โดย รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์*

GPS Drifter

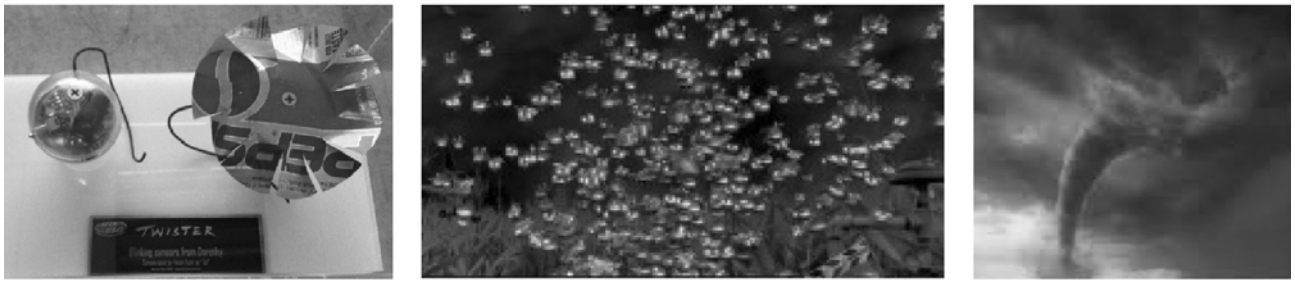
ทุ่นตรวจสภาพการไหลของน้ำในทางน้ำด้วยจีพีเอส

คำนำ

ในช่วงน้ำท่วมใหญ่ปี 2554 ได้เห็นภาพน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมทุ่งสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา โดยไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้เกิดคำถามว่าแล้วจะรู้ได้อย่างไรว่าน้ำจะไหลไปไหน ไหลเร็วมากน้อยเท่าใด โดยเฉพาะทุ่งเจ้าพระยาฝั่งตะวันออก น้ำเข้าท่วมเต็มทุ่งแล้วเคลื่อนไปตามแนวแม่น้ำลพบุรี จึงเกิดคำถามตามมาว่ามวลน้ำเหล่านี้จะใช้เวลาเท่าใดจึงจะเคลื่อนตัวถึงอยุธยา ซึ่งเปรียบเสมือนจุดบรรจบของมวลน้ำจำนวนมหาศาลจากหลายทิศหลายทาง ทั้งมวลน้ำที่ไหลมาตามแม่น้ำเจ้าพระยา มวลน้ำจากแม่น้ำป่าสัก และมวลน้ำที่เคลื่อนตัวมาตามแนวแม่น้ำลพบุรี ในช่วงนั้นมีความพยายามที่จะส่งทีมเข้าไปวัดน้ำซึ่งทำได้ค่อนข้างลำบาก เพราะน้ำท่วมเป็นอุปสรรคต่อการเข้าไปวัดน้ำ จึงเกิดความคิดว่าทำไมไม่เอา GPS ใส่ลูกบอลสัก 100 - 200 ลูกปล่อยให้ลอยน้ำเข้าไปในทุ่ง แล้วติดตามการเคลื่อนที่ของ GPS จะทำให้ทราบว่ามวลน้ำในทุ่งเคลื่อนตัวไปทางไหน ด้วยความเร็วเท่าใด แล้วทำแผนที่การเคลื่อนตัวของมวลน้ำในทุ่ง จะทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของมวลน้ำในทุ่ง ซึ่งจะมีประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำท่วม

* ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีเพื่อการชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แนวคิดนี้มาจากหนังฝรั่งเรื่อง Twister ที่นักล่าทอนาโดพัฒนาอุปกรณ์ติดเซนเซอร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของพายุทอนาโด ดังรูปที่ 1 อย่างไรก็ตามแนวคิดนี้ไม่มีการนำไปศึกษาต่ออย่างจริงจัง จนกระทั่งคณาจารย์กลุ่มหนึ่งจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และเจ้าหน้าที่กรมชลประทาน ได้ร่วมมือกันเสนอชุดโครงการวิจัยเรื่อง IoT เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำ โดยหนึ่งในโครงการวิจัยย่อยคือการพัฒนาทุ่นติด GPS เพื่อติดตามการไหลของน้ำ โดยเฉพาะในลำน้ำซึ่งไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ (Flow Velocity) และอัตราการไหลของน้ำ (Discharge) ซึ่งถึงแม้ว่าโครงการวิจัยยังไม่ได้อนุมัติ แต่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน และ SWOC ได้เริ่มลงมือพัฒนาทุ่นติด GPS ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า "ทุ่นตรวจสภาพการไหลของน้ำในทางน้ำด้วยจีพีเอส หรือเรียกสั้นๆว่า GPS Drifter" และขอถือโอกาสต้อนรับปีใหม่ 2562 นำเรื่อง GPS Drifter มาเล่าสู่กันฟัง และถ้าใครมีแนวคิดดีๆเกี่ยวกับเรื่องนี้ก็ช่วยส่งให้ทีมนักวิจัย GPS Drifter ด้วยจักขอบคุณยิ่ง



รูปที่ 1 ภาพ Dorothy อุปกรณ์ติดเซนเซอร์ติดตามการเคลื่อนที่ของพายุทอนาโด จากหนังเรื่อง Twister

งานวิจัยและพัฒนาทุ่นติดตั้ง GPS เพื่อตรวจวัดสภาพการไหลของน้ำ

แนวคิดในการใช้ทุ่นตรวจสภาพการไหลของน้ำไม่ใช่ของใหม่ มีความพยายามของหลายสถาบันการศึกษาและหน่วยงานที่พยายามพัฒนาทุ่นที่ติดตั้ง GPS และ Sensors หลากหลายแบบเพื่อติดตามตรวจสอบพารามิเตอร์ในการไหลของน้ำทั้งปริมาณและคุณภาพ เช่น ความเร็ว อุณหภูมิ ความเค็ม ค่ามลพิษต่างๆ หรือพารามิเตอร์เกี่ยวกับน้ำที่สนใจ แล้วนำเอาทุ่นดังกล่าวไปลอยน้ำในบริเวณที่ต้องการศึกษา เช่น ในลำน้ำ บริเวณที่น้ำท่วมตลิ่งพัง ปากแม่น้ำ จุดบรรจบระหว่างแม่น้ำสองสาย ทะเลสาบ ทะเลหรือมหาสมุทร Sensors ในทุ่นจะส่งข้อมูลแบบ Online เข้าสู่ Server ทำให้สามารถวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์การไหลแบบต่อเนื่อง ทำให้ได้ข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสถานที่ (Temporal and Spatial Variation) แทนการตรวจวัดแบบเฉพาะจุด (Point Monitoring) ดังที่นิยมปฏิบัติกัน ประเด็นนี้ถือเป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งของทุ่นตรวจสภาพการไหลของน้ำ

มวลน้ำในมหาสมุทรซึ่งมีมากถึง 1.35 ล้านล้าน ลบ.เมตร มีการเคลื่อนตัวตลอดเวลา มีอิทธิพลต่อการกระจายความร้อนที่พื้นผิวมหาสมุทร ซึ่งส่งผลต่อภูมิอากาศของโลกโดยตรง และสิ่งมีชีวิตในทะเลและมหาสมุทร NOAA ได้พัฒนา GPS Drifter ใช้เป็นเครื่องมือทางสมุทรศาสตร์ เพื่อศึกษาทิศทางการไหลของน้ำและพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าความเค็ม อุณหภูมิ ลม ความดันบรรยากาศ และสีของน้ำในมหาสมุทร GPS ที่ติดตั้งในทุ่นของ NOAA สามารถส่งข้อมูลผ่านดาวเทียม ได้ต่อเนื่องประมาณ 1 - 1.5 ปี

https://www.liveviewgps.com/blog/noaa-launch-drifter-equipped-gps-trackers-ocean-water-flows

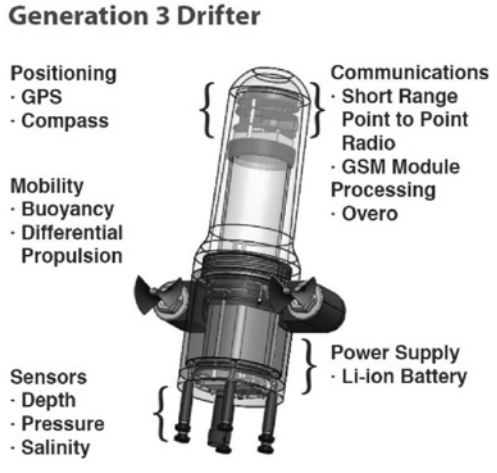
โครงการวิจัยที่มีการพัฒนาทุ่นตรวจสภาพการไหลของน้ำอย่างจริงจังและมีการรายงานผลงานอย่างต่อเนื่องคือ โครงการ Floating Sensor Network (FSN) ของ University of California at Berkeley โดยมี Lagrangian Sensor Systems Laboratory, Lawrence Berkeley National Laboratories และ California Department of Water Resources ร่วมมือกันพัฒนาทุ่นติดตั้ง Sensors แบบต่างๆ เพื่อติดตามการไหลของน้ำและการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำในแม่น้ำและบริเวณปากแม่น้ำ ตั้งแต่ปี 2550 โดยโครงการ FSN มีวิสัยทัศน์ที่น่าสนใจ คือ

"put California water online, to create a system that will enable water managers and scientists to visualize the evolution of California's water resources un real time".

ที่มา https://www.postscapes.com/floating-sensor-network/

ทุ่นตรวจสภาพการไหลของน้ำจะทำให้ทราบว่าน้ำไหลไปไหน (where water is going) ทราบทั้งทิศทางความเร็ว และคุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำ ที่มีแม่นยำและเป็นปัจจุบัน อีกทั้งค่าที่ทุ่นตรวจวัดได้ยังมีเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลา ตามการเคลื่อนของน้ำ ซึ่งจะช่วยให้หน่วยงานด้านน้ำเข้าใจการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและคุณภาพน้ำ และสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เช่น กรณีมีการรั่วไหลของน้ำเสียลงสู่ทางน้ำ ทุ่นจะสามารถติดตามว่าน้ำเสียมีการกระจายตัวไปตามกระแสน้ำมากน้อยเพียงใด

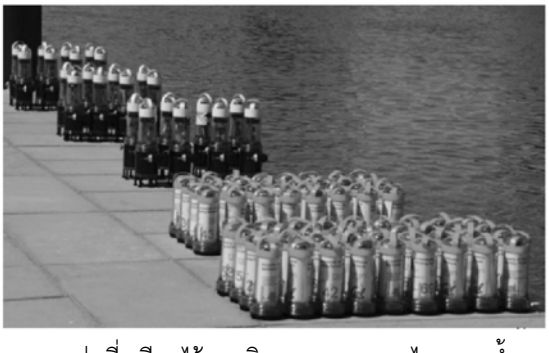
ในปี 2555 ทีม FSN ได้สร้างทุ่นติดมอเตอร์ GPS ระบบสื่อสารทั้งวิทยุและ GSM โมดูล เซนเซอร์วัดความลึกของน้ำ อุณหภูมิ และค่าความเค็ม เป็นทุ่นรุ่นที่ 3 ซึ่งเรียกว่า Floating Robot มีรายละเอียดและขีดความสามารถ ดังรูปที่ 2 FSN ได้สร้างทุ่นจำนวนมากเพื่อนำไปลอยน้ำเก็บข้อมูลสภาพการไหลของน้ำดังรูปที่ 3 พร้อมกันนั้นยังได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดจากทุ่น และข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอื่นๆ แล้วนำมาสร้างแผนที่แสดงสภาพการไหลของน้ำในลำน้ำ แบบ 2D ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 รายละเอียดทุ่นรุ่นที่ 3 ของ Floating Sensor Network, UC. Berkeley

- Use GPS to track surface water flow
- Can use differential drive motors to move to a desired GPS point at approximately 0.5 m/s
- Can send flow and quality data in real time using GSM network (like an iPhone using 3G)
- Can use buoyancy control system to "dive" to 5m depth.
- Can communicate with each other over Zigbee short range wireless radio.
- Can measure salinity in real time
- 72 hour operational lifetime

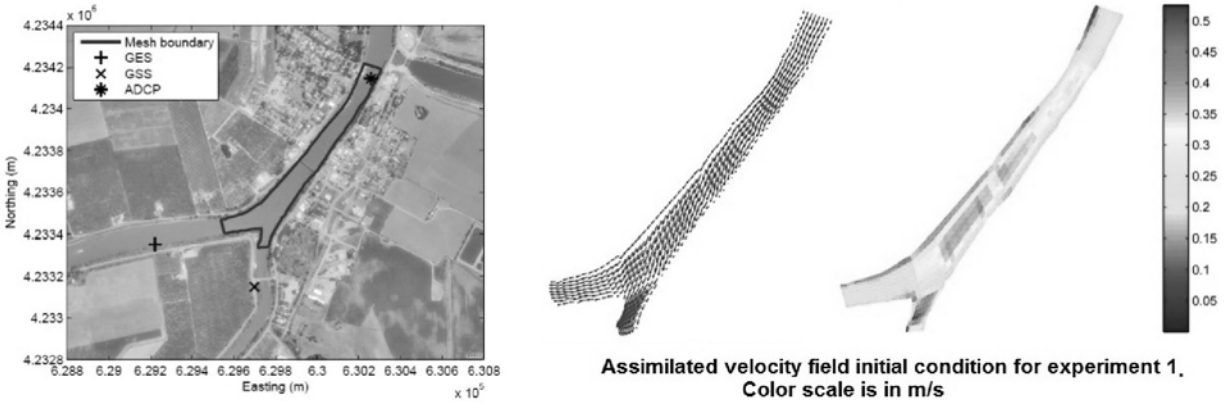
(http://float.berkeley.edu/)



(1) ทุ่นที่เตรียมไว้ลอยติดตามสภาพการไหลของน้ำ

(2) ทุ่นขณะลอยติดตามสภาพการไหลของน้ำ

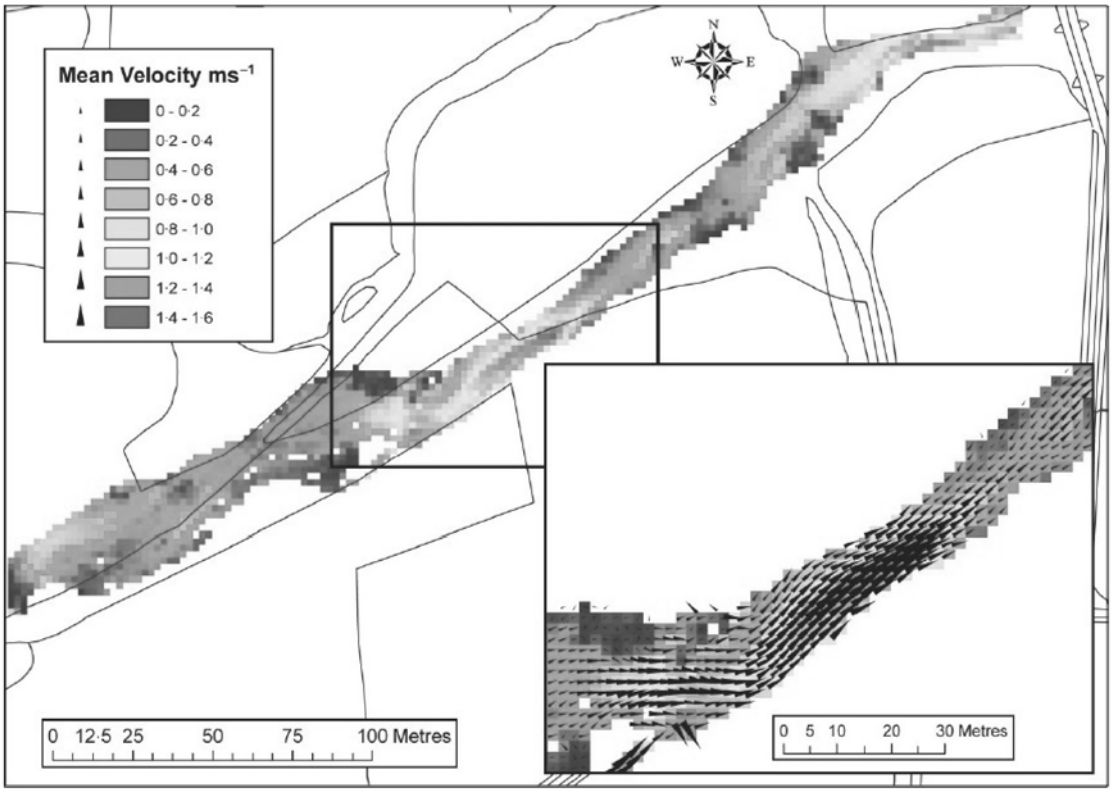
รูปที่ 3 ลอยทุ่นจำนวนมากเพื่อติดตามสภาพการไหลของน้ำ (http://float.berkeley.edu/)



รูปที่ 4 แผนที่แสดงทิศทางและความเร็วกระแสน้ำแบบ 2D (Tinka et al., 2009)

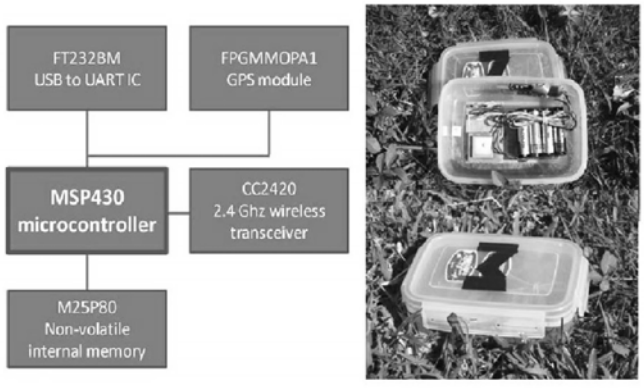
ในช่วงเวลาเดียวกัน Stockdale et al.(2008) คณะนักวิจัยใน UK ได้พัฒนาทุ่นเพื่อวัดความเร็วของกระแสน้ำในแม่น้ำซึ่งเรียกว่า GRiFTers (GPS River Flow Tracers) มีรายละเอียดดังรูปที่ 5 ทุ่นมี 2 แบบ แบบแรกเป็นทุ่นแบบโดนัท แบบที่สองเป็นทุ่นบรรจุในถุงพลาสติกป้องกันน้ำ ทั้ง 2 แบบ ถูกออกแบบให้สามารถลอยในน้ำตื้น ลดการเกยตื้นและลดผลกระทบของลมให้น้อยที่สุด ทุ่นแบบโดนัทจะช่วยลดการติดกับได้ดีกว่า ขณะที่ทุ่นบรรจุในถุงพลาสติกป้องกันน้ำส่งสัญญาณ GPS ได้ดีกว่า คระผู้วิจัยได้นำ GRiFTers ไปทดสอบวัดการไหลของกระแสน้ำในแม่น้ำ Swale แล้วนำมาสร้างแผนที่กระแสน้ำแบบ 2D ที่มีขนาดกริด 2x2 ม2. ซึ่งแสดงทั้งความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำ ดังรูปที่ 6

รูปที่ 5 GRifTers (1) GPS ซึ่งมี Data logger (2) ทุ่นแบบโดนัทขนาดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. (3) ทุ่นบรรจุในถึงพลาสติกป้องกันน้ำ Stockdale et al.(2008)

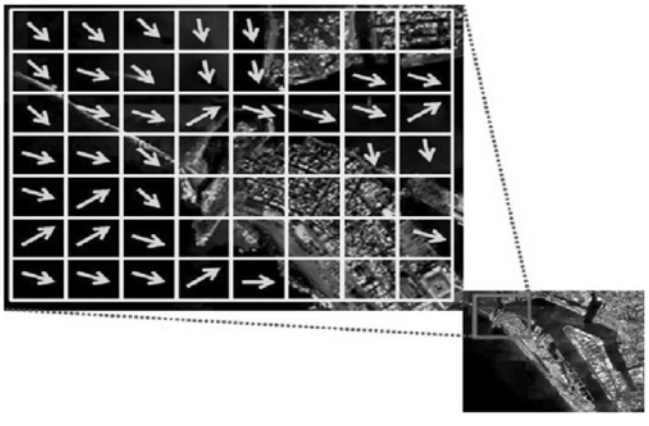


รูปที่ 6 แผนที่แสดงความเร็วกระแสน้ำแบบ 2D ในแม่น้ำ Swale, UK ที่สร้างจากข้อมูลของ GRiFTer (Stockdale et al., 2008)

ในปี 2011 Lee และคณะนักวิจัยจาก National HsingHua University ไต้หวัน ได้ทุนวิจัยจาก National Science Economic Affair เพื่อพัฒนาวิธีการวัดความเร็วผิวน้ำแบบต้นทุนต่ำโดยใช้ทุ่นติด GPS ดังรูปที่ 7(1) สำหรับผู้ที่ไม่มีความชำนาญในการตรวจวัดน้ำ สามารถนำไปวัดความเร็วของกระแสน้ำแทนเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำที่มีราคาสูง เช่น Acoustic Doppler (ADCP) หรือ การใช้ Radar ได้ข้อมูลจากทุ่นติด GPS สามารถนำมาสร้างแผนที่แบบ 2D แสดงทิศทางและความเร็วกระแสน้ำ ดังรูปที่ 7(2) แผนที่ดังกล่าวจะช่วยบอกว่าบริเวณใดน้ำไหลแบบปั่นป่วน และมีโอกาสในการเกิดน้ำวน (Vortexes) ซึ่งสามารถนำไปใช้สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุบนผิวน้ำ เช่น เรือ นอกจากนี้ข้อมูลแผนที่แสดงทิศทางและความเร็วการไหลของน้ำยังมีประโยชน์ต่อการศึกษาเกี่ยวกับการอพยพของปลา การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นและการสร้างช่องทางเดินเรือที่ปลอดภัย เป็นต้น



(1) Wireless GPS Sensor



(2) Parameter map showing current direction in harbor

รูปที่ 7 GPS Sensor และแผนที่แสดงทิศทางและความเร็วในการไหลของน้ำ แบบ 2D ในบริเวณทางเข้าท่าเรือ (Lee et al., 2011)

โครงการการวิจัย KU-RID ในการพัฒนาทุ่นติดตั้ง GPS ตรวจสภาพการไหลของน้ำในทางน้ำ

ในปี 2561 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ได้นำเสนอแนวคิดในการพัฒนาทุ่นติดตั้ง GPS เพื่อตรวจสภาพการไหลของน้ำในทางน้ำแก่ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ (SWOC) กรมชลประทาน และได้ขอความร่วมมือ SWOC เพื่อพัฒนาโครงการวิจัยทุ่นติดตั้ง GPS เพื่อติดตามสภาพการไหลของน้ำในทางน้ำ คณะนักวิจัยประกอบด้วยคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน และเจ้าหน้าที่จาก SWOC โดยมี อ.ดร.ชูพันธุ์ ชมพูจันทร์ เป็นหัวหน้าโครงการ โครงการมีความก้าวหน้าเป็นที่น่าพอใจ ในระยะเวลาไม่กี่เดือนได้มีการพัฒนาทุ่นติดตั้ง GPS รุ่นแรก และได้เริ่มทดสอบการทำงานของทุ่นหลายครั้ง ทั้งในทางน้ำขนาดเล็ก เช่น คลองท่าสาร-บางปลา ในคลองชลประทาน 3R-5L-2L โครงการส่งน้ำบำรุงรักษาสองพี่น้อง และในแม่น้ำป่าสัก ดังรูปที่ 8

(1)การทดสอบการทำงานทุ่นในแม่น้ำป่าสัก

(2)การทดสอบการทำงานทุ่นในคลองชลประทาน

รูปที่ 8 ทุ่นตรวจสภาพการไหลของน้ำในทางน้ำ

ผลการทดสอบ

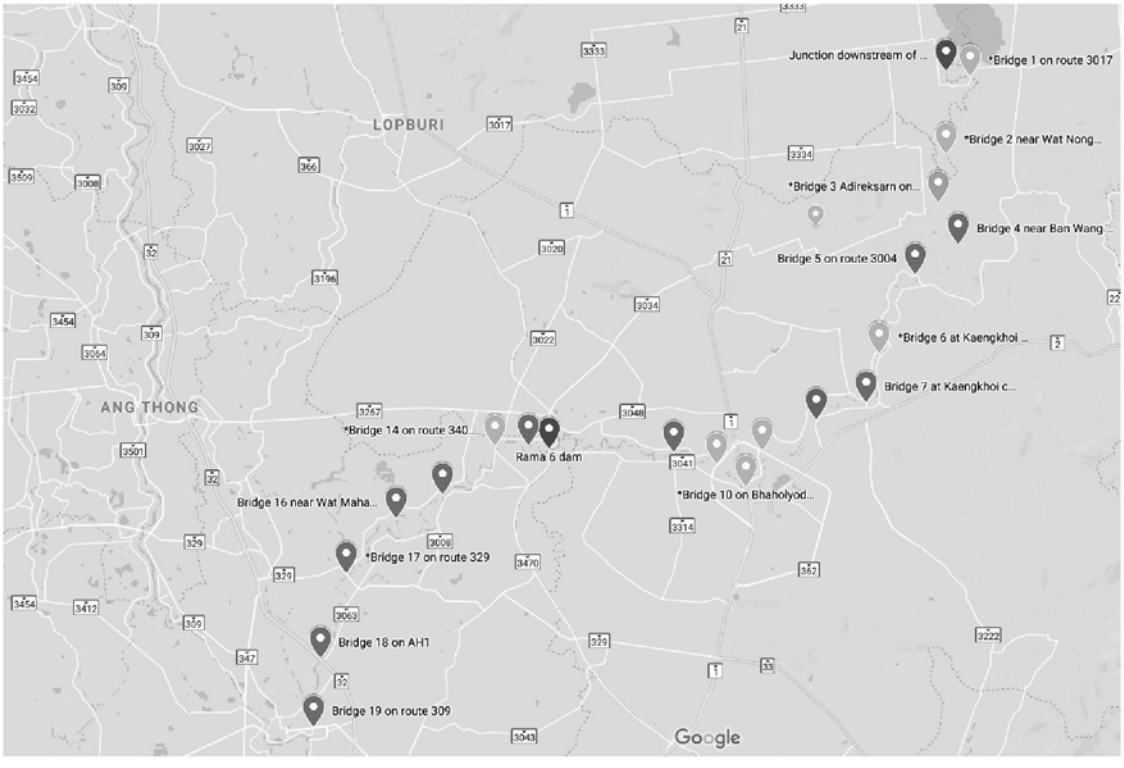
การทดสอบทุ่นตรวจวัดสภาพการไหลของน้ำในแม่น้ำป่าสัก ระหว่างเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ถึงเขื่อนพระราม 6 โดยทีมนักวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับกรมชลประทาน ระหว่าง วันที่ 11-12 กันยายน 2561 โดยมีวัตถุประสงค์ต้องการทราบว่า น้ำที่ระบายจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์จะใช้เวลากี่ชั่วโมงจึงจะไหลไปถึงเขื่อนพระราม 6 คณะผู้วิจัยจึงได้กำหนดจุดทดสอบการปล่อยทุนและการติดตามการเคลื่อนที่ของทุน โดยจัดทำแผนที่แสดงจุดสำคัญในแม่น้ำป่าสักจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ถึงเขื่อนพระราม 6 ซึ่งมีระยะทาง 104.400 กม. (ในการทดสอบกำหนดให้จุดตัดระหว่างแม่น้ำและคลองระบายท้ายทางระบายน้ำล้นเป็น กม. 0+000) ดังแสดงในรูปที่ 9 ช่วงของแม่น้ำป่าสักที่ใช้ทดสอบ มีสะพานที่สำคัญ 12 สะพาน และมีสถานีโทรมาตร 7 สถานี ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

การทดสอบใช้ทุ่นติด GPS จำนวน 8 ทุ่น โดยตั้งให้ทุ่นส่งข้อมูลทุก 15 วินาที ทุ่นรายงานตำแหน่งและเวลา ตลอดการทดสอบ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 10 (1)-(8)

ข้อมูลความความเร็วทุ่นแบบจุดต่อจุด (Point to point velocity) เปรียบเทียบระหว่างทุ่นทั้ง 8 ทุ่น และฮิสโตแกรมการแจกแจงความเร็วทุ่นแสดงอยู่ในรูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์พบว่าทุ่นมีความเร็วเฉลี่ย 1.035+0.027 ม. ต่อวินาที (95% confident interval) ด้วยความเร็วนี้ ทุ่นใช้เวลาเดินทางจากจุดตัดท้ายเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ถึงเขื่อนพระราม 6 ระยะทาง 104.4 ใน 30 ชั่วโมง แต่น้ำจะมีความเร็วต่ำกว่าทุ่นซึ่งเป็นความเร็วผิวน้ำ โดยสัดส่วนความเร็วน้ำต่อความเร็วทุ่นเท่ากับ 0.862 (Hulsing et al., 1966) จึงประมาณว่าน้ำจะใช้เวลาเดินทาง 35 ชั่วโมง ที่อัตราการระบายน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ 90 ลบ.ม/วินาที

เมื่อแปลงความเร็วทุ่นเป็นความเร็วเฉลี่ยของน้ำ จะช่วยให้สามารถประมาณความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านสถานีโทรมาตรซึ่งมีการวัดระดับน้ำแบบตามเวลาจริง ดังนั้นการใช้ทุ่นช่วยในการติดตามการไหลของน้ำจะช่วยให้สามารถหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลสถานีโทรมาตรตามเวลาจริงได้

นอกจากนี้ในช่วงวิกฤติเกิดอุทกภัย มีความจำเป็นต้องระบายน้ำจำนวนมากจากอ่างเก็บน้ำ การปล่อยทุน GPS ลอยไปกับน้ำ จะทำให้สามารถเฝ้าติดตาม (Tracking) ดูการเคลื่อนที่ของทุ่นได้ทางอินเตอร์เน็ตหรือแอพพลิเคชั่นในสมาร์ทโฟน ดังรูปที่ 12 ซึ่งจะทำให้ประชาชนที่อยู่อาศัยสองฝั่งแม่น้ำทราบว่ามวลน้ำจะเคลื่อนที่มาถึงพื้นที่ของตัวเองเมื่อไร และควรเตรียมการอย่างไร

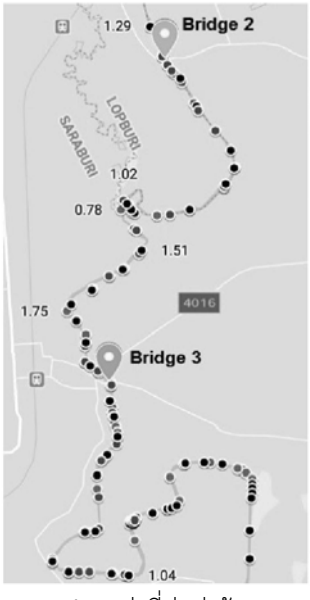


รูปที่ 9 แผนที่แม่น้ำป่าสักท้ายเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์และจุดสำคัญในการติดตามทุ่นตรวจวัดสภาพการไหลของน้ำ

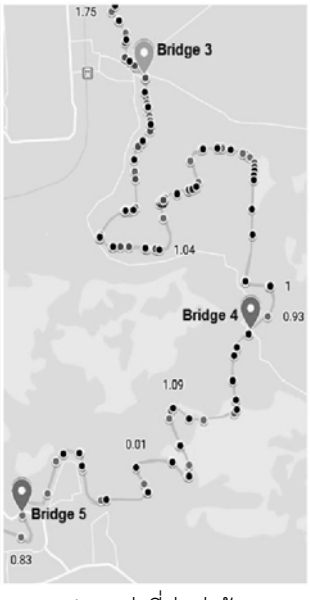
ตารางที่ 1 รายละเอียดสะพานและสถานีโทรมาตรในแม่น้ำป่าสักช่วงที่ทดสอบทุ่น

Location	Name	Km.	Telemetering stations	m.from bridge 1
1	Junction downstream of Pasak dam	0+000		
2	*Bridge 1 on route 3017	2+970	TS.11, S.28	0
3	*Bridge 2 near Wat Nong Krot	14+070		11,100
4	*Bridge 3 (Adireksarn) on route 4016	20+780	Telehaii 0540-Wung Muang	17,810
5	Bridge 4 near Bam Wung Muang	30+060		27,090
6	Bridge 5 on route 3004	37+910		34,940
7	*Bridge 6 at Kaengkoi on route connecting 3001 and 3223	49+910	S.9 (TS.9)	46,940
8	Bridge 7 at Kaengkoi on route connecting 3001 and 3188	54+950		51,980
9	Bridge 8 ar Wat Ran Deaw	61+770		58,800
10	*Bridge 9 on route 362 near Saraburi province	74+350	S.32	71,380
11	*Bridge 10 on Bhaholyodhin	78+450	S.32-ID.50	75,480
12	*Bridge 11 on route 362 near Wat Dao Ruang	83+200		80,230
13	Bridge 12 on route 3314	88+300		85,330
14	Rama 6 dam 104+400	TS.9P	101,430	
15	Bridge 13 Phom Rung Sri	107+100		104,130
16	*Bridge 14 on route 3407	110+980	S.26	108,010
17	Bridge 15 on route connecting 3467 and 3008 near Wat Pho En	120+980		118,010
18	Bridge 16 near Wat Mahaeyong	130+580		127,610
19	*Bridge 17 on route 329	140+380	Telehaii 0590	137,410
20	Bridge 18 on AH1	149+220		146,250
21	Bridge 19 on route 309	155+350		152,380
	* available telemetering stations			

(1)ตำแหน่งที่ทุ่นส่งข้อมูล ระหว่างสะพาน 1 และ 2



(2)ตำแหน่งที่ทุ่นส่งข้อมูล ระหว่างสะพาน 2 และ 3



(3)ตำแหน่งที่ทุ่นส่งข้อมูล ระหว่างสะพาน 3 และ 5

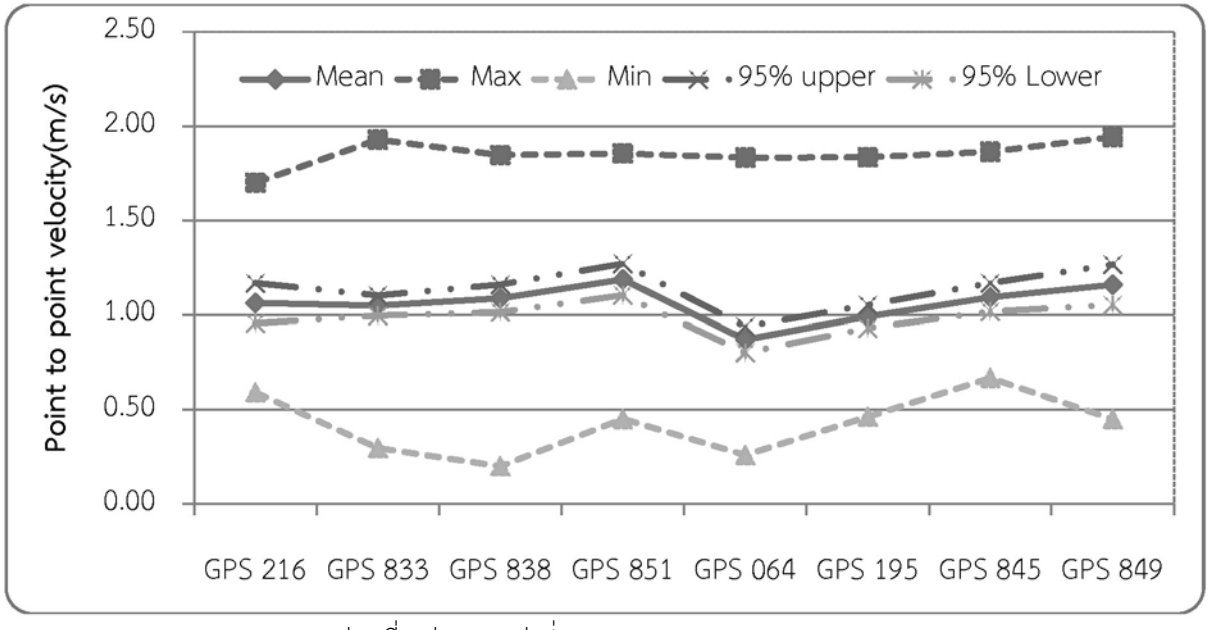
(4)ตำแหน่งที่ทุ่นส่งข้อมูล ระหว่างสะพาน 5 และ 6

(6)ตำแหน่งที่ทุ่นส่งข้อมูล ระหว่างสะพาน 6 และ 8

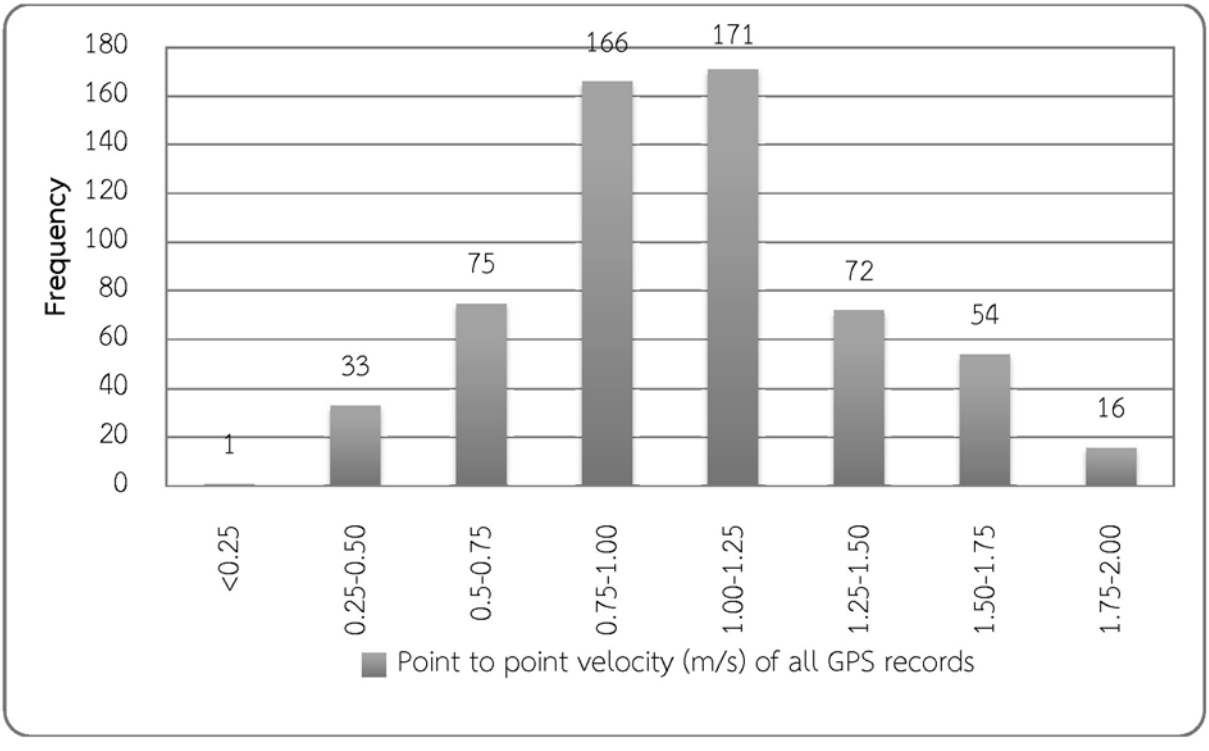
(7)ตำแหน่งที่ทุ่นส่งข้อมูล ระหว่างสะพาน 8 และ 12

(8)ตำแหน่งที่ทุ่นส่งข้อมูล ระหว่างสะพานหมายเลข 12 และ เขื่อนพระราม 6

รูปที่ 10 จุดแสดงตำแหน่งที่ทุ่นส่งข้อมูลตำแหน่งและเวลา ในช่วงต่างๆของแม่น้ำป่าสัก ในการทดสอบ ระหว่างวันที่ 11-12 กันยายน 2561

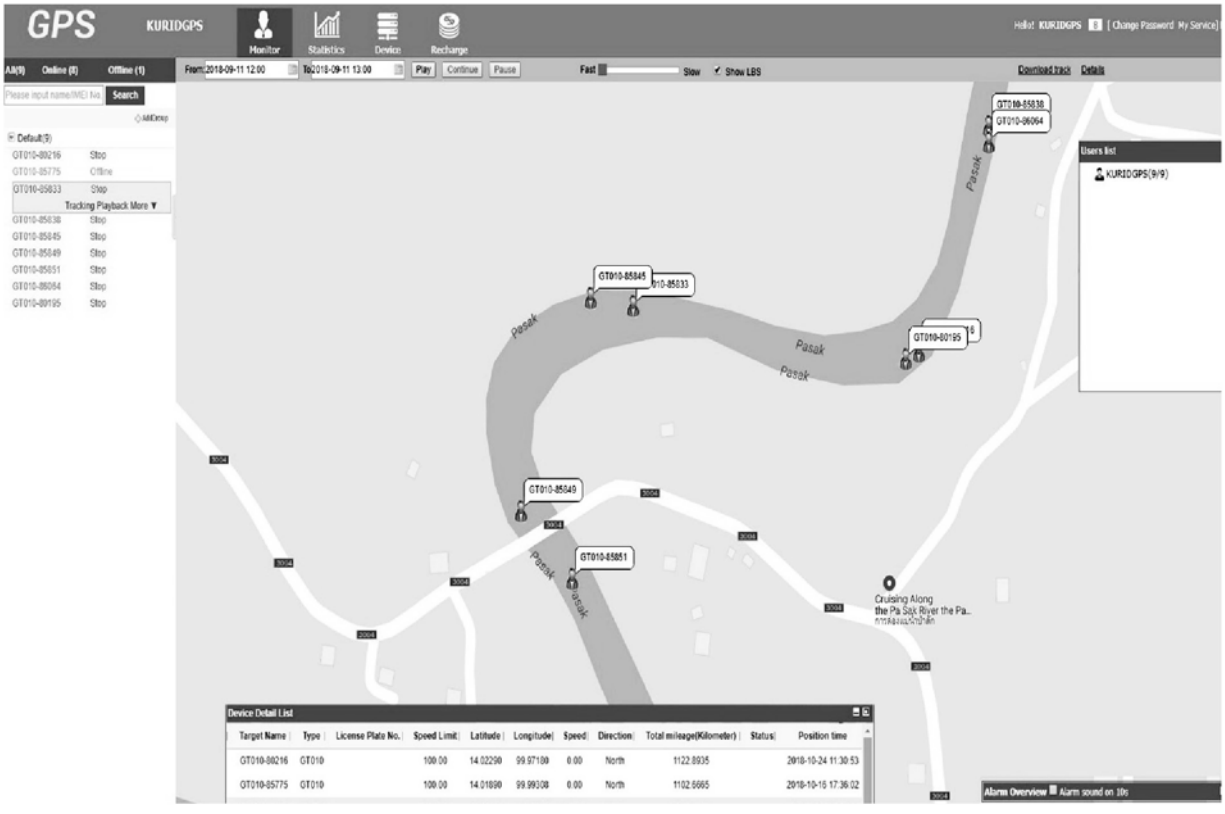


(1) ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และ 95% Confidence interval ของความเร็วแบบจุดต่อจุดของ 8 ทุ่น



(2) ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายความเร็วแบบจุดต่อจุดของ 8 ทุ่น

รูปที่ 11 ค่าสถิติและฮิสโตแกรมของความเร็วแบบจุดต่อจุดของทุ่นทั้ง 8 ทุ่น



รูปที่ 12 การเฝ้าติดตามการเคลื่อนที่ของทุ่น GPS ทางอินเตอร์เน็ตหรือแอพพลิเคชั่นในสมาร์ทโฟน

สรุป

ทุ่นตรวจสภาพการไหลของน้ำด้วย GPS ถือเป็นนวัตกรรมที่ควรมีการพัฒนาต่อไปเพื่อให้หน่วยงานที่ทำหน้าที่บริหารจัดการน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวัดปริมาณและคุณภาพน้ำ และติดตามการเคลื่อนที่ของมวลน้ำในช่วงอุทกภัย

เอกสารอ้างอิง

Hulsing, H., Smith, W. and E.D.Cobb (1966), Velocity-head coefficients in open channels, River Hydraulics, Geological Survey Water-Supply paper 1896-c, prepared in cooperation with the California Department of Water Resources, US. Government Printing Office, 56p.

Lee, H.C, Lin, C.Y., Lin, C.H., Hsu, S.W. and C.T. King (2010), A low cost method for measuring surface currents and modeling drifting objects, IEEE Transactions on Instrument and measurement: 60(3).

Stockdale, R. J., McLelland , S. J., Middleton, R. and T. J. Coulthard (2008), Measuring river velocities using GPS River Flow Tracers (GRiFTers), Earth Surface Processes and Land-forms 33: 1315-1322.

Tinka, A., Strub, I., Wu, Q. and A. M. Bayen (2009), Quadratic programming based data assimilation with passive drifting sensors for shallow water flows. In Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control.

https://float.berkeley.edu/

https://www.postscapes.com/floating-sensor-network/

https://www.liveviewgps.com/blog/noaa-launch-drifter-equipped-gps-trackers-ocean-water-flows