การสำรวจแบบจำลองทางกายภาพของแม่น้ำด้วยเทคนิคเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่น

The survey of physical river model by laser triangulation technique

อิทธิพล ธัญญเจริญ[1], จิระกานต์ศิริวิชญ์ไมตรี[2],และวราวุธวุฒิวณิชย์[3]

Ittipon Tunyajaroen[1], Chirakarn Sirivitmaitrie[2], Varawoot Vudhivanich[3]

บทคัดย่อ

การสำรวจแม่น้ำตามธรรมชาติโดยปกติสามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์สำรวจภาคสนาม ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลาและแรงงานมาก บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการสำรวจแม่น้ำโดยสร้างแบบจำลองทางกายภาพของแม่น้ำ โดยยกตัวอย่างแบบจำลองทางกายภาพของป่าสักหน้าตัดที่ กม. 20+700 – กม.22+400 ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบถูกต้องและความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้หลักการของเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นในการสำรวจแบบจำลองทางกายภาพของแม่น้ำ โดยเครื่องมือมีหลักการทำงานโดยการยิงแสงเลเซอร์ลงบนแบบจำลองในแนวตัดขวางเป็นเส้นตรงตลอดความกว้างของแม่น้ำ ในขณะเดียวกันจะใช้กล้องวีดีโอบันทึกภาพรูปร่างของเส้นเลเซอร์ ในการประมวลผลจะนำภาพที่บันทึกได้จากกล้องวีดีโอมาทำการวิเคราะห์รูปร่างของเส้นเลเซอร์ทีละหน้าตัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำการประมวลผลภาพหน้าตัดแม่น้ำด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายจะได้ผลเป็นค่าพิกัด (x, y) ของหน้าตัดแบบจำลองแม่น้ำ จากการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการสำรวจโดยวิธีเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นกับการสำรวจด้วยฮุคเกจ ผลการเปรียบเทียบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) 0.999 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน(Error)เท่ากับ 0.33 มิลลิเมตรหรือ 0.54 % เมื่อทำการวัดความลึกเปรียบเทียบกับฮุคเกจ นอกจากนี้เครื่องมือเลเซอร์ไทแองกูเรชั่นยังมีความละเอียดในการสำรวจหน้าตัดทางน้ำ 1300-1600จุดต่อหนึ่งหน้าตัด และใช้เวลาในการสำรวจเฉลี่ยเพียงหน้าตัดละ 1 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับฮุคเกจนั้นมีความเร็วและความละเอียดสูงกว่ามาก เครื่องมือในการสำรวจนี้จึงเหมาะกับงานสำรวจที่ต้องการความละเอียดสูง เทคนิคการสำรวจแบบใหม่นี้จะช่วยลดเวลาและแรงงานที่จะต้องใช้ในการสำรวจอย่างมาก

คำสำคัญ เลเซอร์ไทรแองกูเรชั่น, วิเคราะห์ภาพถ่าย, แบบจำลองทางกายภาพ, แบบจำลองลำน้ำ, สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

Abstract

The survey and validation of the physical natural river model is normally done by filed survey equipment. This method is time consuming and laber-intensive. This article presents a survey of the physical river model with a case study: Pasak River at the section km. 20 + 700 – km. 22 + 400. In this study, a survey tool equiped with laser triangulation method was tested for presicion and accuracy. The instrument works by firing a line of laser beam across the entire width of the rivermodel. At the same time, a digital video camera was used to record the shape of the laser line on the surface of the river model. The image of each section was processed by software to convert the shape of the laser

[1]ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[1]Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, NakhonPathom 73140, Thailand.

*Corresponding author: Tel: +66-8-573-3357, E-mail: ittipon.kps@gmail.com

line to coordinate of x, y of the river section. The comparision between the laser triangulation tool and a hookage shows the coorelation of 0.999 and the error of 0.33 milimeter or 0.54%.In addition, the laser triangulation tool has the cross-sectional resolution of 1300-1600 points per section and the average processing time of 1 second per section. The laser triangulation survey offers the speed and a higher resolution than the hookage survey. This survey tool is ideal for applications that require high resolution survey and also reduce the time and labor dramatically.

Keywords Laser triangulation, Image processing, Physical model, river model, Correlation

E-mail: **ittipon.kps@gmail.com**

คำนำ

การสำรวจแม่น้ำของประเทศไทยนิยมใช้การสำรวจด้วยกล้องโทโทลสเตชั่นและปริซึมซึ่งต้องใช้แรงงานคนและเวลาในการทำงานในปริมาณมากจึงต้องมีการหาวิธีการและเทคนิคเข้ามาช่วยในการสำรวจ การสำรวจทางอุทกศาสตร์ (Hydrographic surveys) ซึ่งเข้ามาในภายหลังเป็นการสำรวจที่เน้นสำรวจเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำโดยมีอุปกรณ์ที่ทันสมัยและนำเทคโนโลยีการวัดแบบอ้อม(Indirect measurement) ที่นิยมใช้กันก็มี เช่น การใช้คลื่นโซน่าการใช้การสะท้อนของคลื่นเสียง การสแกนโดยเรือและมีทุ่นที่ติดตั้งเรดาร์ เป็นต้น

ในปัจุบันเลเซอร์ได้นิยมใช้มากขึ้นเพราะมีความเข้มแสงและความละเอียดของแสงสูงทำให้เมื่อแสงเลเซอร์ตกกระทบกับวัตถุจึงเกิดเป็นรูปร่างตามวัตถุนั้นๆ จึงมีประโยชน์ในการนำมาสแกนหารูปร่างของวัตถุได้ เครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นจึงนำเอาเลเซอร์เข้ามาใช้ซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านบนของแบบจำลองกายภาพของแม่น้ำและมีการทำงานคือฉายเส้นเลเซอร์ยาวเป็นเส้นตรงในแนวขวางตลอดความกว้างของแบบจำลองแม่น้ำและอุปกรณ์สำรวจจะเลื่อนไปตามแนวคลองโดยใช้กล้องวิดีโอCCD ในการบักทึกภาพรูปร่างของเส้นเลเซอร์ในแต่ละหน้าตัดของคลองและนำไปวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อหาความลึกของแบบจำลองทางกายภาพของแม่น้ำ

การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดความลึกของแบบจำลองแม่น้ำในครั้งนี้เพื่อต้องการสร้างเครื่องมือต้นแบบในการสำรวจแบบจำลองแม่น้ำแบบใหม่และทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือในการหาความลึกของแบบจำลองแม่น้ำโดยมีเป้าหมายใช้ในการสำรวจหาความลึกแบบจำลองแม่น้ำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพโดยอาศัยหลักการของเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่น

อุปกรณ์และวิธีการ

การออกแบบติดตั้งเครื่องมือเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นในการสำรวจแบบจำลองแม่น้ำ

(The design oflaser triangulation tool to surveythe river model)

การติดตั้งเครื่องมือสำหรับทดลองและพัฒนาในการสำรวจแบบจำลองแม่น้ำด้วยเทคนิคเลเซอร์ไทแองกูลเรชั่นForest(2004) ได้กล่าวถึงใช้หลักการสามเหลี่ยมในการติดตั้งอุปกรณ์ โดยจะส่องเลเซอร์ลงไปที่พื้นผิวและใช้ประโยชน์จากกล้องที่จะมองรูปร่างขณะที่ฉายแสงเลเซอร์ลงบนวัตถุ เลเซอร์ Diode และกล้อง CCD มีการติดตั้งภายใต้มุมคงที่การสร้างสามเหลี่ยมระหว่างอุปกรณ์จึงเรียกวิธีนี้ว่า ไทรแองกูเรชั่นเพราะการกำหนดค่ามุมและค่าระยะจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมกล้องและภาพที่ถ่ายได้ดังแสดงในรูป **Figure 1**

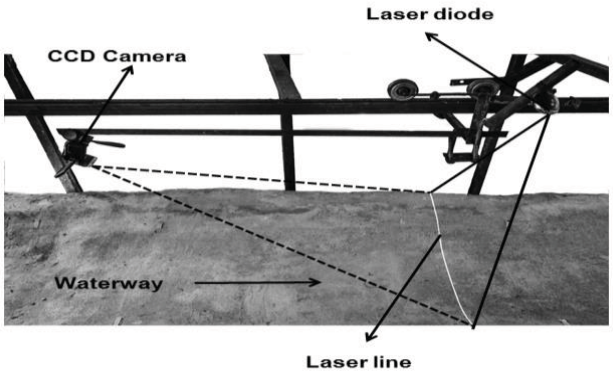

Figure 1 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์

โดยที่ค่าระยะระหว่างเลเซอร์กับกล้อง1.3 เมตรต้องไม่ใช้ระยะห่างกันมากเกินไปไม่เช่นนั้นกล้องจะไม่สามารถบันทึกภาพโดยในการติดตั้งมุมของกล้อง 45°กล้อง CCD ที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดมุมมองของกล้องในแนวราบกว้าง 44° ซึ่งมีมุมมองประมาณ 1.3 m.ส่วนในแนวดิ่งกล้องนั้นมีมุมมองในแนวดิ่งกว้าง 25° มีมุมมองกว้างประมาณ 40 cm.

ความละเอียดของภาพจากกล้องCCD

(The resolution of the camera CCD)

กล้องที่ใช้บันทึกภาพเป็นกล้องวีดีโอดิจิตอลงาน Sanyo vpc-hd2000 full hd1920x1080p โดยจะถ่ายภาพออกมาเป็นแบบ Full hdขนาด 1920x1080 พิกเซล ขนาดมุมมองในแนวราบเท่ากับการทดสอบมีขนาดมุมมองของกล้องในแนวราบกว้าง 44° ซึ่งมีมุมมองประมาณ 1.3 เซนติเมตร ส่วนในแนวดิ่งกล้องนั้นมีมุมมองในแนวดิ่งกว้าง 25° มีมุมมองกว้างประมาณ 40 เซนติเมตร

ค่าความละเอียด (Resolution) คือ ค่าความละเอียดของภาพต่างๆโดยกำหนดเป็นจำนวนเม็ดสี (Pixels) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของภาพนั้นๆ

การหาค่าความละเอียดของภาพจากกล้องในแนวราบ(Horizontal)มีความละเอียด 0.37 มิลลิเมตรในแนวดิ่ง(Vertical)มีความละเอียด 0.37มิลลิเมตรเป็นขอบเขตความละเอียดของกล้องที่ใช้ในการสำรวจ

การจัดเตรียมภาพก่อนการวิเคราะห์ภาพถ่าย

(Pre-image processing)

หลักการจัดเตรียมภาพเพื่อการวิเคราะห์ภาพถ่าย(Image processing)กระบวนการทำงานที่นำมาใช้กับการวิจัยคือThresholding techniqueก็คือการแปลงภาพจากภาพที่มีหลายสี(Multilevel image) ให้มีการแสดงผลแค่ 2 ระดับสี คือ ขาว กับ ดำ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะแทนค่าด้วย 0 และ1 หรือ 1 บิต ซึ่งก็คือภาพสองระดับหรือเรียกว่า Brinary image

Gonzalez (2008) ได้กล่าวถึงเทคนิควิธีThresholding Technique ว่าคือการพิจารณาทีละจุดโดยไล่คำนวณตามค่าพิกัด I(x, y)นั้นๆที่ทำการพิจารณานำมาเปรียบเทียบกับค่า ค่าขีดแบ่ง (Threshold) และนำมาสร้างเงื่อนไขในการแปลงรูปภาพ โดยในงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับนำวิธีการนี้มาใช้เนื่องจากภาพที่นำมา

ประมวลผลเส้นเลเซอร์และพื้นหลังมีความแตกต่างกันมาก โดยใช้การกำหนดค่าแบบเชิงเดี่ยว (Single threshold) ถ้าค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง มีค่าเป็น 1 (จุดดำ) และถ้าค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold จะมีค่าเป็น 0 (จุดขาว) ดังสมการที่ (1)และแสดงใน Figure 2

$$D_{(x,y)} = \begin{cases} 0, \text{ถ้า} I_{(x,y)} < T \\ 2^B - 1, \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ

$D_{(x,y)}$คือ ค่าพิกัดภาพThresholdsหลังพิจารณา

I คือ ค่าความเข้มแสงของจุดภาพ ณ ที่กำลังพิจารณา

T คือ ค่าขีดแบ่ง(Thresholds)

B คือ จำนวนบิตของภาพ

ภาพต้นแบบก่อนประมวลผลด้วย Threshholding

ภาพ bimary ผลลัพธ์

Figure 2 การแปลงข้อมูลภาพจากภาพต้นแบบด้วยวิธี Threshholdingให้เป็นภาพ Binaryด้านล่าง

เมื่อได้ภาพ Binaryผลลัพธ์โปรแกรมจะประมวลผลรูปภาพเพื่ออ่านค่าตำแหน่งของพิกเซลเส้นสีขาว โดยจะประมวลผลจากขอบภาพด้านล่างไปจนถึงจุดสีขาวบนเส้นซึ่งจะประมวลผลหาตำแหน่งของพิกเซลเส้นเลเซอร์ทีละพิกเซลจนสุดความยาวของรูปภาพในแนวราบ (Honrizontal) ซึ่งมีขนาดความยาวภาพละ 1,300-1,600 Pixels.โดยถ้ามีเส้นขาดหรือข้อมูลตรงตำแหน่งพิกเซลนั้นๆอ่านค่าไม่ได้โปรแกรมจะอ่านค่าเป็น 1แต่ถ้าอ่านค่าได้จะแสดงออกมาเป็นตำแหน่งโคออดิเนตในระนาบY_iณ ตำแหน่งพิกเซลของภาพโดยที่ i มีค่าตั้งแต่ 1ถึง 1300 หรือ 1600 แล้วแต่ขนาดของรูปภาพ

กระบวณการตัดกรอบรูปภาพ (Crop image)

กระบวณการตัดกรอบรูปภาพ (Crop image) จะใช้ในการตัดกรอบภาพที่ได้จากการถ่ายภาพที่เราต้องการประมวลผลเฉพาะบางจุดที่เราต้องการของรูปภาพ จะทำการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกไปเพื่อให้ประมวลผลรูปภาพได้เร็วขึ้น โดยการตัดกรอบรูปภาพที่ไม่ต้องการซึ่งมีการกำหนดพิกัดของรูปภาพ2จุดคือจุดA

และจุดB ดังรูปFigure 3โดยใส่พิกัดพิกเซลที่ต้องการตัดกรอบภาพ 4 ค่าคือ X_1,X_2,X_3 และ X_4 ซึ่งภาพที่เราใช้ประมวลผลมีขนาด 1080x1920 พิกเซล

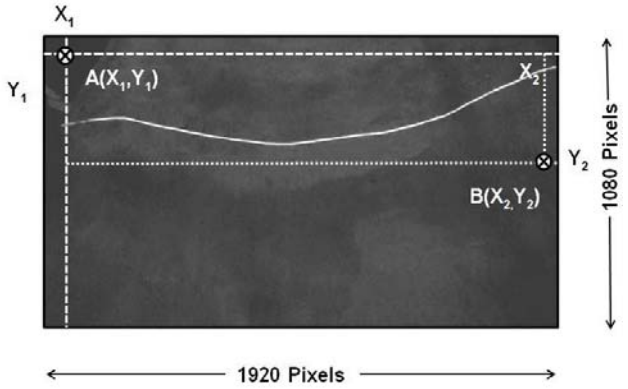

Figure 3กระบวณการในการตัดกรอบภาพ 2 ครั้งโดยใช้พิกัดของรูปภาพ

การปรับแก้พิกัดเส้นเลเซอร์จากการสำรวจ

(Adjusting the coordinates of the laser survey)

จากการประมวลผลด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image processing) การตรวจวัดความลึกของแบบจำลองแม่น้ำด้วยวิธีเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นซึ่งทำการตรวจวัดจำนวน 28 หน้าตัดของแบบจำลองกายภาพของแม่น้ำและในแต่ละหน้าตัดทำการตรวจวัดหน้าตัดละ 5 ครั้ง การตรวจวัดเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดอาจมีการสั่นสะเทือนทำให้พิกัดของเส้นเลเซอร์ มีการย้ายตำแหน่ง จึงต้องทำการปรับแก้พิกัดเส้นเลเซอร์ในแต่ละเส้น โดยใช้การตรวจวัดครั้งที่ 1 ค่าอ้างอิงและใช้เส้นเลเซอร์เส้นที่หนึ่งเป็น Baselineโดยจะทำการปรับพิกัดเส้นเลเซอร์เข้าหาการตรวจวัดครั้งที่ 1 ที่ละคู่ โดยใช้สมการที่(2)และสมการที่(3)

$$X_i^{"} = (X_i \times S) + O \qquad (2)$$

$$Y_i^{"} = [Y_i + LH] + \left[\left(\frac{X_i}{N}\right) \times RH\right] \qquad (3)$$

โดยที่

X_i = ค่าพิกัดของ X_iเดิมเมื่อ i =1,2,…,N

Y_i =ค่าพิกัดของ Y_iเดิม เมื่อ i = 1,2,…,N

S = การปรับยืด-หดเส้น (Honrizontal scale) ซึ่งค่า S จะใช้ค่าคงที่เท่ากับ 1 แต่ในกรณีที่เส้นมีความต่างกันมากสามารถปรับโดยใช้ค่าในช่วง 0.9 – 1 จะเหมาะสมกว่า

O = การเลื่อนตำแหน่งเส้นในแนวราบ (Honrizontaloffset) ซึ่งค่าO จะอยู่ระหว่าง -100ถึง 100Pixels

LH = ปรับค่า $Y_i^{"}$ ของเส้นเลเซอร์ใหม่ในแนวดิ่ง (Vertical) เพื่อให้เท่ากับค่า Y_i เส้นเลเซอร์จากการตรวจวัดครั้งแรก ค่า LH จะมีค่า-100 ถึง 100Pixels

RH = ค่าคงที่ในการขยับส่วนที่เหลือของรูปตัดใหม่ให้เท่ากับค่าการตรวจวัดครั้งแรก ค่า RH จะมีค่า -100 ถึง 100 Pixels

N = จำนวนพิกเซลในแนวราบที่วัดได้มีค่า1,600Pixels

ในการปรับเส้นเลเซอร์ใช้การหาผลรวมกำลังสองน้อยที่สุด (Sum of square of error) ดังแสดงในสมการที่ (4) คิดค่าผลต่างระหว่างพิกัดของเส้นเซอร์เส้นที่ 1 ที่ใช้เป็น Baseline กับพิกัดของเส้นเลเซอร์ของการตรวจวัดครั้งที่ 2,3,4 และ 5 ตามลำดับโดยทำการปรับแก้เป็นคู่ๆ เพื่อให้ได้ค่าผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าต่ำที่สุดดังสมการที่ (4), (5) และ (6)

$$\text{Min}\sum_{i=1}^{N}(Y_i^1 - Y_i^{"})^2 \quad (4)$$

$$\text{Min}(X_i \times S) + O \quad (5)$$

$$\text{Min}[Y_i + LH] + \left[\left(\frac{X_i}{N}\right) \times RH\right] \quad (6)$$

โดยกำหนดภายใต้เงื่อนไข (Constraints)

$$0.9 \leq S \leq 1$$
$$-100 \leq O \leq 100$$
$$-100 \leq LH \leq 100$$
$$-100 \leq RH \leq 100$$

Y_i^1=ระยะY ของเส้นเลเซอร์จากการตรวจวัดครั้งที่ 1

$Y_i^{"}$= ระยะY ของเส้นเซอร์ที่มีการปรับค่าของเส้นเลเซอร์จากการตรวจวัดครั้งที่ 2-5

โดยการหาค่าผลต่างที่น้อยที่สุดจากสมการที่ (4), (5) และ (6)คือ $\sum_{i=1}^{N}(Y_i^1 - Y_i^{"})^2$ให้มีค่าน้อยที่สุดซึ่งการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดต้องใช้วิธีการการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization)เข้ามาหาค่าโดยกำหนดตัวแปร 4 ตัวแปร คือ S , O , RH และ LHจากนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรทุกตัวโดยดูค่าขอบเขตของเงื่อนไขจากคำอธิบายของสมการที่ (2) และสมการที่ (3)

การหาค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือตรวจวัด

(The precision ofmeasurement).

หลังจากทำการปรับแก้พิกัดโคออดิเนตของเส้นเลเซอร์ทั้ง 5เส้นจากนั้นนำผลที่ปรับแก้แล้วมาคำนวณหาค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือโดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ 2 วิธีคือ

1)การหาความเที่ยงตรงของเครื่องมือตรวจวัดด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation : S.D.)

2)การหาความเที่ยงตรงของเครื่องมือตรวจวัดด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียรสัน

โดยทั้งสองวิธีนำค่า Y_i^jที่ผ่านการปรับแก้พิกัดมาแล้วตามที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อการปรับแก้พิกัดเส้นเลเซอร์จากการสำรวจจากค่า$Y_i^{"}$ ที่ปรับแก้จะใช้การเขียนรูปแบบใหม่ให้เข้าใจได้ง่ายเป็นค่าY_i^j คือพิกเซลในแนวดิ่งหรือด้านที่เป็นความลึกของหน้าตัดคลองเมื่อมองจากภาพถ่ายเส้นเลเซอร์โดยดูจากด้าน Depth (Pixels) ใน **Figure 5** โดยที่ i คือจำนวนพิกเซลของรูปภาพในแนวราบคือด้าน Width (Pixels) ใน **Figure 5**โดยที่ i มีค่า

i = 1, 2, 3,…,1600 พิกเซล และ j คือครั้งที่ตรวจวัดด้วยเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่น ซึ่ง j มีค่า j = 1, 2, 3, 4, 5 จากนั้นนำค่าY_i^jที่ตรวจวัดแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาความเที่ยงตรงของเครื่องมือซึ่งมีการตรวจวัดซ้ำในแบบจำลองทางน้ำ กม.20+700 จำนวน 5 ครั้งในแต่ละหน้าตัด (Cross section) ของแบบจำลองลำน้ำ ซึ่งมีทั้งหมด 28 หน้าตัด มีความยาวรวมของแบบจำลอง 15 เมตรซึ่งมีการคำนวณความเที่ยงตรงทั้งสองวิธีดังนี้

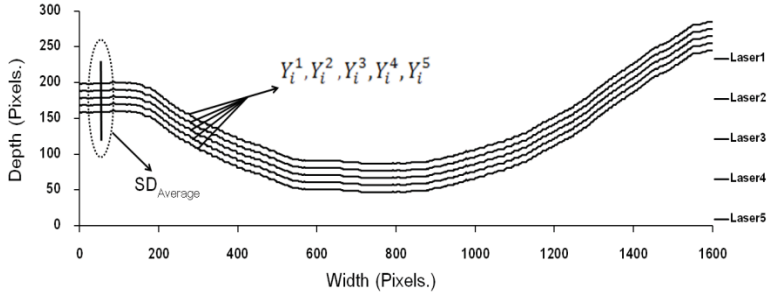

Figure 5 การตรวจวัดของเครื่องมือเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นทำการตรวจวัด 5 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัดของแบบจำลองทางน้ำซึ่งทำการวิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือ

1)การหาความเที่ยงตรงด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation : S.D.)

ทำได้โดยใช้การเปรียบเทียบค่า Y_i^jของเส้นเลเซอร์ที่ทำการตรวจวัดทั้ง 5 ครั้งโดยเริ่มเปรียบเทียบทีละพิกเซลของภาพซึ่งในภาพที่ทำการตรวจวัดจะมีจำนวน 1600 พิกเซลในด้านยาวแนวราบของรูปภาพ ในแต่ละพิกเซลของรูปภาพพิจารณาที่แนวราบจะมีค่าY_i^jที่ได้จากการตรวจวัด 5 ครั้ง จำนวน 5 ค่าจากนั้นทำการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าY_i^1, Y_i^2 , Y_i^3, Y_i^4และค่า Y_i^5.ในแต่ละพิกเซลของรูปภาพโดยเริ่มตั้งแต่พิกเซลหลักที่ i เท่ากับ 1 ทำไปจนถึงพิกเซลที่ 1600 จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม 1600 พิกเซลเพื่อต้องการทราบค่าความเที่ยงตรงของหน้าตัดนั้นๆซึ่งแสดงในรูปส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

โดยที่ กำหนดให้ N = 5 ครั้ง , M = 1,300-1,600 Pixels.
โดยค่า M ในแต่ละหน้าตัดที่ทำการตรวจวัดจะมีค่าอยู่ในช่วง 1300- 1600 Pixels

$$\overline{S}=\frac{\sum_{i=1}^{M}\sqrt{\sum_{j=1}^{N}\frac{\left(Y_i^j-\overline{Y_i}\right)^2}{N-1}}}{M} \qquad (5)$$

2) การหาความเที่ยงตรงของเครื่องมือตรวจวัดด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียรสัน(Pearson correlation coefficient)

Cohen et al (2002) ได้กล่าวถึงการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียรสัน หรือบางครั้งเรียกว่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y_i^jของการตรวจวัดครั้งที่ 1-5

โดยที่ j =2,…,5และ i มีค่าเท่ากับ i= 1, 2, 3, …, 1600จากนั้นกำหนดให้Y_i^1ค่าอ้างอิงซึ่งเป็นค่าของการตรวจวัดในครั้งแรกและนำค่า Y_i^2,Y_i^3, Y_i^4และค่า Y_i^5 มาหาความสัมพันธ์แล้วทำการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆตามลำดับโดยใช้การหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r) ดังสมการที่ (6)

$$r = \frac{\left[N\sum_{i=1}^{M}\left(Y_i^1 Y_i^j\right)\right]-\left[\sum_{i=1}^{M} Y_i^1 \sum_{i=1}^{M} Y_i^j\right]}{\sqrt{\left[N\sum_{i=1}^{M}\left(Y_i^1\right)^2-\left(\sum_{i=1}^{M} Y_i^1\right)^2\right]\left[N\sum_{i=1}^{M}\left(Y_i^j\right)^2-\left(\sum_{i=1}^{M} Y_i^j\right)^2\right]}} \quad (6)$$

เมื่อ

Y_i^1= ค่าอ้างอิงซึ่งเป็นค่าของการตรวจวัดในครั้งแรก

Y_i^j= ค่าจากการตรวจวัดด้วยเลเซอร์ครั้งที่2-5

N = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 5

M = จำนวนพิกเซลในแนวราบที่วัดได้มีค่า1,600 Pixels

Temeepattanpongsa and Thepprasit(2015)ได้กล่าวถึงการบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสหสัมพันธ์ในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

Table 1 Hinkle (1998) ได้กล่าวถึงเกณฑ์การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังนี้

ค่า r	ระดับความสัมพันธ์
.90 – 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
.70 –.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
.50 –.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
.30 – .50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
.00 –.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

สำนักงานทะเบียนและประมวลผล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2558) ได้กล่าวว่าค่าความเที่ยงของเครื่องมือเมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไปถือว่าเครื่องมือหรือแบบวัดที่สร้างขึ้นมามีความเที่ยงตรง

การสอบเทียบการสำรวจหาความลึกแบบจำลองทางกายภาพของลำน้ำโดยวิธีเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่น
(The survey calibration of river model by laser triangulation technique)

การสอบเทียบการสำรวจหาความลึกแบบจำลองทางกายภาพของเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นจะเปรียบเทียบกับการสำรวจโดยใช้ฮุคเกจในการหาความลึกของแบบจำลองทางกายภาพของแม่น้ำซึ่งติดตั้งดังในรูปFigure6 โดยฮุคเกจจะทำการสำรวจจำนวน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ยซึ่งฮุคเกจสำรวจจำนวน20จุดแต่ละจุดห่างกันจำนวน

5 เซนติเมตรและมีความยาวหน้าตัดในการสำรวจ 1 เมตร จากนั้นนำความลึกเฉลี่ยที่ได้จากการสำรวจด้วยฮุคเกจมาเปรียบเทียบกับความลึกที่หาจากวิธีเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นจำนวน 20 จุดในหน้าตัดเดียวกัน

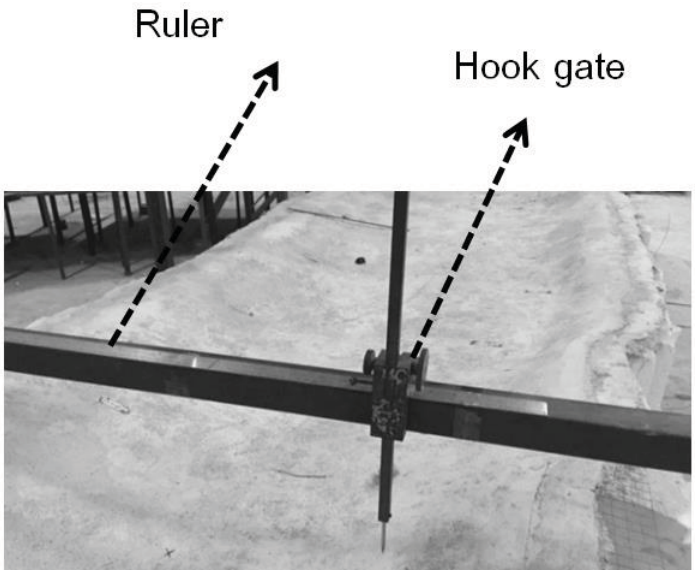

Figure 6 การติดตั้งฮุคเกจในแบบจำลองทางน้ำเพื่อตรวจวัดหาความลึก

เพื่อเปรียบเทียบหาค่าความถูกต้องของเครื่องมือสำรวจด้วยวิธีไทรแองกูเรชั่นโดยคำนวณจากสมการเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(Relative error)ดังสมการที่ (7)

$$\%\text{Relative error} = \left|\frac{D_L - D_H}{D_H}\right| \times 100 \qquad (7)$$

โดยที่ D_L คือ ค่าความลึกที่ได้จากการสำรวจด้วยวิธีเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่น และ D_H คือ ค่าความลึกที่ได้จากการสำรวจด้วยฮุคเกจ

การคำนวณค่าความถูกต้องของเครื่องมือสำรวจใช้สมการที่ (9)

$$\%\text{Accuracy} = 100 - \%\text{error} \qquad (9)$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลจาการทดสอบหาค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือด้วยวิธีการหาค่าความเที่ยงตรงด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและวิธีการหาค่าความเที่ยงตรงด้วยสหสัมพันธ์แบบเพียรสันจำนวน 28 หน้าตัดในแบบจำลองแม่น้ำโดยทำการทดสอบตรวจวัดด้วยเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นจำนวน 5 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัดมีผลการตรวจวัดดังนี้

Table 2 The result between Laser triangulation technique and Hook gate technique

Measurement	Time to survey (sec)/section	Precision		Calibration	
		$\bar{S}$(mm.)	$\bar{r}$	$\overline{AE}$ (mm.)	$\overline{RE}$
Laser	1	0.480	0.999	0.3	0.54%
Hookgate	1200	0.151	0.999		

$\bar{S}$ = Average value of standard deviation, $\overline{AE}$ = Average value of Absolute error,

$\overline{RE}$=%Average value of Relative error, $\bar{r}$ = Average value of Correlation coefficient

ผลจากการหาความเที่ยงตรงโดยวิธีเลเซอร์ไทรแองกูลเรชั่นได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งหมด28หน้าตัด ได้ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.480มิลลิเมตรและฮุคเกจได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.151 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของทั้งสองวิธี มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.999 ดังแสดงในTable 2เวลาที่ใช้ในการตรวจวัดวิธีเลเซอร์ไทรแองกูลเรชั่นใช้เวลาหน้าตัดละ 1 วินาที วิธีฮุคเกจใช้เวลาหน้าตัดละ 20 นาที

ผลของการสอบเทียบการตรวจวัดหาความลึกแบบจำลองทางกายภาพของลำน้ำโดยวิธีเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นกับเครื่องมือฮุคเกจซึ่งเป็นการวัดแบบตรงมีค่า (Direct measurement) ค่าคลาดเคลื่อนสัมบรูณ์(Absolute error) แตกต่างกันโดยเฉลี่ยทั้ง 20 จุดที่ตรวจวัดในหน้าตัดเดียวกันมีค่าเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร และคิดเป็นค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 0.544% ดังแสดงใน Figure 7

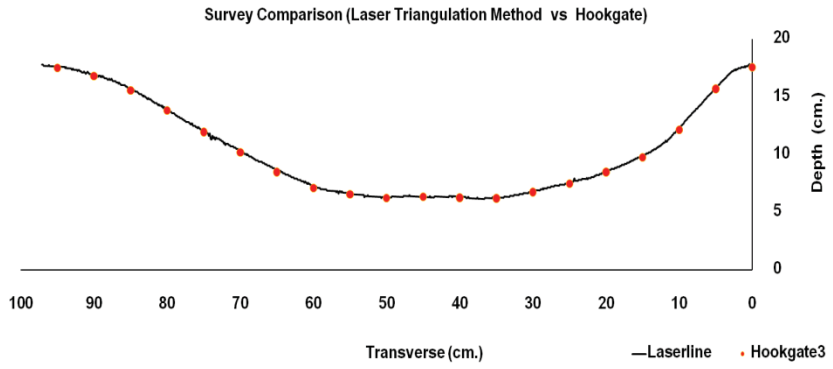

Figure 7 ผลของการตรวจวัดแบบจำลองทางน้ำด้วยวิธีเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นเปรียบเทียบกับการตรวจวัดด้วยฮุคเกจ

สรุปผลและเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้เครื่องมือสำรวจด้วยวิธีการเลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นเพื่อต้องการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือสำรวจและตรวจสอบค่าความถูกต้องของเครื่องมือสำรวจโดยสอบเทียบกับการใช้เครื่องมือฮุคเกจตรวจวัด

จากการสอบเทียบเครื่องมือเลเซอร์ไทรแองกูลเรชั่นกับเครื่องมือฮุคเกจได้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบรูณ์ (Absolute error) แตกต่างกัน 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าไม่ถึง 1 มิลลิเมตร เป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวของหน้าตัดคลองที่สำรวจกว้าง 1.3 เมตร และและเมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างวิธีเลเซอร์ไทรแอง

กูเรชั่นเปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยฮุคเกจมีค่าเท่ากับ 0.999ซึ่งตามเกณฑ์ของ สำนักงานทะเบียนและประมวลผล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2558) ค่าความเที่ยงของเครื่องมือเมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไปถือว่าเครื่องมือหรือแบบวัดที่สร้างขึ้นมามีความเที่ยงตรง จึงอนุมานได้ว่าเครื่องมือมีความถูกต้องในการตรวจวัดและมีความเที่ยงตรงเมื่อทำการตรวจวัดซ้ำหลายๆครั้งได้ค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม

ข้อจำกัดในการทำงานจริงของการตรวจวัดแบบเลเซอร์ไทรแองกูลเรชั่นมีอยู่ 4 ปัจจัย คือ 1)การสั่นสะเทือนของเครื่องมือตรวจวัด 2)มุมอับในส่วนที่กล้องไม่สามารถมองเห็น 3)แสงที่มากเกินไป 4)สิ่งแปลกปลอมที่ตกอยู่ในแบบจำลอง ควรมีการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยต่างๆที่เข้ามามีผลกระทบต่อความแม่นยำ (Precision) ของเครื่องมือและความถูกต้องของค่าที่วัดได้เมื่อเทียบกับเครื่องมือที่มีมาตรฐานจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือตรวจวัดจึงต้องควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการทดสอบให้มากที่สุดและระมัดระวังในการตรวจวัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่ให้การสนับสนุนการสำรวจทางน้ำด้วยเทคนิคการใช้เลเซอร์ไทรแองกูเรชั่นทั้งเครื่องมือที่ใช้สอบเทียบและบุคลากรในการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานทะเบียนและประมวลผล,2558. เทคนิคการหาคุณภาพเครื่องมือในงานวิจัย.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

Cohen, J., Cohen P., West, S.G., & Aiken, L.S.,2002. Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences (3rd ed.). Mahwah, New Jersey.

Forest, J. C. , 2004. New methods for triangulation-based shape acquisition using laserscannes. JoaquimSalvi i EnricCabruja, Spain.

Gonzalez, R. C. , 2008. Digital Image Processing.Third Edition.Upper Saddle River, New Jersey.

Hinkle, D.E, William ,W. and Stephen G. J.,1998. Applied Statistics for the Behavior Sciences. 4th ed. Houghton Mifflin, New York.

Temeepattanpongsa, S. and Thepprasit, C.2015. Comparison and Recalibration of Equation for Estimating Reference Crop Evapotranspiration in Thailand.Kasetsart J. (Nat. Sci.) 49: 772-784