, L. E. (1982). Mississippi River Test, Volume 1. Final report DCP4400/300, prepared for the U.S. Geological Survey by AMETEK/Straza Division, El Cajon, California, under contract No. 14–08–001–19003, p. A5–A10.

Emery W. J. and Thomson, R. E. (2001) Data Analysis Methods in Physical Oceanography, Second and Revised Edition, Elsevier, The Netherlands.

Filizola, N. and Guyot, J. L. (2004). The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon, Hydrological Sciences Journal, 49(1), 143-153.

García, C., Cantero, M., Niño, Y., and García, M. (2005). Turbulence Measurements with Acoustic Doppler Velocimeters, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 131, Issue 12, pp. 1062–1073.

Kinzli, K. D., Martinez, M., Oad, R. Prior, A., and Gensler, D. (2010). Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district, Agricultural Water Management, Vol. 97, Issue 6, pp. 801-810.

Muste, M., Vermeyen, T., Hotchkiss, R., and Oberg K. (2007). Acoustic Velocimetry for Riverine Environments, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 133, No. 12, pp. 1297-1298.

Morlock, S. E. (1996). Evaluation of Acoustic Doppler Current Profiler Measurements of River Discharge: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4218, 37 p.

Simpson, M. R., and Oltmann, R. N., 1993, Discharge measurement using an acoustic Doppler current profiler with Application to Large Rivers and Estuaries: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2395, 34 p.

Sloat, J. (2013) personal communication (26 March 2013)

SONTEK (2012) Available at: http://www.sontek.com/ (Accessed: 6 April 2013).

RDI (2013) Available at: http://www.rdinstruments.com/ (Accessed: 6 April 2013)