

การประยุกต์ใช้เครื่องมือหยังความลึกด้วยคลื่นเสียงความถี่เดียวในคลองบ้านนาลาว Application Echo Sounders with Single Frequency of Klong Ban Na Lao

อนุชา บุญลือ¹ ยศภัทร ภัทราพรพิสิฐ² และ กนกศักดิ์ ชื้อธานุวงศ์^{3,*}

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร

* Corresponding author; E-mail address: kanoksak.s@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้เครื่องมือหยังความลึก เป็นวิธีการหาค่าระดับในงานสำรวจจริงวัดได้พื้นผิวน้ำ โดยมีน้ำเป็นสิ่งกีดขวางที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น สระน้ำ อ่างเก็บน้ำ คลอง แม่น้ำ หรือทะเล เป็นต้น จำเป็นต้องทำการรังวัดหาความสูงต่ำของพื้นผิวดินใต้น้ำ เพื่อนำมาแสดงเป็นแผนที่ภูมิประเทศ และการคำนวณหาปริมาตรพื้นที่ที่ต้องการ เครื่องมือและอุปกรณ์หลักสำหรับการรังวัดหาค่าระดับด้วยเครื่องมือหยังความลึก ประกอบด้วย ยานพาหนะ เครื่องมือการรังวัดระดับตำแหน่งทางราบด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และเครื่องมือหยังความลึกด้วยคลื่นเสียง เครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่การสำรวจรังวัดและความละเอียดถูกต้อง เช่น ยานพาหนะที่นำอุปกรณ์เครื่องมือไปอาจเป็น เรือพาย เรือติดเครื่องยนต์ เรือบังคับด้วยคนขับ เรือดำน้ำ โดรนใต้น้ำ เป็นต้น เครื่องมือการรังวัดระดับตำแหน่งทางราบอาจเป็นกล้องวัดมุมวางแนว กล้องประมวลผลรวม และปัจจุบันสามารถใช้การรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ เครื่องมือหยังความลึกด้วยคลื่นเสียงสำหรับการวัดระยะตั้ง แบ่งได้เป็น คลื่นความถี่เดียว คลื่นความถี่คู่ คลื่นหลายความถี่

งานวิจัยนี้ใช้การประยุกต์เครื่องมือหยังความลึกด้วยคลื่นเสียงความถี่เดียวทำการรังวัดหาความลึกในคลองบ้านนาลาว มีความลึกประมาณ 1-5 เมตร เพื่อสร้างแผนที่ภูมิประเทศ รูปตัดแนวยาวและแนวตามขวาง โดยจะทำการวัดสอบเครื่องมือหยังความลึกในแต่ละระยะที่ 1 เมตร 2 เมตร และ 3 เมตร จำนวนแต่ละระยะ 10 ครั้ง ประเภทของน้ำ เป็นน้ำใสและน้ำขุ่น เพื่อหาค่าความละเอียดถูกต้องของเครื่องมือหยังความลึกนี้ ผลการวัดสอบเครื่องมือได้ค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ -0.140 ± 0.093 เมตร เมื่อนำเครื่องมือออกทำการรังวัดบริเวณคลองบ้านนาลาว เทียบกับจุดตรวจสอบมีความคลาดเคลื่อนไป -0.144 เมตร และทำการปรับแก้ค่าของการวัดสอบเครื่องมือมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง -0.046 เมตร สรุปผลได้ว่า ถ้าเครื่องมือไม่ได้เป็นแบบรังวัดจำเป็นอย่างมากในการวัดสอบเพื่อหาค่าในการปรับแก้จะทำให้ค่ามีความถูกต้องสูงขึ้น และถ้าเครื่องมือแบบรังวัดก็ยังคงมีการวัดสอบเพื่อดูเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมือสำหรับการรังวัด

คำสำคัญ: เครื่องมือหยังความลึก, การสำรวจได้ผิวน้ำ, แผนที่ผิวน้ำ

Abstract

The application of echo sounder is a method of determining the level in the bathymetric survey which water is obstruction that inevitable. such as ponds, reservoirs, canals, rivers or the sea etc., It must make a surveying the low height of the underwater soil surface to be presented as a topographic map and to calculate the desired surface volume. The main tools and equipment for measuring levels with depth instruments include: rowboat, network real time kinematic, and echo sounder. These instruments and equipment subject to surveying measurement and the precision resolution of the area survey, such as the vehicle carrying the equipment, rowboat, boat engine, an unmanned forced boat, submarine, an underwater drone, etc. The horizontal position instrument may be a theodolite, total station and can currently be used to measure with a network real time kinematic. Echo Sounder wave depth tool for measuring vertical distances can be divided into single frequencies, dual frequencies and multi-frequency waves

This research used the application of echo sounder instruments with a single frequency wave to make a survey measuring for depth in ban Na Lao Canal. Which is deep.1-5 meters for bathymetric map, profiles and cross section. By calibration echo sounder for correction value at each distance of 1 meter, 2 meters and 3 meters at each distance 10 times, and the type of clearwater and turbid water. The total average correction value was -0.140 ± 0.093 meters. When bathymetric survey in ban Na Lao canal, compared to the checkpoint, there was a discrepancy of -0.144 meter and the correction of the instrument test measurements was less inaccurate -0.046 meters Conclusion measuring instrument for surveying must calibration.

Keywords: Sonar, Bathymetric survey, Bathymetric contour

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การสำรวจแผนที่ภูมิประเทศ เป็นการรังวัดตำแหน่งค่าพิกัดของภูมิประเทศเพื่อต้องการทราบขอบเขตเนื้อที่ ความสูงต่ำของพื้นที่ และรายละเอียดที่สนใจ ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการคำนวณและออกแบบบริเวณพื้นที่นั้น ในการสำรวจรังวัดอาจมีแหล่งน้ำที่เกิดจากธรรมชาติ หรือมนุษย์ขุดขึ้น จำเป็นต้องทำการรังวัดเพื่อหาพื้นที่น้ำของภูมิประเทศบนพื้นที่นั้น หรือการสำรวจรังวัดอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น การรังวัดเพื่อหาพื้นที่น้ำอาจใช้วิธีการสำรวจรังวัดได้หลากหลายวิธีการ เช่น การกำหนดระยะแนวเส้นตามขวาง และระยะแนวเส้นตามยาวสำหรับการหึงความลึก หรือการใช้กล้องวัดมุมรังวัดด้วยวิธีสเตเดียโดยใช้ไม้ระดับหึงความลึกลงไป หรือการใช้กล้องประมวลผลรวมรังวัดโดยใช้โหนดปริซึมหึงความลึกลงไป วิธีการต่างๆ เหล่านี้อาจมีความยุ่งยากในการปฏิบัติงาน หรือเสี่ยงกับการงมน้ำ ฉะนั้นในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องรังวัดตำแหน่งด้วยดาวเทียมประกอบกับเครื่องหึงความลึกด้วยคลื่นเสียงความถี่เดียว ในการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งพื้นที่น้ำได้ ซึ่งเครื่องหึงความลึกด้วยคลื่นเสียงนี้ไม่ได้เป็นเครื่องหึงความลึกแบบรังวัดสำหรับการสำรวจ จึงจำเป็นต้องทำการวัดสอบเครื่องมือหึงความลึกนี้ เพื่อใช้ในการปรับแก้ข้อมูลรังวัด และทดลองการรังวัดนำข้อมูลมาขึ้นรูปแผนที่ภูมิประเทศ และตรวจสอบด้วยจุดตรวจสอบที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าความละเอียดถูกต้องของเครื่องหึงความลึกนี้

การรังวัดตำแหน่งทางราบด้วยดาวเทียม ใช้ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน ให้ความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตร และการรังวัดตำแหน่งทางตั้งจากผิวน้ำลงได้น้ำจนถึงพื้นผิวดิน ใช้เครื่องหึงความลึกแบบคลื่นเสียงความถี่เดียว ให้ความถูกต้องในระดับ 10-50 เซนติเมตร เครื่องหึงความลึก(Echo Sounder) อาจแบ่งได้ตามเครื่องที่ส่งคลื่นเสียงออกมาเป็น คลื่นความถี่เดี่ยว(Single Beam Sonar : SBS) คลื่นหลายความถี่(Multi Beam Echo Sounders : MBES) และคลื่นสแนปสแกนการกวาด(Side Scan Sonar : SSS) อีกประเภทหนึ่งคือ แบบคลื่นแสง(Light Detection and Ranging : LIDAR)

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาค่าการปรับแก้ความลึกของเครื่องหึงความลึกคลื่นความถี่เดียวยี่ห้อ Garmin รุ่น Echomap Plus 65cv

1.2.2 เพื่อสร้างแผนที่ภูมิประเทศคลองบ้านนาแนวตัดตามยาว และแนวตัดตามขวาง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1. การประยุกต์ใช้เครื่องมือหึงความลึกด้วยคลื่นเสียงในคลองบ้านนาลาว ทำการวัดสอบเครื่องมือ ยี่ห้อ Garmin รุ่น Echomap Plus 65cv ที่บ่อสวน 80 พรรษา สระวายนากองพันทหารสื่อสารที่ 1 ประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุ้มทอง

1.3.2. ทำการรังวัดโดยการประกอบเครื่องหึงความลึกด้วยคลื่นเสียงความถี่เดียวเครื่องมือยี่ห้อ Garmin รุ่น Echomap Plus 65cv และเครื่องรังวัดทางราบด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ยี่ห้อ Sino รุ่น GNSS T300 GNSSRECEIVER ติดโพน โดยมียานพาหนะเป็นเรือพาย

1.3.3. บริเวณพื้นที่กรณีศึกษา คลองบ้านนาลาว ตำบลอุ้มทอง อำเภอกู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ระยะทางประมาณ 500 เมตร

1.3.4. เปรียบเทียบแบบจำลองข้อมูลการรังวัดกับจุดตรวจสอบ และแบบจำลองข้อมูลการรังวัดแบบปรับแก้กับจุดตรวจสอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. ได้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องหึงความลึก และสามารถนำเครื่องหึงความลึกไปใช้ทำการรังวัดได้อย่างถูกต้อง

1.4.2. ได้ขั้นตอนการปฏิบัติงาน การวัดสอบเครื่องมือ การประกอบเครื่องรังวัดหึงความลึก การขึ้นรูปแผนที่ และการตรวจสอบความลึก

1.5 นิยามศัพท์

1.5.1 การสำรวจทางอุทกศาสตร์ (Hydrographic Survey) คือ การสำรวจข้อมูลน้ำและรังวัดทางกายภาพแหล่งน้ำ ได้แก่ การสำรวจข้อมูลน้ำ อัตราเร็ว พลังงาน คลื่นน้ำ ภาวะน้ำขึ้น-น้ำลง อุณหภูมิ ความหนาแน่น เส้นทางการเดินเรือเพื่อความปลอดภัย เป็นต้น และการรังวัดกายภาพแหล่งน้ำ ได้แก่ ขอบเขต ทิศทาง พื้นผิวใต้น้ำ ปริมาตร เป็นต้น

1.5.2 การสำรวจกายภาพแหล่งน้ำ (Bathymetric Survey) เป็นการสำรวจทางกายภาพของแหล่งน้ำ ได้แก่ ขอบเขต ระดับ พื้นผิวใต้น้ำ เพื่อสร้างแผนที่เส้นชั้นความลึกของน้ำ (bathymetric contour)

1.5.3 เครื่องมือหึงความลึกชนิดใช้คลื่นเสียงสะท้อน (Echo Sounder) เป็นการใช้คลื่นความถี่ของเสียงโซนา (Sonar) มาประยุกต์ใช้ในการหาความลึกของพื้นผิวดินน้ำ

1.6 เครื่องมือที่ใช้

1.6.1. ตลับเมตร และเทปวัดระยะ

1.6.2. ท่อน้ำวัดระยะสำหรับการวัดสอบเครื่องหึงความลึก

1.6.3. เรือพาย

1.6.4. เครื่องหึงความลึกคลื่นความถี่เดียวยี่ห้อ Garmin รุ่น Echomap Plus 65cv

1.6.5. เครื่องรังวัดตำแหน่งด้วยดาวเทียมยี่ห้อ Sino รุ่น GNSS T300 GNSSRECEIVER

1.6.6. คอมพิวเตอร์โปรแกรม AutoCAD Civil 3D 2020

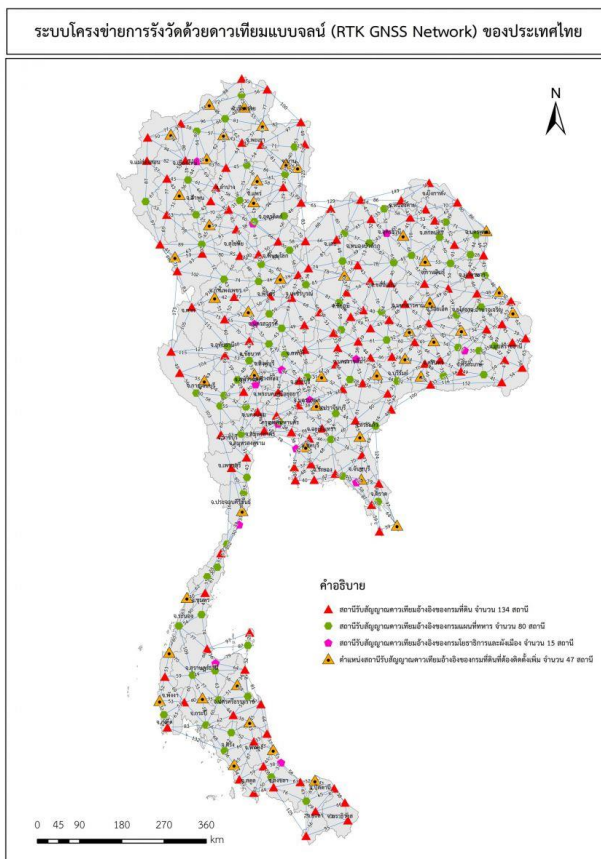


รูปที่ 1 การประยุกต์ใช้เครื่องหึงความลึก

2. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องมือการรังวัดระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมโครงข่ายแบบจลน์

2.1.1 การกำหนดตำแหน่งทางราบใช้โครงข่ายการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) โดยมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ สถานีควบคุม (Control Station) สถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (CORS) และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ (Rover) ของกรมที่ดินที่บูรณาการติดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงร่วมกับกรมแผนที่ทหาร จำนวน 80 สถานี กรมโยธาธิการและผังเมือง จำนวน 15 สถานี และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) จำนวน 6 สถานี เป็นโครงข่ายการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ เพื่อใช้สำหรับการสำรวจรังวัดแปลงที่ดินให้มีความถูกต้องสูงและแม่นยำตามที่กรมที่ดินกำหนด



รูปที่ 2 ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของประเทศไทย
ที่มา : (กรมที่ดิน, 2563)

การเข้าใช้งานระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ สามารถทำหนังสือยื่นขอรหัสเข้าใช้งานโดยตรงผ่านทางส่วนกลางหรือลงทะเบียนขอใช้งานผ่านเว็บไซต์ www.dol-rtknetwork.com และรอตอบกลับจากส่วนกลาง การขอข้อมูลเพื่อดาวน์โหลด RINEX File สำหรับงาน Static สำหรับหน่วยงานภายนอก ให้ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการขอใช้ข้อมูลมายังกรมที่ดิน (กรมที่ดิน, 2563)

2.1.2 การประเมินผลความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของการรังวัดด้วยโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรังวัดด้วย RTK GNSS Network

ตาราง สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรังวัดด้วย RTK GNSS Network ของกรมที่ดิน

ช่วงที่	ค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างสถานีฐานถาวรสามด้าน (กม.)	ระยะเวลาในการเข้าสู่โหมด Fixed (วินาที)	ร้อยละที่รับสัญญาณ VRS สำเร็จ (%)	เรขาคณิตดาวเทียม (PDOP)	RMSE ของตำแหน่งทางราบ (ม.)
1	30 - 50	16	100.0	1.5	0.032
2	50 - 70	21	98.3	1.5	0.035
3	70 - 90	32	98.0	1.4	0.035
4	90 - 110	34	96.2	1.4	0.035

ที่มา : (กรมที่ดิน, 2563)

สรุปว่า การรังวัดด้วยโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) ให้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบไม่เกิน 4 เซนติเมตร ซึ่งมีความถูกต้องเพียงพอสำหรับงานรังวัดที่ดินในประเทศไทย

2.1.3 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องมือการรังวัดด้วยดาวเทียมโครงข่ายแบบจลน์ในงานวิจัยชื่อ Sino รุ่น GNSS T300 GNSSRECEIVER

ช่องติดตามสัญญาณ	572 ช่อง
การติดตามดาวเทียม	GPS, BeiDou, GLONASS, Galileo และ SBAS
RTK ความแม่นยำในแนวราบ	8 มม. + 1 ppm
RTK ความแม่นยำในแนวตั้ง	15 มม. + 1 ppm
หลังการประมวลผล ความแม่นยำในแนวราบ	2.5 มม. + 0.5 ppm
ความแม่นยำในแนวตั้งหลังการประมวลผล	5 มม. + 0.5 ppm
เวลาเริ่มต้น	น้อยกว่า 10 วิ
1 พอร์ตอนุกรม 7 พิน Lemo	อัตราสูงสุด 921,600 bps
ข้อมูลการแก้ไข I/O	RTCM 2.X, 3.X, CMR, CMR+
อัตราการส่งข้อมูลตำแหน่ง	1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz
โมเด็ม	WiFi, 4G, 3G, GSM
โมเด็ม UHF (อุปกรณ์เสริม)	Tx/Rx, 410-470 MHz
แบตเตอรี่	โปรโตคอล V4.0



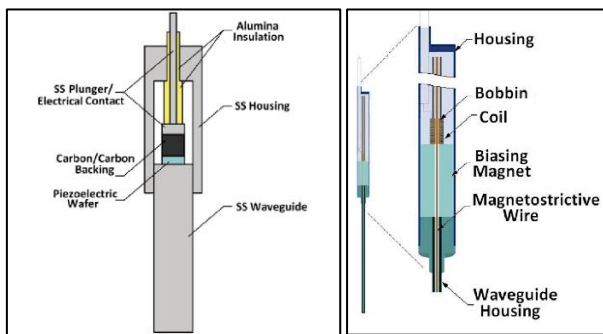
The optional choice is provided to have capacity of two kits of T300 receivers.



รูปที่ 3 เครื่องมือรังวัดด้วยดาวเทียม Sino GNSS T300 GNSSRECEIVER
ที่มา : (<https://www.comnavtech.com/T300.html>)

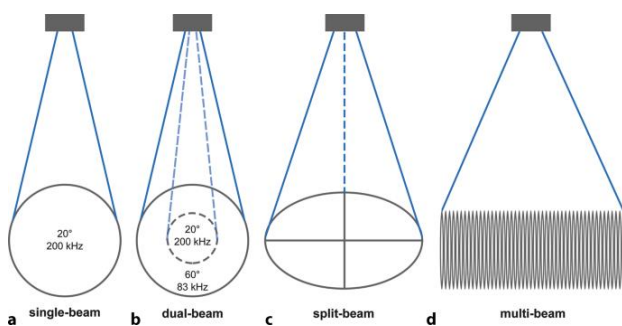
2.2 เครื่องมือหยังความลึก

2.2.1 เครื่องมือหยังความลึกด้วยคลื่นเสียงเกิดจากอุปกรณ์โซนาร์แบบ Active ซึ่งมีแหล่งพลังงานของตัวเอง สำหรับส่งคลื่นพลังงานไปยังวัตถุแล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ เช่น Single Beam Echo Sounder , MultiBeam Echo Sounder, Sidescan Sonar, Sub-bottom Profiler เป็นต้น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลัก คือ เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง(Transducer) ตัวกลางการเดินทางของเสียง(Water) และคุณลักษณะของเป้าหมายที่เสียงสะท้อนกลับมา(Surface) โดยปกติแล้วเสียงของอุปกรณ์โซนาร์จะถูกสร้างและส่งจากส่วนของอุปกรณ์ที่เรียกว่า Transducer ซึ่งภายในนั้นจะถูกบรรจุไว้ด้วยวัตถุที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียง แบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ Crystal(Piezoelectric) ,Ceramic(Piezoelectric) และ Magnetostrictive



รูปที่ 4 แหล่งกำเนิดเสียง Piezoelectric, Magnetostrictive
ที่มา : (Bernhard and Pradeep,2013)

ถ้าแบ่งเครื่องมือหยังความลึกตามคลื่นที่ส่งออกมาเป็น 4 ประเภท คือ ประเภทความถี่เดียว ประเภทความถี่คู่ ประเภทความถี่แยก และประเภทหลายความถี่ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องมือหยังความลึกแบ่งตามการส่งคลื่น : a เป็นคลื่นความถี่เดียว, b เป็นคลื่นความถี่คู่, c เป็นคลื่นความถี่แยก, d เป็นคลื่นหลายความถี่
ที่มา : (Schmidt and Schletterer,2020)

2.1.2 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมือหยังความลึกด้วยคลื่นเสียงความถี่เดียวที่ใช้ในงานวิจัย ยี่ห้อ Garmin รุ่น Echomap Plus 65cv ข้อมูลทั่วไป

มิติ	8.6" x 5.1" x 2.6" (21.8 x 13.0 x 6.2cm)
ขนาดจอแสดงผล	5.4 นิ้ว x 3.1 นิ้ว ทแยงมุม 6.2 นิ้ว
ความละเอียดในการแสดงผล	480 x 800 พิกเซล
ประเภทการแสดงผล	จอแสดงผล WVGA
น้ำหนัก	1.6 ปอนด์ (0.7 กก)
กันน้ำ	IPX7
ตัวเลือกการติดตั้ง	Bail or flush

แผนที่และหน่วยความจำ

การนำทางยอมรับการ์ดข้อมูล	1 microSD™ card; 32 GB maximum
จุดอ้างอิง	5,000
เส้นทางการนำทาง	100

เซนเซอร์

ผู้รับ	5 HZ
เข้ากันได้กับ NMEA2000	✓
NMEA0183 เข้ากันได้	✓

การเชื่อมต่อ

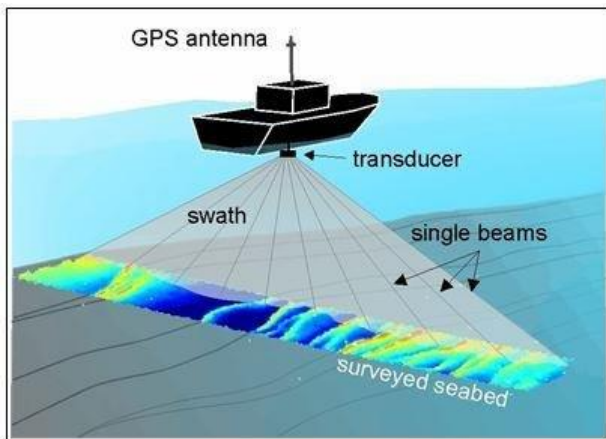
การเชื่อมต่อ NMEA0183 พอร์ตอินพุต	1
พอร์ตอนพุตวิดีโอ	None
พอร์ตอนพุตพิกัดวิดีโอ	None
การเชื่อมต่อพอร์ตเครือข่ายทางเรือของ GARMIN	None



รูปที่ 6 เครื่องมือหยังความลึก Garmin รุ่น Echomap Plus 65cv
(<https://www.garmin.com/th-TH/p/592847#specs>)

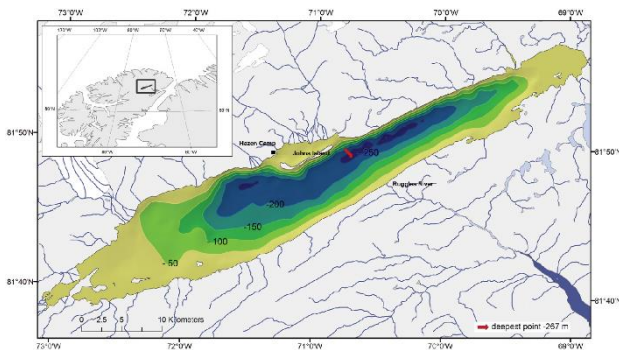
2.3 การจัดทำแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ

2.3.1 การจัดทำแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำมีความเหมือนกับการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศบนพื้นดิน ซึ่งจะต้องมีข้อมูลการรังวัด และประมวลผลออกมาเป็นระบบพิกัดฉากทั้งสามแกน คือ ทางราบและทางตั้ง (P,X,Y,Z,D) หรือ (P,N,E,H,D) ความหมาย P เป็นหมายเลขหมุด; X,Y หรือ N,E เป็นพิกัดทางราบ; Z หรือ H เป็นพิกัดทางตั้งหรือค่าระดับ และ D เป็นรหัสแทนรายละเอียด การสำรวจรังวัดจะต้องกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่ต้องการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ ตำแหน่งระดับน้ำหรือขอบน้ำ และทำการรังวัดด้วยการประยุกต์เครื่องหยั่งความลึกร่วมกับเครื่องมือระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม วัตถุประสงค์ของการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ เพื่อต้องการอธิบายลักษณะทางกายภาพของพื้นดินใต้น้ำ นำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์คำนวณหาจุดสูงสุด ต่ำสุด อยู่บริเวณใด คำนวณหาปริมาตรและประเมินความเหมาะสมความลึกของแหล่งน้ำ



รูปที่ 7 การรังวัดทำแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ

(<https://www.orbital.co.ke/multibeam-echosounder>)



รูปที่ 8 แผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ

(<https://pubs.aina.ucalgary.ca/arctic/Arctic65-1-56.pdf>)

2.3.2 การใช้โปรแกรมอัตโนมัติแคชชีวิสามติ เป็นซอฟต์แวร์ในการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ โดยเริ่มจากการนำข้อมูลการรังวัดเข้าสู่โปรแกรมสร้างพื้นผิวและเส้นชั้นความสูง การกำหนดแนวตามยาวและแนวตามขวาง และแสดงรูปตัด การคำนวณหาปริมาตรของคลองที่กำหนดขอบเขตไว้

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งขั้นตอนเป็น การทดสอบอุปกรณ์หยั่งความลึก การรังวัดข้อมูลขอบเขตที่กำหนดไว้ การรังวัดจุดตรวจสอบ การประมวลผลข้อมูลการรังวัด การขึ้นรูปแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ การแสดงรูปตัดตามยาว รูปตัดตามขวาง และการคำนวณหาปริมาตรคลองบ้านนาลาวที่กำหนดไว้

3.1 การทดสอบอุปกรณ์หยั่งความลึก

3.1.1 การทดสอบอุปกรณ์หยั่งความลึก เพื่อต้องการทราบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดที่ระยะต่างๆ กัน และน้ำที่มีความขุ่นและความใสแตกต่างกัน โดยการกำหนดระยะ 1 เมตร 2 เมตร และ 3 เมตร



รูปที่ 9 การกำหนดระยะในน้ำในการวัดสอบเครื่องมือหยั่งความลึก

3.1.2 ข้อมูลการวัดสอบเครื่องมือหยั่งความลึก

ตารางที่ 2 ข้อมูลการวัดสอบเครื่องมือหยั่งความลึกน้ำใส

ครั้งที่	น้ำใส			ความคลาดเคลื่อนที่		
	1 เมตร	2 เมตร	3 เมตร	1 เมตร	2 เมตร	3 เมตร
1	0.900	1.800	2.800	-0.100	-0.200	-0.200
2	0.900	1.900	2.900	-0.100	-0.100	-0.100
3	0.900	1.900	3.000	-0.100	-0.100	0.000
4	0.800	1.800	2.900	-0.200	-0.200	-0.100
5	0.900	1.700	3.000	-0.100	0.000	0.000
6	0.900	1.800	2.700	-0.100	-0.200	-0.300
7	0.900	1.700	2.800	-0.100	-0.300	-0.200
8	0.900	2.000	2.700	-0.100	0.000	-0.300
9	0.800	1.900	2.700	-0.200	-0.100	-0.300
10	0.900	1.800	3.000	-0.100	-0.200	0.000

ตารางที่ 3 ข้อมูลการวัดสอบเครื่องมือหยังความลึกน้ำขุ่น

ครั้งที่	น้ำขุ่น			ความคลาดเคลื่อนที่		
	1 เมตร	2 เมตร	3 เมตร	1 เมตร	2 เมตร	3 เมตร
1	0.900	1.900	2.700	-0.100	-0.100	-0.300
2	0.900	2.000	2.800	-0.100	0.000	-0.200
3	0.900	1.700	2.700	-0.100	-0.300	-0.300
4	0.900	1.800	2.900	-0.100	-0.200	-0.100
5	0.800	1.800	2.800	-0.200	-0.200	-0.200
6	0.800	1.900	3.000	-0.200	-0.100	0.000
7	0.900	1.700	2.900	-0.100	-0.300	-0.100
8	0.800	1.900	2.700	-0.200	-0.100	-0.300
9	0.900	2.000	2.900	-0.100	0.000	-0.100
10	0.900	1.900	3.000	-0.100	-0.100	0.000

3.2 การรังวัดข้อมูลหยังความลึกขอบเขตที่กำหนดไว้

3.2.1 แนวเขตคลองสำหรับการรังวัดข้อมูล ประมาณ 500 เมตร การรังวัดเป็นแนวตามขวางที่ละ 5 เมตร และแนวตามยาวที่ละ 25 เมตร



รูปที่ 9 กำหนดแนวเขตการรังวัดข้อมูลหยังความลึก

3.2.2 ข้อมูลการรังวัดหยังความลึกคลองบ้านนาลาว ด้วยเรือพาย ข้อมูลการรังวัดทางราบใช้การรังวัดด้วยดาวเทียมโครงข่ายแบบจลน์กรมที่ดิน และเครื่องมือหยังความลึกคลื่นความถี่เดียว ได้ข้อมูลทั้งหมด 193 จุด

ตารางที่ 4 ข้อมูลการรังวัดหยังความลึก

P	N	E	Z	D
1	1586950.350	595427.070	1.753	road
2	1586948.932	595426.327	0.646	kerb
...	...	...	...	...
192	1586890.870	595497.550	-2.344	c1
193	1586881.440	595503.150	-2.524	c1

3.2.3 ข้อมูลการรังวัดจุดตรวจสอบ สำหรับการตรวจสอบความลึกของการรังวัดเปรียบเทียบกับแผนที่ภูมิประเทศแสดงเส้นชั้นความสูง เพื่อหาความละเอียดถูกต้องของการรังวัด และเปรียบเทียบค่าจากจุดตรวจสอบเมื่อมีการปรับแก้ค่าจากเครื่องมือการรังวัดสอบ ใช้วิธีการสุ่มเป็นแนวตามยาวทั้งหมด 21 จุด ดังตารางที่ 5 ข้อมูลการรังวัดจุดตรวจสอบ



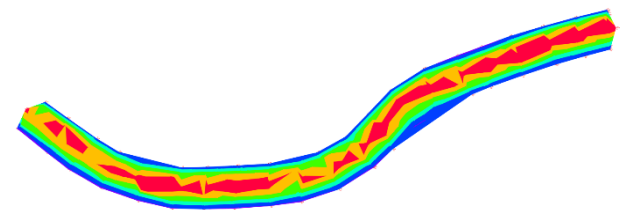
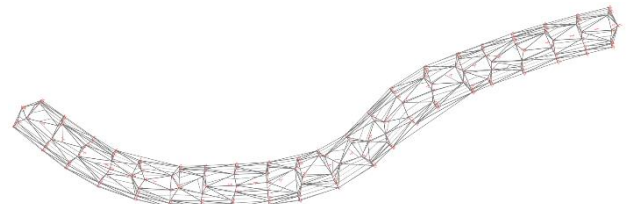
รูปที่ 10 การรังวัดข้อมูลจุดตรวจสอบ

ตารางที่ 5 ข้อมูลการรังวัดจุดตรวจสอบ

P	N	E	Z	D
301	1586945.035	595428.491	-1.344	ckp
302	1586935.593	595442.927	-1.259	ckp
...	...	...	...	...
320	1587012.932	595847.657	-1.141	ckp
321	1587018.211	595873.280	-1.163	ckp

3.3 การขึ้นรูปแผนที่ภูมิประเทศได้น้ำ

3.3.1 การสร้างพื้นผิวแสดงเส้นชั้นความสูง



Elevations Table				
Number	Minimum Elevation	Maximum Elevation	Area	Color
1	-3.00	-2.00	3641.20	Red
2	-2.00	-1.00	4733.90	Orange
3	-1.00	0.00	3194.13	Yellow
4	0.00	1.00	2544.51	Green
5	1.00	2.00	2679.06	Blue
6	2.00	3.00	130.45	Purple

รูปที่ 11 การขึ้นรูปแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงและแผนที่แสดงความลึก

4. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการวัดสอบเครื่องหยั่งความลึก

จากข้อมูลวัดสอบเครื่องหยั่งความลึกด้วยคลื่นเสียงความถี่เดียว ยี่ห้อ Garmin รุ่น Echomap Plus 65cv ทำการวัดสอบประเภทของน้ำขุ่นและน้ำใสที่ระยะ 1 เมตร 2 เมตร และ 3 เมตร ระยะละ 10 ครั้ง ตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3 หัวข้อที่ 3.1.2 ข้อมูลการวัดสอบเครื่องมือหยั่งความลึก การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดสอบในน้ำใส ที่ระยะ 1 เมตรได้ค่า -0.120 ± 0.042 เมตร ที่ระยะ 2 เมตรได้ค่า -0.140 ± 0.097 เมตร ที่ระยะ 3 เมตรได้ค่า -0.0150 ± 0.127 เมตร และการวัดสอบในน้ำขุ่น ที่ระยะ 1 เมตรได้ค่า -0.130 ± 0.048 เมตร ที่ระยะ 2 เมตรได้ค่า -0.140 ± 0.107 เมตร ที่ระยะ 3 เมตรได้ค่า -0.160 ± 0.117 ทำการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานให้เป็นค่าปรับแก้สำหรับเครื่องมือหยั่งความลึกนี้เท่ากับ -0.140 ± 0.092 เมตร

ตารางที่ 6 การวัดสอบเครื่องมือและการปรับแก้

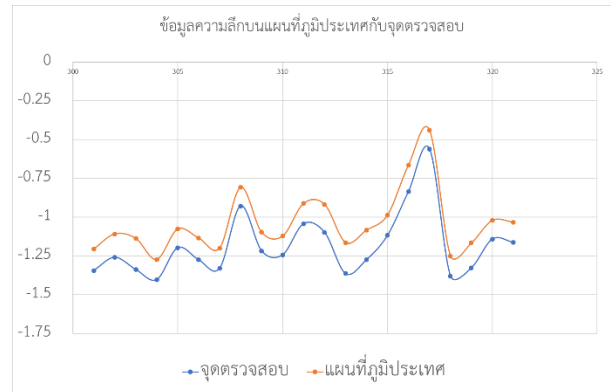
ค่าปรับแก้ -0.140 ± 0.092	ความคลาดเคลื่อนในน้ำใส			ความคลาดเคลื่อนในน้ำขุ่น		
	1m	2m	3m	1m	2m	3m
	-0.100	-0.200	-0.200	-0.100	-0.100	-0.300
	-0.100	-0.100	-0.100	-0.100	0.000	-0.200
	-0.100	-0.100	0.000	-0.100	-0.300	-0.300
	-0.200	-0.200	-0.100	-0.100	-0.200	-0.100
	-0.100	0.000	0.000	-0.200	-0.200	-0.200
	-0.100	-0.200	-0.300	-0.200	-0.100	0.000
	-0.100	-0.300	-0.200	-0.100	-0.300	-0.100
	-0.100	0.000	-0.300	-0.200	-0.100	-0.300
	-0.200	-0.100	-0.300	-0.100	0.000	-0.100
	-0.100	-0.200	0.000	-0.100	-0.100	0.000
AVG	-0.120	-0.140	-0.150	-0.130	-0.140	-0.160
SD	0.042	0.097	0.127	0.048	0.107	0.117

4.2 การตรวจสอบแผนที่ภูมิประเทศได้น้ำกับจุดตรวจสอบ

การตรวจสอบแผนที่ภูมิประเทศได้น้ำ ในการรังวัดข้อมูลหยั่งความลึก จะต้องกำหนดจุดตรวจสอบการรังวัดหยั่งความลึกโดยการสุ่มเป็นจุดๆ ให้ทั่วบริเวณในการทำแผนที่ภูมิประเทศได้น้ำ เพื่อต้องทราบความละเอียดถูกต้องของแผนที่ภูมิประเทศได้น้ำ เนื่องจากเครื่องมือหยั่งความลึกไม่ได้เป็นเครื่องมือหยั่งความลึกแบบรังวัด ดังแสดงในตารางที่ 5 ความคลาดเคลื่อนข้อมูลหยั่งความลึกกับจุดตรวจสอบ และรูปที่ 12 กราฟข้อมูลการรังวัดหยั่งความลึกบนแผนที่ภูมิประเทศกับจุดตรวจสอบ

ตารางที่ 7 ความคลาดเคลื่อนข้อมูลหยั่งความลึกกับจุดตรวจสอบ

Point	N	E	จุด	แผนที่	ความ
			ตรวจสอบ	ภูมิประเทศ	คลาดเคลื่อน
301	1586945.035	595428.491	-1.344	-1.206	0.138
302	1586935.593	595442.927	-1.259	-1.109	0.150
...	...	...	...	...	...
320	1587012.932	595847.657	-1.141	-1.021	0.120
321	1587018.211	595873.280	-1.163	-1.033	0.130



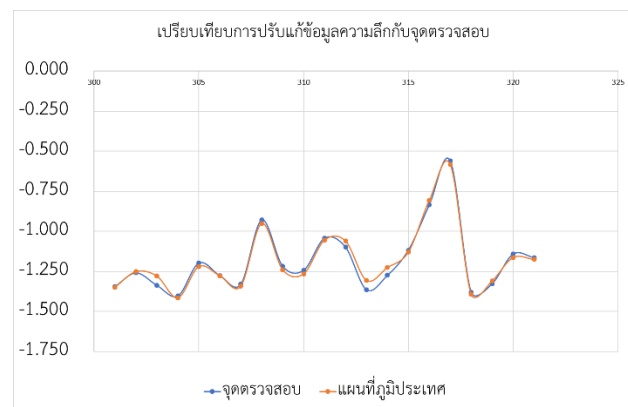
รูปที่ 12 เปรียบเทียบข้อมูลความลึกบนแผนที่ภูมิประเทศกับจุดตรวจสอบ

4.3 การปรับแก้ข้อมูลการรังวัดจากการตรวจสอบ

จากการตรวจสอบข้อมูลการรังวัดหยั่งความลึกด้วยจุดตรวจสอบแสดงในตารางที่ 6 ความคลาดเคลื่อนข้อมูลหยั่งความลึกกับจุดตรวจสอบ และรูปที่ 12 กราฟข้อมูลการรังวัดหยั่งความลึกบนแผนที่ภูมิประเทศกับจุดตรวจสอบ จะสังเกตได้ว่า แผนที่ภูมิประเทศได้น้ำที่เกิดจากการรังวัดข้อมูลที่ไม่ได้ปรับแก้มีค่าที่ต่ำกว่าจุดตรวจสอบ เมื่อใช้ผลของการวัดสอบเครื่องมือหยั่งความลึกบวกเข้ากับข้อมูลการรังวัดหยั่งความลึก ก็จะทำให้ค่าใกล้เคียงกับจุดตรวจสอบ ดังแสดงในตารางที่ 6 การปรับแก้ข้อมูลการรังวัดหยั่งความลึก และรูปที่ 13 กราฟข้อมูลการปรับแก้หยั่งความลึกกับจุดตรวจสอบ

ตารางที่ 8 การปรับแก้ข้อมูลการรังวัดหยั่งความลึก

Point	N	E	จุด	แผนที่	ความ
			ตรวจสอบ	ภูมิประเทศ	คลาดเคลื่อน
301	1586945.035	595428.491	-1.344	-1.348	-0.004
302	1586935.593	595442.927	-1.259	-1.251	0.008
...	...	...	...	...	...
320	1587012.932	595847.657	-1.141	-1.163	-0.022
321	1587018.211	595873.280	-1.163	-1.175	-0.012



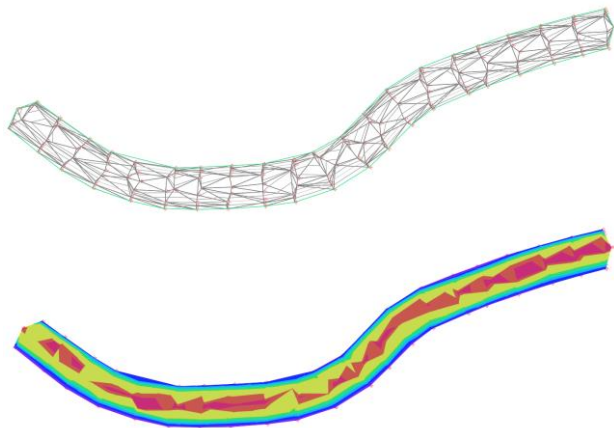
รูปที่ 13 เปรียบเทียบการปรับแก้ข้อมูลความลึกกับจุดตรวจสอบ

4.4 การเขียนรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวาง

ข้อมูลที่ได้จากการปรับแก้การรังวัดหยังความลึก นำไปขึ้นรูปแผนที่ภูมิประเทศได้น้ำ และนำมาเขียนรูปตัดตามยาว รูปตัดตามขวาง สำหรับการวางแผนหรือการออกแบบคลองต่อไป

ตารางที่ 9 ข้อมูลการรังวัดหยังความลึกปรับแก้ด้วยค่าวัดสอบเครื่องมือ

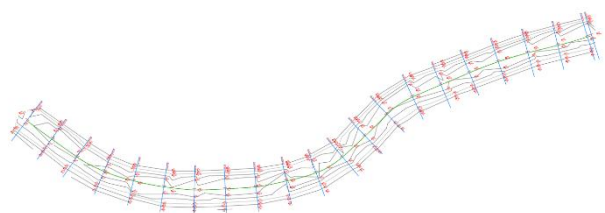
P	N	E	Z	D
1	1586950.350	595427.070	1.613	road
2	1586948.932	595426.327	0.506	kerb
...	...	...	...	...
192	1586890.870	595497.550	-2.484	c1
193	1586881.440	595503.150	-2.664	c1



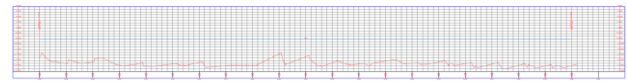
Elevations Table				
Number	Minimum Elevation	Maximum Elevation	Area	Color
1	-3.00	-2.00	4683.01	Red
2	-2.00	-1.00	4190.02	Yellow
3	-1.00	0.00	3061.67	Green
4	0.00	1.00	2538.57	Cyan
5	1.00	2.00	2165.47	Blue
6	2.00	3.00	17.87	Purple

รูปที่ 14 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงและแผนที่แสดงความลึก

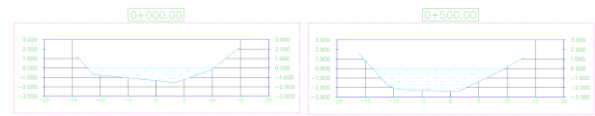
การสร้างเส้นแนวกลางคลองสำหรับการเขียนรูปตัดตามยาวและตามขวาง ข้อมูลที่ได้จากการปรับแก้การรังวัดหยังความลึก นำไปขึ้นรูปแผนที่ภูมิประเทศได้น้ำ และนำมาเขียนรูปตัด



รูปที่ 15 การสร้างเส้นแนวตามยาวและแนวตามขวาง



รูปที่ 16 การสร้างเส้นแนวตามยาว



รูปที่ 17 การสร้างเส้นแนวตามขวาง

4.5 การคำนวณปริมาตร

การคำนวณปริมาตรแผนที่ภูมิประเทศได้น้ำ ใช้ระดับอ้างอิงที่ผิวน้ำ 0.000 เมตร โดยกำหนดเป็นสองพื้นผิว คือ พื้นผิวภูมิประเทศได้น้ำ กับพื้นผิวน้ำ คำนวณแบบเปรียบเทียบสองพื้นผิว ได้ค่าปริมาตรการขุด(Cut Volume) และค่าปริมาตรการถม(Fill Volume) ปริมาตรสุทธิ(Net Volume) ดังรูปที่ 18

Information	Definition	Analysis	Statistics
Statistics			
General		Value	
TIN			
Volume			
Base Surface		Ground	
Comparison ...		Elev0	
Cut Factor		1.000	
Fill Factor		1.000	
Cut volume (...)		302.73 Cu. M.	
Fill volume (a...)		18628.59 Cu. M.	
Net volume (...)		18325.86 Cu. M.<Fill>	
Cut volume (...)		302.73 Cu. M.	
Fill volume (u...)		18628.59 Cu. M.	
Net volume (...)		18325.86 Cu. M.<Fill>	

รูปที่ 18 การคำนวณปริมาตรสองพื้นผิว

การคำนวณปริมาตรโดยใช้รูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวาง

ตารางที่ 10 การคำนวณปริมาตรด้วยรูปสามเหลี่ยม Composite

Total Volume Table Composite						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+025.00	0.00	0.00	825.51	0.03	825.51	0.03
...	...	...	...	...	...	...
0+500.00	0.00	0.00	1169.99	3.08	18571.61	311.14
0+504.49	0.00	0.00	180.35	0.00	18751.96	311.14

ตารางที่ 11 การคำนวณปริมาตรด้วยพื้นที่หน้าตัด Average End Area

Total Volume Table Average End Area						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+000.00	25.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+025.00	42.83	0.01	859.03	0.08	859.03	0.08
...	...	...	...	...	...	...
0+500.00	40.49	0.00	1028.36	0.09	18521.69	355.13
0+504.49	38.18	0.00	176.65	0.00	18698.34	355.13

ตารางที่ 12 การคำนวณปริมาตรด้วยหน้าตัดปริซึม Prismoidal

Total Volume Table Prismoidal						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+000.00	25.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+025.00	42.83	0.01	850.20	0.06	850.20	0.06
...	...	...	...	...	...	...
0+500.00	40.49	0.00	1016.05	0.07	18460.96	341.09
0+504.49	38.18	0.00	176.63	0.00	18637.59	341.09

5. สรุปผล

5.1 สรุปผลการทำงานวิจัย

การประยุกต์ใช้เครื่องมือหยังความลึกด้วยคลื่นเสียงความถี่เดียวในคลองบ้านนาลาว ประกอบด้วย คน เครื่องมือ ข้อมูล การใช้คนในการรังวัด 2 คน ซึ่งเป็นทั้งคนในการรังวัดหาข้อมูลและประมวลผลข้อมูลขึ้นรูปแผนที่เครื่องมือ ประกอบด้วย เรือ เครื่องมือกำหนดตำแหน่งทางราบด้วยระบบดาวเทียมโครงข่ายแบบจลน์ เครื่องมือหยังความลึก ไทโรสท์และคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลข้อมูล ข้อมูลโดยพื้นฐานก็จะเป็นระบบพิกัดที่มีรูปแบบ เช่น PNEZD เป็นต้น รูปแผนที่เป็นแผนที่ภูมิประเทศได้นำโดยมีการเขียนรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวาง และการคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ผิวน้ำกับพื้นผิวได้นำ ขั้นตอนการทำงานวิจัยประกอบด้วย การวัดสอบเครื่องมือหยังความลึก การรังวัดข้อมูลคลองด้วยเครื่องมือหยังความลึกกับเครื่องมือกำหนดตำแหน่งทางราบด้วยระบบดาวเทียมโครงข่ายแบบจลน์ การรังวัดจุดตรวจสอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการรังวัด การปรับแก้ข้อมูลการรังวัดกับข้อมูลการวัดสอบเครื่องมือ การขึ้นรูปแผนที่ภูมิประเทศได้นำ การขึ้นรูปแผนที่ความลึก การเขียนรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวาง และการคำนวณปริมาตร

5.2 อภิปรายผล

การวัดสอบเครื่องมือหยังความลึกยี่ห้อ Garmin รุ่น Echomap Plus 65cv ที่ระยะ 1,2,3 เมตรได้ค่าการปรับแก้ -0.140 ± 0.092 เมตร

การตรวจสอบแผนที่ภูมิประเทศได้นำกับจุดตรวจสอบ แผนที่ภูมิประเทศได้นำที่ยังไม่ได้ปรับแก้ข้อมูลของการวัดสอบเครื่องมือหยังความลึกเมื่อทำการเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย $+0.144$ เมตร และเมื่อมีการปรับแก้ข้อมูลจากการวัดสอบเครื่องมือหยังความลึกนำมาเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย -0.046 เมตร ซึ่งอธิบายได้ว่า การรังวัดด้วยเครื่องมือไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือแบบรังวัดหรือไม่ได้เป็นเครื่องมือแบบรังวัด จะต้องมีการวัดสอบเครื่องมือทุกครั้งก่อนนำไปรังวัดหาข้อมูล

ข้อมูลที่ถูกต้องหลังจากมีการตรวจสอบ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาปริมาตร เพื่อที่จะขุดลอกคลอง หรือออกแบบเส้นทางสำหรับคลองได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

บูรณาการกับภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ให้ทำการประกอบเครื่องมือการสำรวจประยุกต์ใช้สำหรับการรังวัด ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ประกอบด้วย ยานพาหนะ เช่น เรือบังคับไร้คนขับ เรือได้นำ หรือโดรน เป็นต้น เครื่องมือรังวัดด้วยดาวเทียมโครงข่ายแบบจลน์ ซึ่งเป็นบอร์ได้รับสัญญาณ เครื่องมือหยังความลึก ซึ่งเป็นตัวทรานสดิวเซอร์ มีหลายความถี่ให้เลือก ส่วนการควบคุม เป็นคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะต้องเขียนโปรแกรมให้เครื่องมือการรังวัดเข้ากันได้ สามารถบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำและนำเข้าซอฟต์แวร์เพื่อประมวลผลและจัดทำแผนที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมสำรวจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้ความรู้ ความเข้าใจ และสามารถนำความรู้ที่ได้ศึกษาเล่าเรียนมาไปใช้ได้อย่างเหมาะสม

ขอขอบพระคุณบริษัท บ.ตรีมิตร เซอร์เวย์อิง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (Trimitr Surveying and Construction Co.,Ltd Co.,Ltd) ที่ให้ความช่วยเหลืออุปกรณ์เครื่องมือในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้เขียนบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บนเว็บไซต์ต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทำให้สามารถสืบค้น และให้ความรู้ ความเข้าใจและสามารถนำความรู้ไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองเทคโนโลยีทำแผนที่, กองฝึกอบรม, กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย. 2563. องค์ความรู้ “แนวทางการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network)”, กรุงเทพมหานคร
- [2] พัฒนพงษ์ อ่วมด้วง และกมลชนก สุทธิวาหนฤพฒ. (2020). การประยุกต์ใช้เรือดำนํ้ากับหน่วยงานภาครัฐและเอกชน. Sci & Tech.J.NKRAFA, น. 124-142. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] มณฑล อนุพงศ์พรกุล, รติพงษ์ ฤกษ์บุญ, ยุทธนา เทพรุณรัตน์, Miyamoto Yoshinori, Uchida Keiichi, Minlee Yap, Sasakura Toyoki, และ ฤกษ์ภา ธงศิลา. 2559. ระบบชุดสำรวจการแพร่กระจายปลากกลางน้ำอย่างง่าย (PFDS I). น.753-760. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- [4] อัสนัย ไทรบุญจันทร์. (2564). การกำเนิดเสียงของโซนาร์ที่ส่งผลต่อการตรวจจับสัตว์ได้นำ.วารสารวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 107-123.
- [5] Daw, Joshua & Tittmann, Bernhard & Reinhardt, Brian & Kohse, G. & Ramuhalli, Pradeep & Montgomery, Robert & Chien, H.-T & Villard, Jean-Francois & Palmer, Joseph & Rempe, Joy. (2013). Irradiation Testing of Ultrasonic Transducers. IEEE Transactions on Nuclear Science. 61. 1-7. 10.1109/ANIMMA.2013.6728097.
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2012). NOAA HYDROGRAPHIC SURVEY PRIORITIES 2012 Edition, <http://www.noaa.gov/NHSP.html>. Washington DC.
- [7] Iwona Kochanska ,Jacek Marszal and Piotr Grall. (2020). Direction-of-Arrival Estimation Methods in Interferometric Echo Sounding. Sensors, doi:10.3390/s20123556. www.mdpi.com/journal/sensors