การพัฒนาแอปพลิเคชั่นประมวลภาพถ่ายวีดีโอเพื่อใช้วัดความเร็วการไหลผิวน้ำ

The photo-video processing application development to measure surface flow velocity

สมพินิจ เหมืองทอง[1,*] วินัย เชาวน์วิวัฒน์[2] โกวิท บุญรอด[3] หริส ประสานฉ่ำ[4] และ ขนิษฐา ชัยบรรดิษฐ[1]

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
[2] นักวิจัย ฝ่ายนวัตกรรมสารสนเทศทรัพยากรน้ำ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ
[3] คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
[4] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[*]Corresponding author; E-mail address: Somphinith.mu@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การตรวจวัดความเร็วการไหลในทางน้ำธรรมชาติมีความซับซ้อน ใช้เวลานาน และยุ่งยาก ประกอบกับเครื่องมือมีราคาแพง ค่าใช้จ่ายเพื่อการตรวจวัดค่อนข้างสูง ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องมีความรู้และความชำนาญ รวมถึงการวิเคราะห์ผลใช้เวลานาน วัตถุประสงค์ของบทความวิชาการพัฒนาแอปพลิเคชั่นประมวลภาพถ่ายวีดีโอเพื่อใช้วัดความเร็วการไหลผิวน้ำ กรณีศึกษาในลำน้ำชี และวัดความเร็วการไหลด้วยเครื่องวัดโปรไฟล์ความเร็วกระแสน้ำแบบดอปเปลอร์ จำนวน 3 ชุดการทดสอบ ผลการศึกษาค่าความเร็วการไหลที่ผิวน้ำจากการวัดด้วยแอปพลิเคชั่นเฉลี่ย 0.72, 0.75, และ 0.69 เมตรต่อวินาที เมื่อประมวลผลความเร็วการไหลจากภาพถ่ายวีดีโอบนสมาร์ทโฟน โดยใช้วัชพืชสีเขียว วัชพืชสีเหลือง และขอนไม้ตามลำดับ ส่วนค่าความเร็วการไหลที่ผิวน้ำวัดจากเครื่องวัดโปรไฟล์ความเร็วกระแสน้ำแบบดอปเปลอร์เฉลี่ย 0.75 เมตรต่อวินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การวัดความเร็วการไหลที่ผิวน้ำด้วยแอปพลิเคชั่นประมวลภาพถ่ายวีดีโอบนสมาร์ทโฟนเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน การใช้งานมีความสะดวกรวดเร็ว และได้ค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน

คำสำคัญ: แอปพลิเคชั่น, ภาพถ่ายวีดีโอ, ความเร็วการไหล

Abstract

Measuring flow velocity in natural waterway is complex, time-consuming and complicated, along with the expensive instruments. Furthermore, the operators grievously need to have expertise knowledge, including processing and analyzing the results which take a long time. The objective of this paper, is to develop the photo-video processing application to measure surface flow velocity in the Chi River as a case study. The flow velocity was measured with 3 sets of Acoustic Doppler Current Profiler for comparisons. The results showed that the surface velocity values from the application were measured with the averages of 0.72, 0.75, and 0.69 m/sec, which the samples of the photo-video from smart phone are green and yellow weeds and a log, respectively. The surface flow velocity was measured by the Acoustic Doppler Current Profiler showed that current velocity was with the average of 0.75 m/sec. Which shows that measuring surface flow velocity with photo-video processing application is a simple method

เทคนิควิธีการวัดความเร็วการไหลด้วยแอปพลิเคชั่นการประมวลภาพถ่ายวิดีโอ เป็นอีกวิธีที่มีความสะดวกรวดเร็วต่อการนำไปใช้งาน โดยแอปพลิเคชั่นที่พัฒนาขึ้นจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับประมวลผลความเร็วการไหล ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นคาดว่าจะสามารถนำไปใช้เพื่อการวางแผน การเตือนภัย ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการและผสมผสานในพื้นที่ลุ่มน้ำอย่างยั่งยืน บทความวิชาการนี้ นำเสนอแนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชั่นเพื่อใช้ตรวจวัดความเร็วการไหลที่ผิวน้ำธรรมชาติด้วยวิธีประมวลภาพถ่ายวีดีโอ ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน สามารถหาค่าได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจากเครื่องมือมาตรฐาน รวมถึงแอปพลิเคชั่นมีความสะดวกและรวดเร็วต่อการใช้งาน

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

2.1 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing)

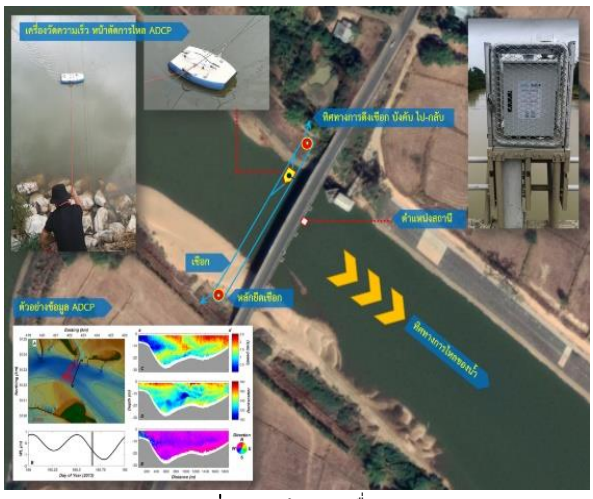
การประมวลผลภาพ เป็นการใชกรรมวิธีจัดการภาพโดยมีวัตถุประสงค เพื่อเปลี่ยนแปลงความคมชัด สี และแสงสว่าง เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามตองการ ปัจจุบันการประมวลผลภาพแบบดิจิตอล (Digital Image Processing) ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีความสะดวก นำไปประยุกตใช้ได้อย่างแพรหลาย มีขีดความสามารถประมวลผลที่รวดเร็วและแม่นยำ โดยการประมวลผลภาพ มีขั้นตอน การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่สนใจออกจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ จากนั้นจึงนำข้อมูลเชิงปริมาณไปวิเคราะห์และสร้างเป็นระบบ

เทคนิคการวัดปริมาณน้ำในลำน้ำโดยตรงได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยกระบวนการประกอบด้วยการวัดความเร็วการไหลด้วยการบันทึกภาพ (Image-based method) และนำไปประมวลผล (Image processing) ซึ่งมีจุดเด่นคือการใช้อุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูงมาก หาใช้ได้ทั่วไป และมีความยืดหยุ่นสูง สำหรับการวัดความเร็วที่ผิวน้ำ (Surface-flow velocity measurement) สามารถบันทึกภาพวัตถุลอยน้ำผ่านกล้องบันทึกภาพจาก smart phone และประมวลผล

การใช้ภาพเพื่อประมวลผล ด้วยเทคนิคการวัดความเร็วของอนุภาคขนาดใหญ่ (Large-scale particle velocimetry, LSPIV) เป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพต่อเนื่องจากเทคนิคการถ่ายภาพความเร็วของอนุภาค (Particle Image Velocity, PIV) (Adrian, 1991) ซึ่งเป็นเทคนิคดังเดิมของการถ่ายภาพเคลื่อนไหวเพื่อประเมินความเร็วสำหรับของไหลชนิดต่างๆ (Khalid et a., 2019) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค LSPIV ใช้ข้อมูลภาพถ่ายที่มีความต่อเนื่องของวัตถุลอยผ่านกล้องสำหรับการวัดการไหลที่ผิวน้ำ ซึ่งเป็นภาพที่ถ่ายในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ประมวลผลภาพทั้งสองเปรียบเทียบกันจะทำให้วิเคราะห์ความเร็วการไหล และคำนวณหาการไหลได้ เทคนิค LSPIV ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมตั้งแต่ปี 1998 และได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งการตรวจวัดการไหลในทางน้ำเปิดและแม่น้ำ (Tauro, 2016; Hansen et al., 2017; Rozos et al., 2020) การประเมินการไหลในทะเลสาบ (Admiraal et al., 2004) การไหลของน้ำและธรณีสัณฐานของแหล่งน้ำที่มีขนาดใหญ่ (Hauet et al., 2009) และบริเวณปากอ่าว (Bechle et al., 2012) ประยุกต์ใช้เทคนิค LSPIV เพื่อประเมินการไหลในลำน้ำที่มีความกว้างมาก พบว่ามีความแม่นยำการตรวจวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี (± ร้อยละ 10) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบดอปเปลอร์ (ADCP) Dramais et al., (2011) ได้นำเสนอถึงแนวคิดในการใช้ LSPIV เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating curve) ในช่วงเวลาที่เกิดการไหลสูง Le Boursicaud et al., (2016) ได้นำเทคนิค LSPIV มาใช้ในการประเมินการไหลในแนวราบด้วยอาศัยการบันทึกเทปวิดีโอและเผยแพร่ในสื่อสาธารณะภายในช่อง You Tube ทั้งนี้การแบ่งภาพคู่ย่อยออกเป็นเซลล์ขนาดเล็กโดยการเชื่อมโยงข้ามกลุ่มของเซลล์ในภาพต่อๆ ไป จะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นเวกเตอร์การกระจัดของเซลล์ โดยความเร็วของเซลล์สามารถคำนวณได้จากเวลาที่แตกต่างกันระหว่างภาพ (Tauro, 2015) การวิเคราะห์ความเร็วด้วยภาพถ่ายมี 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) Image pre-processing เป็นขั้นตอนประยุกต์ตัวกรองและกระบวนการต่างๆ ของการบันทึกภาพด้วยวิดีโอเพื่อสนับสนุนการตรวจจับการเคลื่อนไหว 2) Image evaluation เป็นการประยุกต์การทำงานของกระบวนการระหว่างภาพถ่ายที่สมบูรณ์นำไปสู่การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของอนุภาค และ 3) Image post-processing เป็นการแปลงผลทิศทางการเคลื่อนที่ของความเร็วในลักษณะของเวคเตอร์ในระบบพิกัดของภาพ (แถวและหลักของพิคเซล) ไปสู่พิกัดของการใช้งานจริง

2.2 วิธีวัดการไหลด้วยเครื่องโปรไฟล์ความเร็วกระแสน้ำแบบดอปเปลอร์ (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)

การวัดการไหลของน้ำด้วยเครื่อง ADCP ใช้หลักการหลักการดอปเปลอร์ โดยอาศัยคลื่นเสียงอุลตราโซนิคที่ปล่อยออกไปสะท้อนอนุภาคในน้ำกลับมายังเครื่องวัด ความถี่ของคลื่นเสียงจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความเปลี่ยนแปลงของความถี่จะผันแปรโดยตรงกับความเร็วกระแสน้ำ เครื่อง ADCP สามารถใช้งานได้ดีในทางน้ำเปิด การตรวจวัดด้วยการลากเครื่องวัดตัดลำน้ำ ดังแสดงการทำงานในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทำงานเครื่อง ADCP

เมื่อเครื่อง ADCP เคลื่อนที่ตัดลำน้ำจากตลิ่งฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งหนึ่ง คลื่นเสียงจะตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำตลอดความลึกในแนวดิ่ง การวัดความเร็วการไหลด้วยหลักการดอปเปลอร์ อาศัยสมมุติฐานว่า อนุภาคที่ไหลมากับน้ำมีจำนวนมาก เพียงพอที่จะสะท้อนคลื่นเสียงกลับมา เพื่อให้สามารถคำนวณความแตกต่างของความถี่ (Doppler shift) และหากวัตถุที่ลอยมากับน้ำมีขนาดใหญ่กว่าตะกอนแขวนลอย เช่น เศษไม้ ความเร็วการลอยจะแตกต่างจากความเร็วกระแสน้ำ

3. การวิเคราะห์ความเร็วการไหล

หลักการวิเคราะห์ความเร็วการไหล เมื่อเครื่อง ADCP วิ่งในแนวตั้งฉากกับแม่น้ำ จะตรวจวัดโปรไฟล์ความเร็วกระแสน้ำโดยการปล่อยและรับคลื่นเป็นช่วงเวลา ขณะที่คลื่นเดินทางลงไปในน้ำคลื่นจะเดินทางด้วยความเร็วเสียงและสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ โดยคลื่นที่สะท้อนจากอนุภาคที่อยู่ลึกจะใช้เวลาเดินทางมากกว่าคลื่นเสียงที่สะท้อนจากอนุภาคที่อยู่ตื้น และเวลาที่คลื่นเดินทางนี้เองจึงสามารถนำมาคำนวณหาความลึกได้ เมื่อเรือและเครื่อง ADCP กำหนดจุดของหน้าตัดที่ได้ทำการเลือกแล้ว จากนั้นป้อนระยะห่างของขอบตลิ่ง เพื่อใช้คำนวนหา Q_Nearshore ทั้งซ้ายและขวาของลำน้ำ เมื่อเรือวิ่งไปในแนวหน้าตัด เครื่อง ADCP จะแสดงผลขณะเคลื่อนที่แบบเรียลไทม์ พร้อมประมาณค่า Q_Top และ Q_Bottom เมื่อถึงจุดสิ้นสุดของขอบตลิ่ง โปรแกรมจะคำนวน Q_Total ดังนั้นปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากเครื่อง ADCP จะประกอบด้วย ส่วนที่ตรวจวัดได้ และส่วนที่ตรวจวัดไม่ได้ คือ พื้นที่ใกล้ผิวน้ำ พื้นที่ใกล้ตลิ่ง และพื้นที่ใกล้ท้องน้ำ

การคำนวณความเร็วการไหลที่ผิวน้ำด้วยแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนใช้หลักการคำนวณความเร็วของการเคลื่อนที่ดังสมการที่ (1)

$$V = \frac{s}{t} \qquad (1)$$

เมื่อ s คือระยะทางการไหล และ t คือเวลาการไหล

รูปที่ 2 แนวคิดการคำนวณความเร็วการไหล

รูปที่ **2** แสดงแนวคิดการตรวจวัดความเร็วการไหลที่ผิวน้ำ โดยการถ่ายภาพวีดีโอสมาร์ทโฟนกลางสะพาน ด้วยการตั้งกล้องเพื่อถ่ายภาพให้ได้ในแนวดิ่งและมือของผู้ถ่ายให้อยู่นิ่งที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งแอปพลิเคชั่นจะแสดงหน้าจอเลนการถ่ายภาพให้ เมื่อวัตถุเคลื่อนผ่านเลนดังกล่าวแล้วจึงหยุดบันทึกวีดีโอ จากนั้นส่งภาพถ่ายวีดีโอเพื่อแอปพลิเคชั่นจะนำไปประมวลผลบนคลาว์ด และส่งผลการวิเคราะห์ความเร็วการไหลกลับมายังหน้าจอสมาร์ทโฟนต่อไป

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการวัดความเร็วการไหลด้วยเครื่อง ADCP

การศึกษาครั้งนี้ เลือกตำแหน่งวัดความเร็วการไหลผิวน้ำ ที่ลำน้ำชีเรียกสถานี CHI012 (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ) ที่บ้านดินดำ ต.เกิ้ง อ.เมือง จ.มหาสารคาม โดยมีรายละเอียดของสถานีใน

4.2.4 แอปพลิเคชั่นสามารถแสดงผลการคำนวณความเร็วการไหลผิวน้ำจากการจับภาพวัตถุที่มีสีเขียวและสีเหลือง วัตถุที่มีรูปร่างกลมและขอนไม้ภาพที่ใช้สามารถประมวลผลได้จากการตั้งกล้องถ่ายวีดีโอทั้งแนวนอนและแนวตั้งจาก smart phone โดยแสดงค่าการตรวจจับวัตถุและวิเคราะห์ประมวลผลความเร็วการไหลผิวน้ำ (หน่วยเมตรต่อวินาที) ในตารางที่ 2

รูปที่ 3 แสดงเส้นกรอบและระยะทางการไหล

ความคลาดเคลื่อนของความเร็วการไหลที่ผิวน้ำ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วที่วัดได้จากแอปพลิเคชั่น ได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ดังนี้ 4%, 0% และ 8% เมื่อการตรวจจับวัตถุเป็นวัชพืชสีเขียว วัชพืชสีเหลืองและขอนไม้ ตามลำดับ

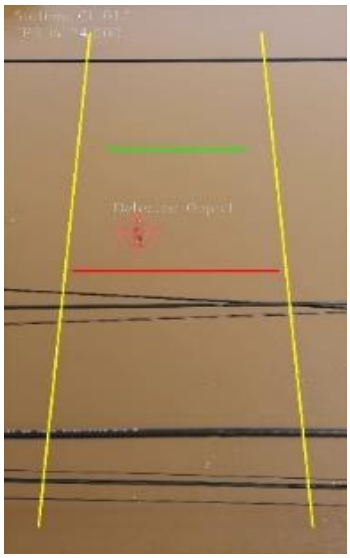
ตารางที่ 2 ผลการวัดความเร็วการไหลผิวน้ำจากแอปพลิเคชั่นและเครื่อง ADCP

ครั้งที่	ความเร็วการไหลจากเครื่อง ADCP (เมตร/วินาที)	ความเร็วการไหลจากแอปพลิเคชั่น (เมตร/วินาที)		
		วัชพืชสีเขียว	วัชพืชสีน้ำตาล	ขอนไม้
1	ไปครั้งที่ 1 = 0.72	ครั้งที่ 1 = 0.72	ครั้งที่ 1 = 0.77	ครั้งที่ 1 = 0.65
	กลับครั้งที่ 1= 0.74			
	เฉลี่ยรอบ 1 = 0.73			
2	ไปครั้งที่ 2 = 0.72	ครั้งที่ 2 = 0.69	ครั้งที่ 2 = 0.75	ครั้งที่ 2 = 0.70
	กลับครั้งที่ 2= 0.78			
	เฉลี่ยรอบ 2 = 0.75			
3	ไปครั้งที่ 3 = 0.76	ครั้งที่ 3 = 0.75	ครั้งที่ 3 = 0.74	ครั้งที่ 3 = 0.71
	กลับครั้งที่ 3= 0.78			
	เฉลี่ยรอบ 3 = 0.77			
เฉลี่ย	**0.75**	**0.72**	**0.75**	**0.69**
% คลาดเคลื่อนจาก ADCP		4%	0%	8%

รูปที่ 4 แสดงกรอบการตรวจจับวัตถุที่ลอยไหลผ่าน

4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วการไหลผิวน้ำ

ผลการวิเคราะห์ความเร็วการไหลผิวน้ำที่ได้จากแอปพลิเคชั่นและเครื่อง ADCP ได้ทำการเปรียบเทียบดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าเครื่อง ADCP วัดค่าความเร็วการไหลที่ผิวเฉลี่ยรอบที่ 1–3 ได้ 0.73, 0.75 และ 0.77 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และค่าความเร็วการไหลที่ผิวเฉลี่ย 0.75 เมตรต่อวินาที ส่วนค่าความเร็วการไหลจากแอปพลิเคชั่นทั้ง 3 กรณีได้ดังนี้ 1) ตรวจจับวัชพืชสีเขียวได้ค่าความเร็วครั้งที่ 1–3 คือ 0.72, 0.69 และ 0.75 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และค่าความเร็วการไหลที่ผิวเฉลี่ย 0.72 เมตรต่อวินาที 2) ตรวจจับวัชพืชสีเหลืองได้ค่าความเร็วครั้งที่ 1–3 คือ 0.77, 0.75 และ 0.74 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ได้ค่าความเร็วการไหลที่ผิวเฉลี่ย 0.75 เมตรต่อวินาที และ 3) ตรวจจับขอนไม้เหลืองได้ค่าความเร็วครั้งที่ 1–3 คือ 0.65, 0.70 และ 0.71 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ได้ค่าความเร็วการไหลที่ผิวเฉลี่ย 0.69 เมตรต่อวินาที โดยผลการวิเคราะห์ค่า



รูปที่ 6 การตรวจจับขอนไม้และแสดงความเร็วการไหลผิวน้ำ

5. บทสรุป

การพัฒนาแอปพลิเคชั่นประมวลภาพถ่ายวีดีโอเพื่อใช้วัดความเร็วการไหลผิวน้ำครั้งนี้ เป็นการนำเสนอถึงกระบวนการ วิธีการ ผลการทดสอบการใช้งานแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟน และได้ทำการตรวจสอบค่าความเร็วการไหลที่ผิวน้ำ กรณีศึกษาที่ลำน้ำชี สถานี CHI016 ซึ่งเป็นลำน้ำธรรมชาติ โดยทำการตรวจจับวัตถุที่ลอยผ่าน เพื่อวัดความเร็วการไหลที่ผิวน้ำจากวัตถุธรรมชาติที่ลอยผ่าน ได้แก่ วัชพืช หรือขอนไม้ ซึ่งมีสีแตกต่างกัน ได้แก่ สีเขียว หรือสีเหลือง โดยแอปพลิเคชั่นสามารถทำการตรวจวัดได้เมื่อผู้ใช้งานถ่ายภาพวีดีโอ ด้วยการตั้งกล้องจากสมาร์ทโฟน แอปพลิเคชั่นสามารถรองรับการประมวลภาพวีดีโอทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ผลการทดสอบการใช้งานแสดงให้เห็นว่า ค่าความเร็วการไหลผิวน้ำที่วัดได้จากแอปพลิเคชั่นประมวลภาพถ่ายวีดีโอเพื่อใช้วัดความเร็วการไหลผิวน้ำมีเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนจากการวัดด้วยเครื่อง Acoustic Doppler Current Profiler ระหว่าง 0% – 8% เท่านั้น ซึ่งถือว่ายอมรับได้ เมื่อเทียบกับมุมมองด้านความสะดวก รวดเร็ว และการนำไปใช้งานซึ่งง่ายมาก เมื่อต้องการวัดความเร็วการไหลผิวน้ำในลำน้ำธรรมชาติ นอกจากนั้น ผลจากการศึกษาครั้งนี้ ยังสามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยอื่นต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนเพื่อการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Adrian, R. J. (1991). Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics, Annual Review of Fluid Mechanics, 23(1), 261–304, doi: 10.1146/annurev.fluid.23.1.261.

[2] Khalid, M., Pénarda, L. and Méminb, E. (2019). Optical flow for image-based river velocity estimation. Flow Measurement and Instrumentation, 65 (2019), 110-121.

[3] Tauro, F., Petroselli, A., Porfiri, M., Giandomenico, L., Bernardi, G, Mele, F., Spina, D. and Grimaldi, S. (2016). A novel permanent gauge-cam station for surface-flow observations on the Tiber River. Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems, 5, 241-251, doi:10.5194/gi-5-241-2016.

[4] Hansen, I., Warriar, R., Satzger, C., Sattler, M, Luethi, B., Peña-Haro, S. and Duester, R. (2017). An innovative image processing method for flow measurement in open channels and rivers. https://www.semanticscholar.org/paper/An-Innovative-Image-Processing-Method-for-Flow-in-Hansen-Warriar/5b8aab364c9be3266fd87a86d240d5f0aea06f92, 1-7.

[5] Rozos, E. Dimitriadis, P. Dimitriadis, P., Mazi., K., Katerina Mazi, Lykoudis S., Antonis K. and Koussis, D. (2020). On the Uncertainty of the Image Velocimetry Method Parameters. Hydrology, 7(65), doi: 10.3390/hydrology7030065.

[6] Admiraal, D., Stansbury, J. and Haberman, C. (2004). Case study: particle velocimetry in a model of lake Ogallala, Journal of Hydraulic Engineering, 130, 599–607.

[7] Hauet, A., Muste, M., and Ho, H.-C. (2009). Digital mapping of riverine waterway hydrodynamic and geomorphic features. Earth Surface Processes and Landforms, 34(2), 242–252, doi: 10.1002/esp.1709.

[8] Bechle, A., Wu, C., Liu, W., and Kimura, N. (2012). Development and application of an automated river-estuary discharge imaging system, Journal of Hydraulic Engineering, 138, 327–339.

[9] Le Boursicaud, R., Pénard, L., Hauet, A., Thollet., F. and Le Coz, J. (2016). Gauging extreme floods on YouTube: application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges. Hydrological Processes, 30(1), 90-105, doi.org/10.1002/hyp.10532.

[10] Dramais, G., Le Coz, J., Camenen, B. and Hauet., A. (2011). Advantages of a mobile LSPIV method for mea-suring flood discharges and improving stage-discharge curves. Journal of Hydro-Environment Research, 5 (4), 301-312.

[11] Tauro, F. (2015). Particle tracers and image analysis for surface flow observations. Wires.wiley.com, Water. doi: 10.1002/wat2.1116