

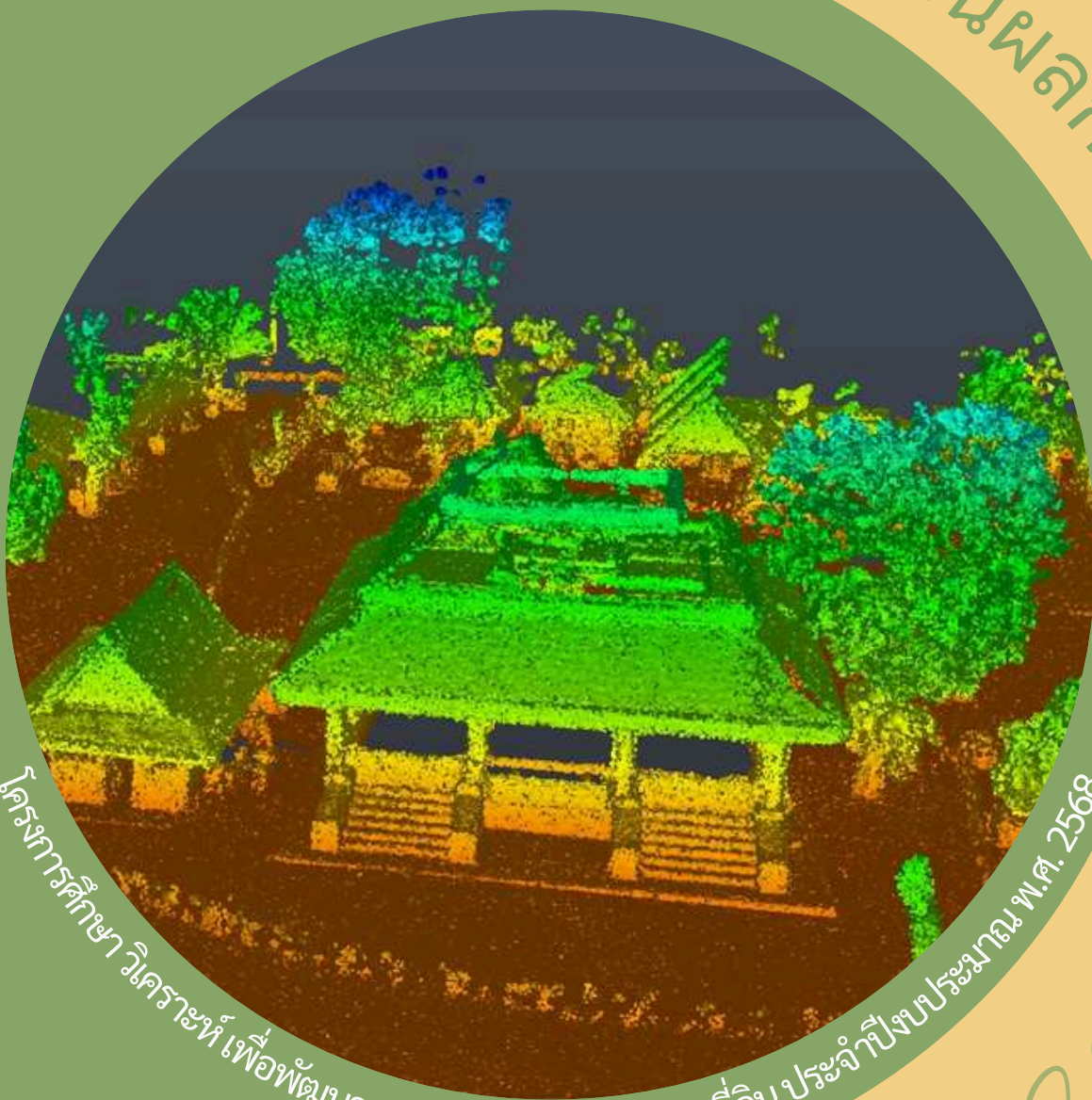


โครงการศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของ
การรังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner)
สนับสนุนการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่ง
ด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network)

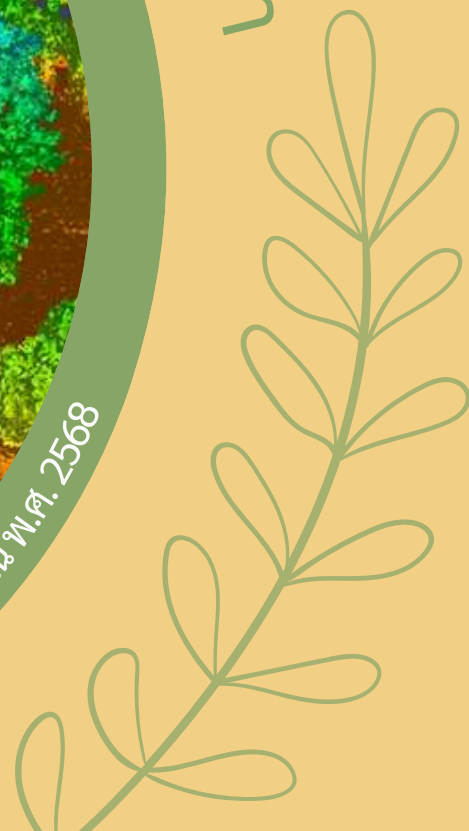
จัดทำโดย

ส่วนส่งเสริมเทคโนโลยีการรังวัดและทำแผนที่
กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน

รายงานผลการศึกษา



โครงการศึกษา วิเคราะห์ เพื่อพัฒนาและสนับสนุนภารกิจกรมที่ดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568



โครงการศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของ
การรังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner)
สนับสนุนการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่ง
ด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network)

(Feasibility Study on the Positional Accuracy of Laser Scanner
Surveying to Support First-Order
Mapping Using RTK GNSS Network)

โดย ส่วนส่งเสริมเทคโนโลยีการรังวัดและทำแผนที่
กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน

ก คำนำ

การรังวัดทำแผนที่ชั้นหนึ่งเพื่อการออกเอกสารสิทธิในที่ดินของกรมที่ดิน ได้มีการนำระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) มาใช้เป็นมาตรฐานหลักในการปฏิบัติงาน เนื่องจากสามารถเพิ่มความรวดเร็วและให้ค่าพิกัดที่มีความแม่นยำสูง อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติงานจริงเจ้าหน้าที่รังวัดยังคงเผชิญกับข้อจำกัดในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิประเทศเป็นชุมชนหนาแน่น อาคารสูง หรือมีสิ่งกีดขวางบดบังสัญญาณดาวเทียม ทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณ GNSS ได้อย่างเพียงพอหรือไม่สามารถสร้างหมุดลอยเพื่อเข้าไปทำการรังวัดตามระเบียบที่กำหนดไว้ได้

ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว การวิจัยจึงจำเป็นต้องแสวงหาเทคโนโลยีการรังวัดทางเลือกที่สามารถปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ในสภาพแวดล้อมที่ท้าทาย เช่นนี้ ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) ที่บูรณาการร่วมกับเทคนิค SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) และ RTK จึงถูกนำมาศึกษาเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นนวัตกรรมที่สามารถเก็บข้อมูลพิกัดของวัตถุและสภาพแวดล้อมโดยรอบในรูปแบบกลุ่มเมฆจุด (Point Cloud) ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ และสามารถระบุตำแหน่งของตนเองได้ในพื้นที่ที่อับสัญญาณ GNSS โดยใช้หลักการ SLAM

การศึกษานี้จึงเป็นก้าวสำคัญในการพิสูจน์ความถูกต้องของระบบ Laser Scanner SLAM + RTK เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายและระเบียบปฏิบัติสำหรับการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาสนับสนุนงานรังวัดของกรมที่ดิน เพื่อให้ภารกิจการรังวัดทำแผนที่และบริการประชาชนสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง ครอบคลุมพื้นที่ที่มีข้อจำกัดทุกรูปแบบ และรักษาไว้ซึ่งมาตรฐานความถูกต้องของแผนที่ชั้นหนึ่ง

ข

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การปฏิบัติงานรังวัดทำแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) ยังคงเผชิญกับข้อจำกัดในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิประเทศเป็นชุมชนหนาแน่น อาคารสูง หรือมีสิ่งกีดขวางบดบังสัญญาณดาวเทียม ทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณ GNSS ได้อย่างเพียงพอ โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของ ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) ที่บูรณาการเทคนิค SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) ร่วมกับ RTK เพื่อเป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่สามารถปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ในสภาพแวดล้อมที่ท้าทาย ผลลัพธ์ของการศึกษาจากการรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (SLAM + RTK) และนำมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากการรังวัดภาคพื้นดิน (Ground Survey) เพื่อหาความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง โดยอัตราร้อยละของจุดรังวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (เมื่อเทียบกับงานรังวัดภาคพื้นดิน) เท่ากับ ร้อยละ ๘๗.๕

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (SLAM + RTK) สามารถให้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งในระดับสูง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนงานรังวัดทำแผนที่ โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งในพื้นที่ที่มีอุปสรรคต่อการรังวัดแบบเดิมได้ แต่เนื่องจากยังคงเป็นเพียงงานวิจัยจึงยังมีปัญหาอุปสรรคที่ต้องเจอและต้องปรับปรุงแก้ไขต่อไป เช่น ความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ ถึงแม้ว่าส่วนใหญ่จะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่พบว่าค่าพิกัดบางค่าที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์เกินเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ และข้อจำกัดด้านพื้นที่ศึกษา โดยการศึกษาดำเนินการในพื้นที่กรณีศึกษาเพียงแห่งเดียว ซึ่งอาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของการประเมินความถูกต้องในบริบทพื้นที่อื่น ๆ ที่มีความหลากหลาย

ข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปใช้งานหรือศึกษาต่อ โดยด้านการนำไปใช้งานนั้น ควรพิจารณาระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (SLAM + RTK) มาเป็นเครื่องมือทางเลือกที่มีศักยภาพในการปฏิบัติงานรังวัดในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางมาก ชุมชนหนาแน่น หรือมีอาคารสูง เพื่อแก้ไขปัญหาการไม่สามารถสร้างหมุดลอยหรือรังวัดตามระเบียบด้วยระบบ RTK GNSS Network แบบเดิม และควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในพื้นที่กรณีศึกษาอื่น ๆ ที่มีความหลากหลายทางสภาพภูมิประเทศ เพื่อยืนยันความแม่นยำและครอบคลุมการใช้งานในทุกสภาพพื้นที่ และนำไปสู่การกำหนดแนวทางปฏิบัติงานและระเบียบที่เกี่ยวข้อง เพื่อรองรับการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการปฏิบัติงานจริงอย่างเป็นทางการต่อไป

ค
สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	จ
๑. หลักการและเหตุผล	๑
๒. วัตถุประสงค์	๒
๓. พื้นที่ศึกษา	๒
๔. หลักการทำงาน	๒
๕. วิธีและขั้นตอนดำเนินการ	๕
๕.๑) เตรียมข้อมูลและอุปกรณ์	๕
๕.๒) ปฏิบัติงานภาคสนาม	๖
๖. ผลการศึกษา	๑๘
๗. สรุปผลการศึกษา	๑๘
๗.๑) ข้อจำกัดในการศึกษา	๑๘
๗.๒) ปัญหาที่พบ	๑๙
๗.๓) ข้อเสนอแนะ	๑๙
๘. ประโยชน์ที่ได้รับ	๑๙
๙. เอกสารอ้างอิง	๒๐

ง
สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ ๑	
แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียม ในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา	๒
รูปที่ ๒ แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	๕
รูปที่ ๓ แสดงตำแหน่งหมุดหลักฐานแผนที่ที่สร้างสำหรับการทดสอบ	๖
รูปที่ ๔ แสดง Network work ในการรับสัญญาณแบบ Static	๖
รูปที่ ๕ แสดงตำแหน่งเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่เพื่อเก็บรายละเอียด วัดด้วยวิธีวงรอบ ๓D	๗
รูปที่ ๖ แสดงรายการคำนวณพิกัดฉาก	๘
รูปที่ ๗ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงงานแผนที่	๙
รูปที่ ๘ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงงานแผนที่	๑๐
รูปที่ ๙ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงงานแผนที่	๑๑
รูปที่ ๑๐ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงงานแผนที่	๑๒
รูปที่ ๑๑ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงงานแผนที่	๑๓
รูปที่ ๑๒ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงงานแผนที่	๑๔
รูปที่ ๑๓ อุปกรณ์ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK	๑๕
รูปที่ ๑๔ รูปแสดงการรังวัดระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK	๑๖
รูปที่ ๑๕ รูปแสดงการรังวัดระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK	๑๖
รูปที่ ๑๖ แสดงผลการประมวลข้อมูลจาก โปรแกรม AUTO DESK Recap Pro	๑๗
รูปที่ ๑๗ แสดงผลการประมวลข้อมูลจาก โปรแกรม AUTO DESK Recap Pro	๑๗

จ
สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ๑ เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง RTK, SLAM และ RTK+SLAM	๔
ตารางที่ ๒ แสดงค่าพิกัดหมุด STATIC	๗
ตารางที่ ๓ แสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดจากการรังวัดด้วยระบบ Laser Scanner และการรังวัดภาคพื้นดิน	๑๘

โครงการศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของการรังวัดด้วยดาวเทียม ระบบ RTX (Real Time Extended) สนับสนุนการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่ง ด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network)

๑. หลักการและเหตุผล

การรังวัดทำแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) นั้น ถือเป็นมาตรฐานหลักที่กรมที่ดินได้นำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เพื่อเพิ่มความรวดเร็ว และประสิทธิภาพในการออกเอกสารสิทธิในที่ดิน อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติงานภายใต้ระบบดังกล่าว ยังคงเผชิญกับข้อจำกัดที่สำคัญอย่างยิ่งในทางปฏิบัติ กล่าวคือ การที่ต้องปฏิบัติงานในพื้นที่ที่เป็นที่อยู่ออาศัย ชุมชนหนาแน่น หรือมีสิ่งกีดขวาง ทางสถาปัตยกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งอาคารสูงและสิ่งกีดขวางเหล่านั้น ทำให้เกิดการบดบังสัญญาณดาวเทียมอย่างรุนแรง ส่งผลให้การรับสัญญาณไม่เสถียร หรือไม่สามารถ ปฏิบัติการรังวัดมาตรฐาน หรือหาคัดหลักเขตได้ตามขั้นตอนของระเบียบที่กำหนดไว้ ซึ่งก่อให้เกิด ความล่าช้าและกระทบต่อความรวดเร็วในการดำเนินงานออกเอกสารสิทธิในที่ดินของประชาชน

ด้วยเหตุนี้ การแสวงหาเทคโนโลยีการรังวัดทางเลือกที่สามารถปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ในสภาพแวดล้อมที่ท้าทายเช่นนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างเร่งด่วน ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) ที่ใช้เทคนิค SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) ร่วมกับการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) จึงเป็นนวัตกรรมที่ถูกนำมาพิจารณาเป็นพิเศษ เนื่องจากเทคนิค SLAM มีหลักการที่ช่วยให้เครื่องมือสามารถระบุตำแหน่งของตนเองและสร้างแผนที่ ของสภาพแวดล้อมไปพร้อมกันได้แม้ในพื้นที่ที่ขาดสัญญาณ GNSS โดยอาศัยข้อมูลจากเลเซอร์ สแกนเนอร์และการผนวกกับ RTK ยังช่วยเพิ่มความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลกลุ่มจุด ๓ มิติ (ปริภูมิ ๓ มิติ) ในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นทางเลือก ที่สามารถใช้รังวัดในพื้นที่ชอกตึก ใต้อาคาร หรือบริเวณที่มีอุปสรรคในการเล็งได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

ดังนั้น การศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของระบบ Laser Scanner SLAM + RTK นี้ จึงมีความสำคัญในการนำไปสู่การเป็นพื้นฐานสำคัญในการกำหนดระเบียบและแนวทางการปฏิบัติงานใหม่เพื่อรองรับเทคโนโลยีดังกล่าวเข้าสู่ระบบงานรังวัดทำแผนที่ชั้นหนึ่งของกรมที่ดิน ซึ่งจะช่วยให้เจ้าหน้าที่มีทางเลือกในการทำงานในพื้นที่ที่ท้าทาย ทำให้การปฏิบัติงานมีความยืดหยุ่น ครอบคลุมพื้นที่ทุกรูปแบบ และสามารถลดความล่าช้าในการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ ผลจากการวิจัยจะนำไปสู่การพัฒนาองค์ความรู้ ความเข้าใจ และขีดความสามารถ ของบุคลากร ให้มีความพร้อมในการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ และกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง อันเป็นปัจจัยสำคัญในการยกระดับมาตรฐานงานรังวัดของราชการให้ทัน ต่อความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและตอบสนองต่อความต้องการของประชาชนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

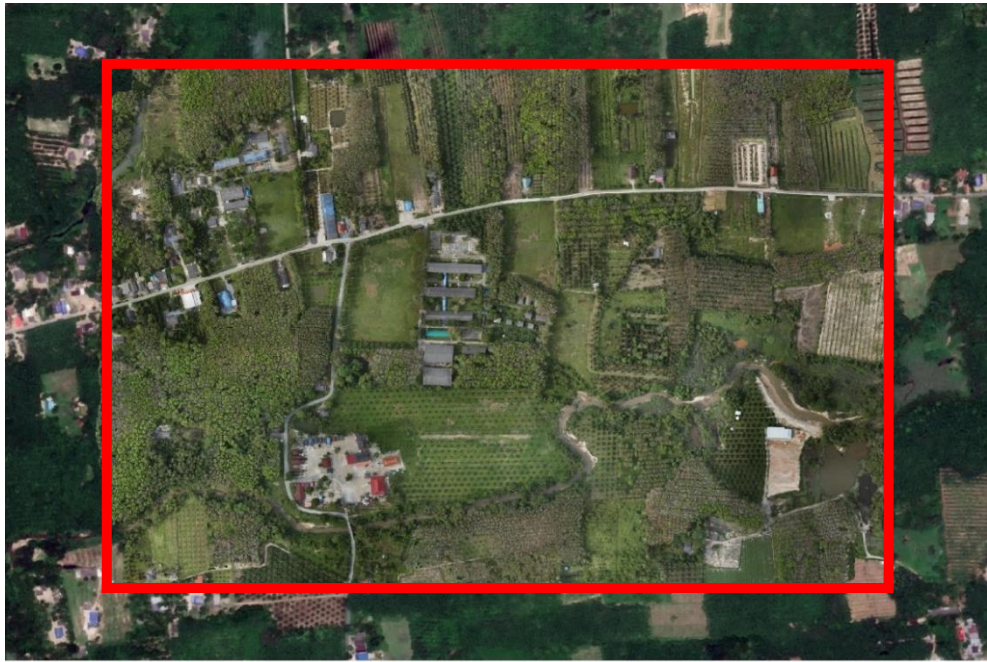
๒. วัตถุประสงค์

๑. เพื่อศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของการรังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK

๒. เพื่อศึกษาการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ในการแก้ไขปัญหาการรังวัดในพื้นที่ชุมชนหนาแน่นอับสัญญาณอินเทอร์เน็ต ซึ่งไม่สามารถปฏิบัติตามระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่ง ด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network)

๓. พื้นที่ศึกษา

บริเวณวัดปทุมคงคาหวดี ตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ นครศรีธรรมราช



รูปที่ ๑ แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียม ในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

๔. หลักการทำงาน

Lidar SLAM หรือ Light Detection and Ranging Simultaneous Localization and Mapping เป็นกระบวนการที่ช่วยให้สามารถสร้างแผนที่ของสภาพแวดล้อมที่ไม่รู้จัก พร้อมกับระบุตำแหน่งในแผนที่นั้นได้ เทคโนโลยีนี้อาศัยเซ็นเซอร์ Lidar ซึ่งปล่อยพัลส์เลเซอร์และวัดเวลาที่พัลส์สะท้อนกลับหลังจากกระทบกับวัตถุในเส้นทาง ระบบ Lidar SLAM สามารถสร้างกลุ่มจุดสามมิติที่ละเอียด ซึ่งแสดงถึงสภาพแวดล้อม และใช้ข้อมูลนี้เพื่อประเมินตำแหน่งและทิศทางภายในแผนที่

SLAM ย่อมาจาก Simultaneous Localization and Mapping ซึ่งเน้นสองภารกิจหลักของกระบวนการนี้ การระบุตำแหน่งหมายถึงการระบุตำแหน่งและทิศทางภายในแผนที่ ในขณะที่การทำแผนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพจำลองเชิงพื้นที่ของสภาพแวดล้อม ระบบ Lidar SLAM ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากความสามารถในการแสดงแผนที่ที่มีความแม่นยำสูงและการระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ในหลากหลายการใช้งาน เช่น ยานยนต์ไร้คนขับ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ และการทำแผนที่ภายในอาคาร เพื่อการนำทางและการติดตามทรัพย์สินระบบ

SLAM ส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักอย่างน้อยสองส่วน

๑. ช่วงการวัด : ระบบ SLAM ทุกระบบจะมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์บางอย่างที่ช่วยให้หุ่นยนต์หรือยานพาหนะอื่น ๆ มองเห็นและวัดสภาพแวดล้อมได้ เทคโนโลยีโซนาร์ เลเซอร์สแกนเนอร์ LiDAR กล้อง และเซ็นเซอร์ภาพอื่น ๆ ล้วนสามารถนำมาใช้ในการวัดลักษณะทางกายภาพได้ โดยพื้นฐานแล้วระบบ SLAM สามารถประกอบด้วยอุปกรณ์ใด ๆ ก็ได้ที่สามารถวัดลักษณะทางกายภาพ เช่น ตำแหน่ง ระยะทาง หรือความเร็ว

๒. การดึงข้อมูล : ระบบ SLAM ต้องมีซอฟต์แวร์บางรูปแบบที่ช่วยในการตีความผลการวัดที่คำนวณได้ในด้านนี้ ยังมีทางเลือกอีกมากมาย ตั้งแต่อัลกอริทึมแบบอินเตอร์ลอส (interlacing algorithm) ไปจนถึงการจับคู่การสแกนที่ซับซ้อนหลากหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตาม ฟังก์ชันพื้นฐานของโซลูชัน "แบ็กเอนด์" ทั้งหมดนี้คือการดึงข้อมูลเชิงประสาธสัมพันธ์ที่รวบรวมได้จากอุปกรณ์วัดระยะ และนำไปใช้เพื่อระบุจุดสังเกตในสภาพแวดล้อมที่ไม่รู้จัก โซลูชัน SLAM ที่ทำงานได้อย่างถูกต้องเกี่ยวข้องกับการมีปฏิสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องระหว่างหุ่นยนต์หรือยานพาหนะ อุปกรณ์วัดระยะ ซอฟต์แวร์ดึงข้อมูล และฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ หรือเทคโนโลยีการประมวลผลอื่น ๆ

หลักการของการระบุตำแหน่งและการทำแผนที่

แนวคิดหลักเบื้องหลัง SLAM คือการช่วยให้สามารถสำรวจสภาพแวดล้อมที่ไม่รู้จัก และสร้างแผนที่ของสภาพแวดล้อมนั้น พร้อมกับกำหนดตำแหน่งของสภาพแวดล้อมนั้นภายในแผนที่ที่สร้างขึ้น วิธีนี้ทำได้โดยการผสมผสานข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น ไกลดาร์ กล้อง และหน่วยวัดความเฉื่อย (IMU) เพื่อประเมินวิถีการเคลื่อนที่และตำแหน่งของจุดสังเกตภายในสภาพแวดล้อม

โดยทั่วไปอัลกอริทึม SLAM ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักสองส่วน ได้แก่ ขั้นตอนการทำนายและขั้นตอนการแก้ไข ขั้นตอนการทำนาย หรือที่เรียกว่าการอัปเดตการเคลื่อนที่หรือโอโดมิเตอร์ จะประเมินตำแหน่งใหม่โดยอ้างอิงจากตำแหน่งก่อนหน้าและข้อมูลการเคลื่อนที่ที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ ขั้นตอนการแก้ไข หรือที่เรียกว่าการอัปเดตการสังเกตการณ์หรือเซ็นเซอร์ จะปรับปรุงตำแหน่งที่ทำนายโดยใช้ข้อมูลการวัดจากสภาพแวดล้อม เช่น ระยะทางไปยังจุดสังเกตที่เซ็นเซอร์ Lidar ตรวจพบด้วยการดำเนินการตามขั้นตอนการคาดการณ์และแก้ไขซ้ำ ๆ อัลกอริทึม SLAM จึงสามารถอัปเดตตำแหน่งของหุ่นยนต์และแผนที่สภาพแวดล้อมได้อย่างต่อเนื่อง แผนที่ที่ได้สามารถแสดงได้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตารางแสดงการครอบครอง คลาวด์จุด หรือกราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างจุดสังเกต

ข้อจำกัดของเซ็นเซอร์

แม้ว่าเซ็นเซอร์ Lidar จะมีประสิทธิภาพและแม่นยำ แต่ก็มีข้อจำกัดโดยธรรมชาติที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึม SLAM ข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ :

๑. ข้อจำกัดของระยะ : เซ็นเซอร์ Lidar มีระยะสูงสุด ซึ่งเกินกว่านั้นจะไม่สามารถวัดผลได้อย่างแม่นยำหรือเชื่อถือได้ ข้อจำกัดของระยะนี้อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถของอัลกอริทึม SLAM ในการทำแผนที่และระบุตำแหน่งในสภาพแวดล้อมขนาดใหญ่ หรือเมื่อวัตถุที่อยู่ไกลเป็นที่สนใจ

๒. ความละเอียดและความแม่นยำ : ความละเอียดและความแม่นยำของเซ็นเซอร์ Lidar อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของเซ็นเซอร์ สภาพแวดล้อม และสภาวะการทำงาน ความละเอียดและความแม่นยำที่ต่ำกว่าอาจทำให้แผนที่และการประมาณตำแหน่งมีความแม่นยำน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนซึ่งมีคุณลักษณะขนาดเล็กหรือซับซ้อน

๓. ความไวต่อปัจจัยแวดล้อม : เซ็นเซอร์ Lidar อาจไวต่อปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เช่น แสงโดยรอบ ฝุ่น หมอก และฝน ปัจจัยเหล่านี้ อาจทำให้คุณภาพของข้อมูลเซ็นเซอร์ลดลง และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึม SLAM

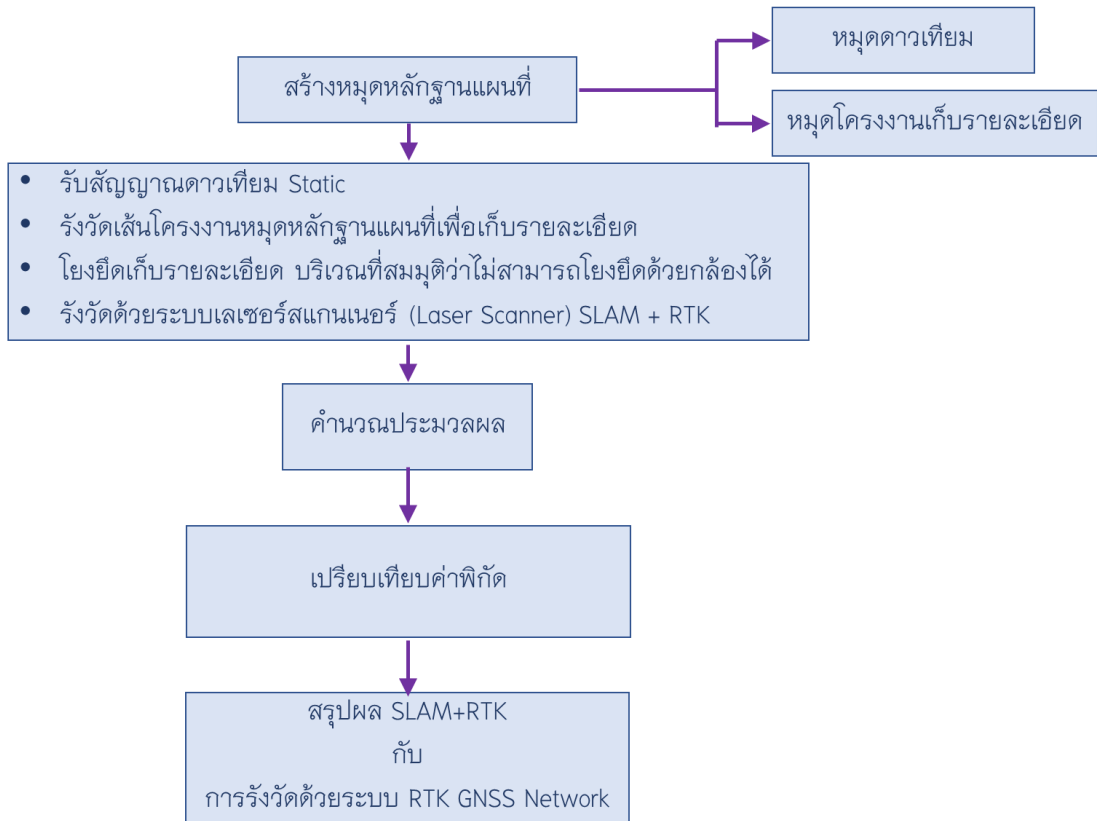
๔. ขอบเขตการมองเห็นจำกัด : เซ็นเซอร์ Lidar ส่วนใหญ่มีขอบเขตการมองเห็นจำกัด ซึ่งอาจทำให้การทำแผนที่สภาพแวดล้อมไม่สมบูรณ์หรือบางส่วน ข้อจำกัดนี้อาจเป็นปัญหาอย่างยิ่งในสถานการณ์ที่หุ่นยนต์จำเป็นต้องมีความเข้าใจสภาพแวดล้อมโดยรอบอย่างครอบคลุมเพื่อการนำทางที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

ระบบ SLAM + RTK คือการรวมเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งและการทำแผนที่พร้อมกัน (SLAM) เข้ากับเทคโนโลยีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์แบบทันที (RTK) เพื่อสร้างระบบการสำรวจ ที่ให้ความแม่นยำสูงและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

คุณสมบัติ	RTK	SLAM	SLAM + RTK (ระบบไฮบริด)
ความแม่นยำ	สูงมาก (ระดับเซนติเมตร)	สูง (ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม)	สูงสม่ำเสมอในทุกสภาพแวดล้อม
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม	ภายนอกอาคาร, เปิดโล่ง	ภายในอาคาร, ปิดกั้น GNSS	ทุกสภาพแวดล้อม (ไร้ข้อจำกัด)
การทำงาน	อิงตำแหน่งสัมบูรณ์จากดาวเทียม (Global Coordinate)	อิงตำแหน่งสัมพัทธ์จากสิ่งแวดล้อม (Local Map)	สลับการทำงานอัตโนมัติและคงที่ร่วมกัน

ตารางที่ ๑ เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง RTK, SLAM และ RTK + SLAM

๕. วิธีและขั้นตอนดำเนินการ



รูปที่ ๒ แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

๕.๑ เตรียมข้อมูลและอุปกรณ์

(๑) ข้อมูลวางแผนสถานีอ้างอิง CORS ที่ใกล้บริเวณพื้นที่ใช้เป็นสถานีควบคุมค่าพิกัดทางราบในการคำนวณ โดยเลือกใช้สถานี CORS จำนวน ๔ สถานี ได้แก่ สถานี NPTM, SICN, TNST และสถานี PKNK

(๒) อุปกรณ์สำหรับการรังวัดด้วยระบบ Laser Scanner ประกอบด้วย

(๒.๑) กล้องสำรวจประมวลผลรวม (Total Station) ยี่ห้อ SOKKIA SET๑ รุ่น ๑๓๐R

(๒.๒) ชุดเป้าปริซึม (Prism) ยี่ห้อ Sokkia ๔ ชุด

(๒.๓) เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ RTK GNSS Network ของกรมที่ดิน

(๒.๔) SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) พร้อม ระบบตรวจจับแสงและวัดระยะ (Light Detection And Ranging: LiDAR) ยี่ห้อ SOUTH รุ่น DotLas

(๒.๕) หมุดโครงงานหลักฐานแผนที่ หมุดคอนกรีต, หมุดทองเหลือง ก.ร.ว.

(๒.๖) เทปวัดระยะ ค้อน เสียม สกัด ชะแลง มีด จอบ และอื่น ๆ

(๒.๗) ขาตั้ง Tripod จำนวน ๖ ขา

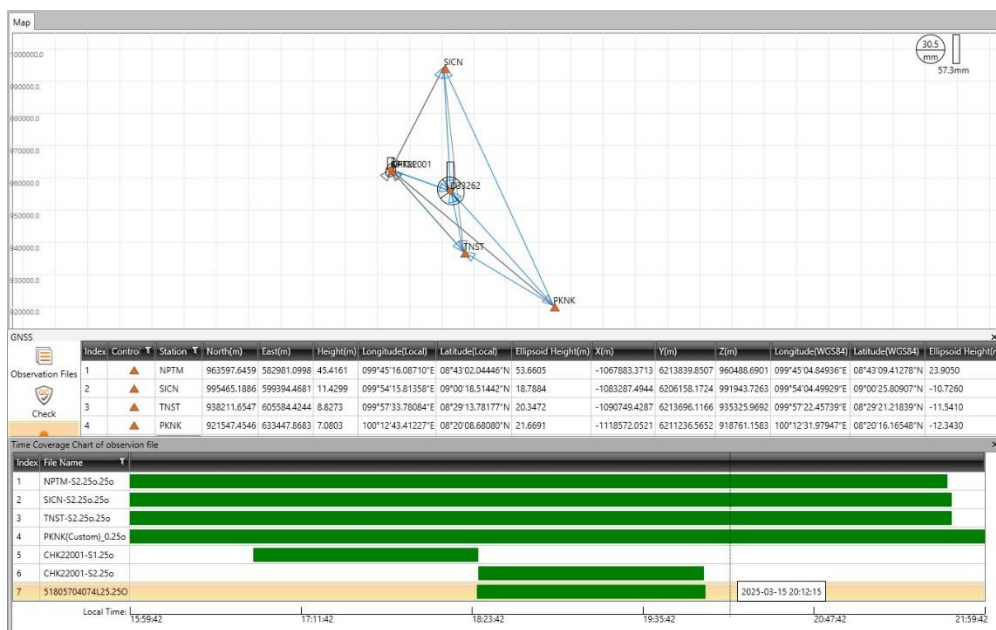
๕.๒ ปฏิบัติงานภาคสนาม

(๑) การทดสอบเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมในระบบ RTK GNSS Network และทำการวัดสอบ (calibrate) กล้องสำรวจประมวลผลรวม (Total Station)

(๒) รับสัญญาณด้วยการรังวัดดาวเทียมแบบ STATIC โดยใช้สถานี CORS จำนวน ๔ สถานี ในการคำนวณ ได้แก่ สถานี NPTM, SICN, TNST และสถานี PKNK



รูปที่ ๓ แสดงตำแหน่งหมุดหลักฐานแผนที่ที่สร้างสำหรับการทดสอบ

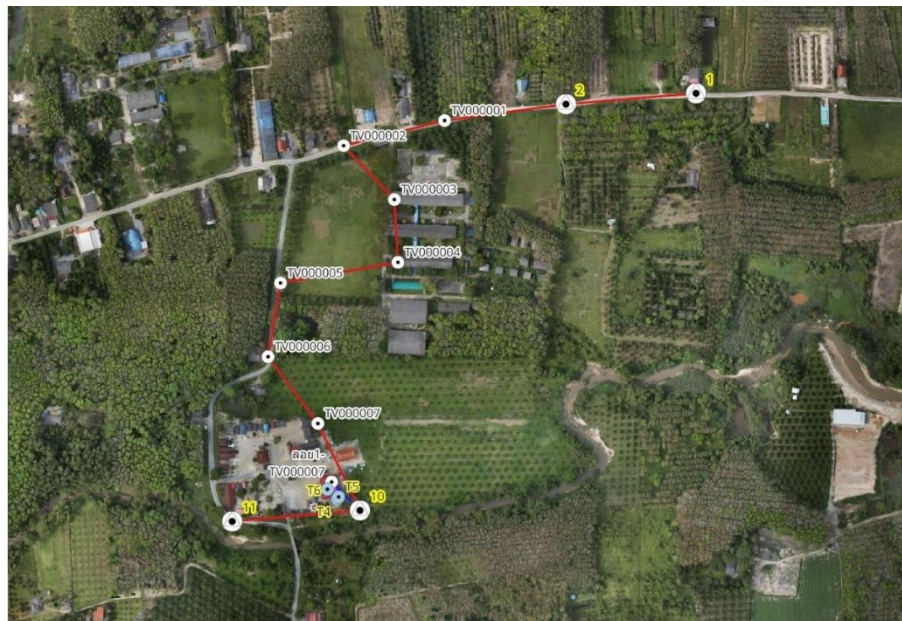


รูปที่ ๔ แสดง Network work ในการรับสัญญาณแบบ Static

ค่าพิกัดหมุด Static (Indian1975 UTM Zone47)			
Point	North	East	Ortho_H (EGM96)
CHK22001	963662.1175	583036.4262	40.74413
D33262	957026.0414	601536.0608	5.73172
No.1	959723.0866	591995.0065	20.0978
No.2	959710.4608	591843.1916	20.3759
No.4	959661.9321	591583.7154	21.114
No.6A	959539.7222	591777.9806	20.8562
No.8	959415.5002	591495.5981	21.4138
No.10	959236.0671	591602.7755	20.403
No.11	959223.2388	591453.7343	21.8249
No.4A	959591.3175	591329.4381	22.179
No.10A	959270.4907	591768.0909	20.621

ตารางที่ ๒ แสดงค่าพิกัดหมุด STATIC

(๓) รังวัดเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่เพื่อเก็บรายละเอียด ด้วยวิธีวงรอบ ๓D โดยโยงยึดเก็บรายละเอียด บริเวณที่สมมุติว่าไม่สามารถโยงยึดด้วยกล้องได้ โดยใช้คู่หมุดดาวเทียม No.๐๑ และ No.๐๒ เป็นหมุดออกและเข้าบรรจบที่หมุดดาวเทียม No.๑๐ และ No.๑๑

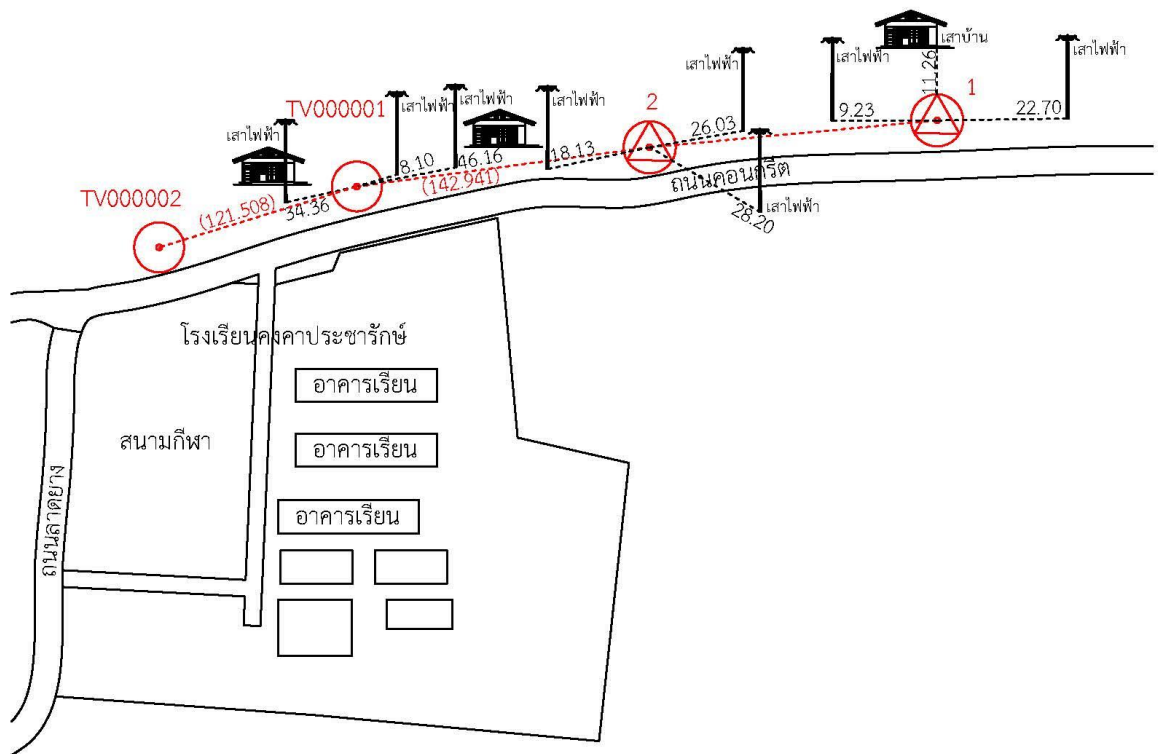


รูปที่ ๕ แสดงตำแหน่งเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่เพื่อเก็บรายละเอียด วัดด้วยวิธีวงรอบ ๓D

(ร.ว. ๓๑ ง)

รายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

หมู่บ้าน.....สำนักงานที่ดิน กองเทคโนโลยีทำแผนที่.....แผนที่ ๑.....
 ตำบล... กะทกรอ (ม.๕).....ชื่อเส้นรังวัด... TV00.....วันที่ ๒๗ มีนาคม ๒๕๖๘
 อำเภอ... นบพิตำ.....ระวาง... 4926 || 9058.....ผู้ทำการรังวัด... กองเทคโนโลยีทำแผนที่
 จังหวัด... นครศรีธรรมราช.....

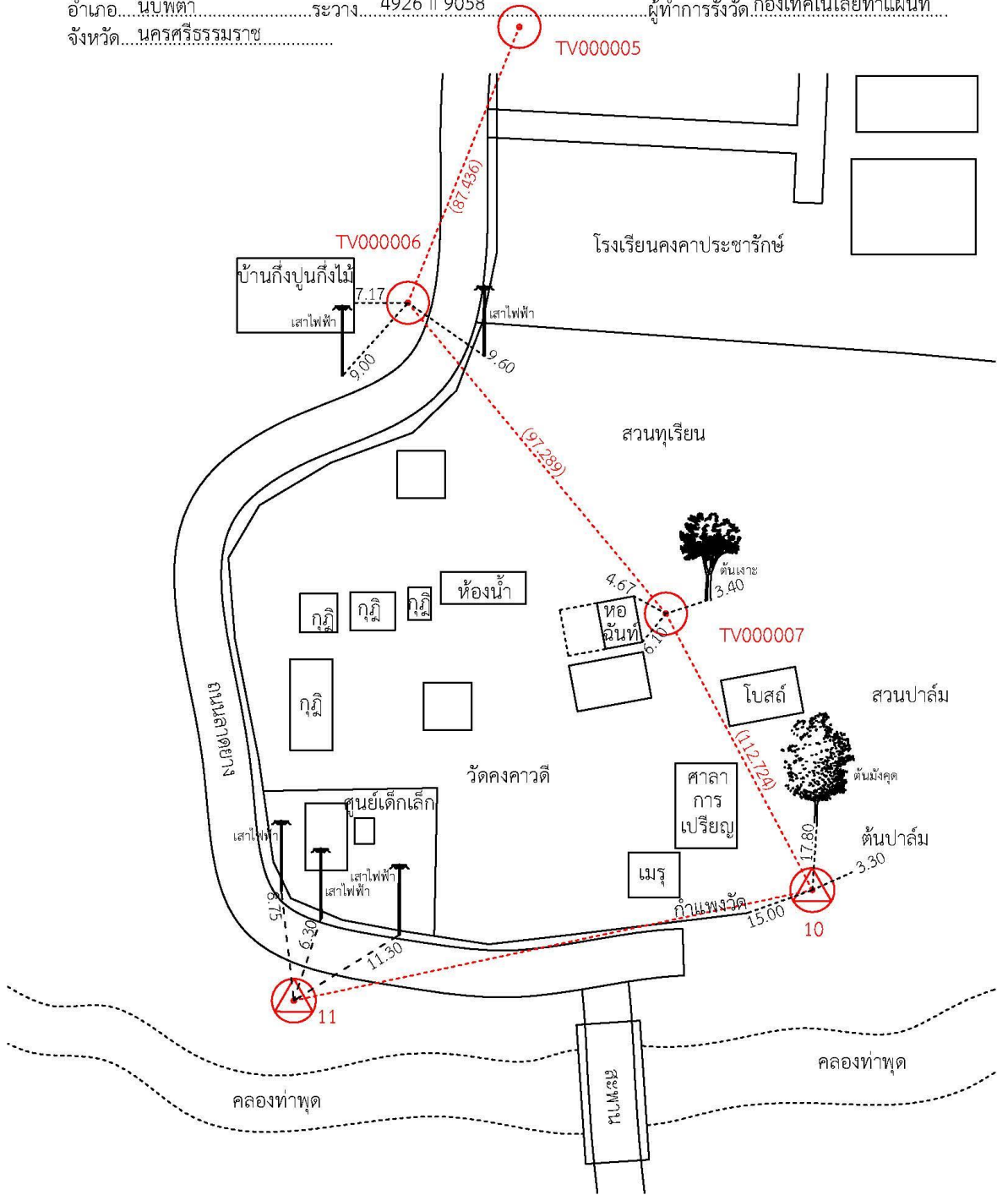


รูปที่ ๗ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

(ร.ว. ๓๑ ง)

รายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

หมู่บ้าน..... สำนักงานที่ดิน กองเทคโนโลยีทำแผนที่.....แผนที่ ๓๓.....
 ตำบล กะหรอ (ม.๕)..... ชื่อเส้นรังวัด TV00..... วันที่ ๒๗ มีนาคม ๒๕๖๘.....
 อำเภอ นบพิตำ..... ระวัง 4926 || 9058..... ผู้ทำการรังวัด กองเทคโนโลยีทำแผนที่.....
 จังหวัด นครศรีธรรมราช.....

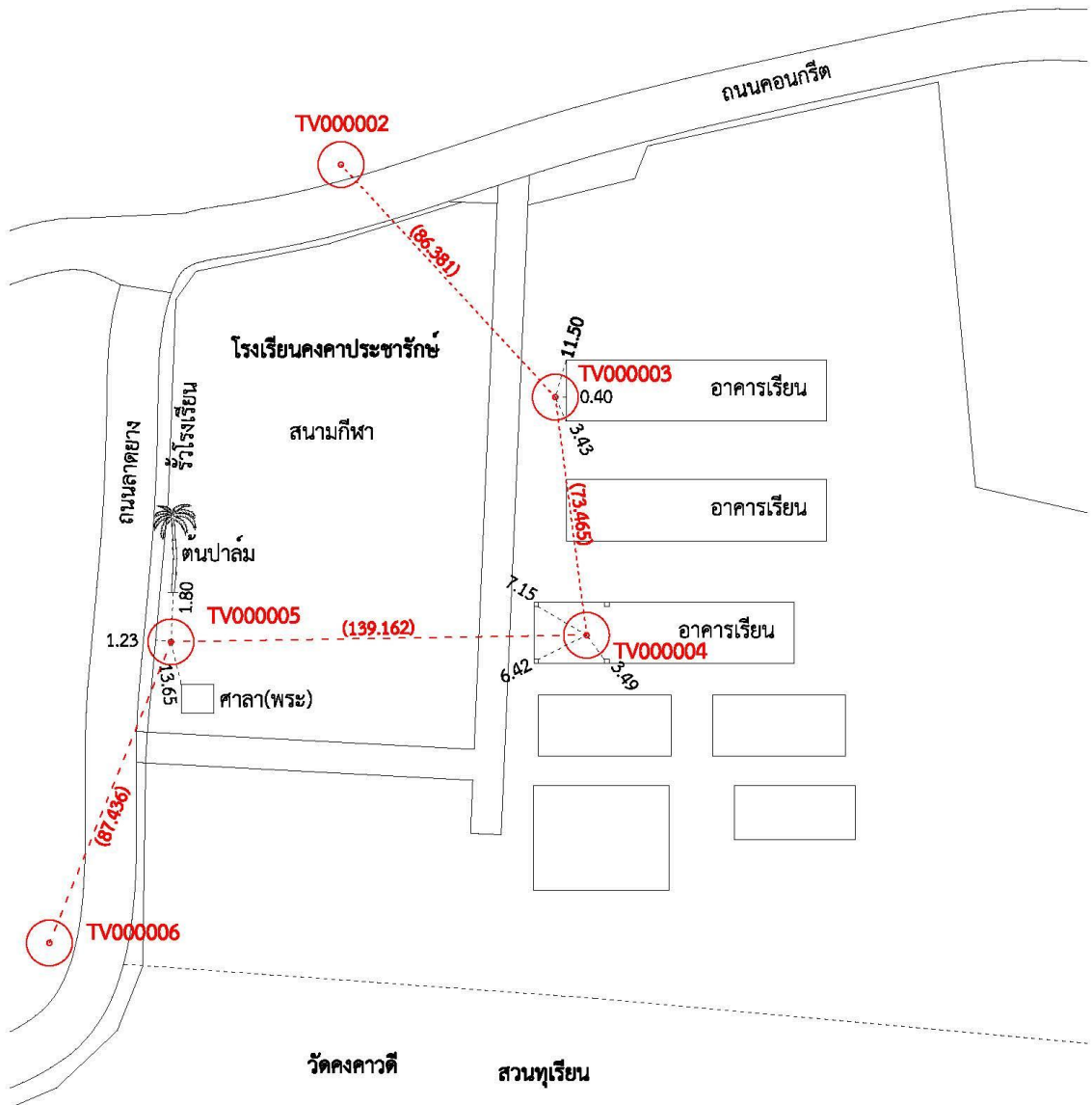


รูปที่ ๘ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

(ร.ร. ๓๑ ง)

รายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

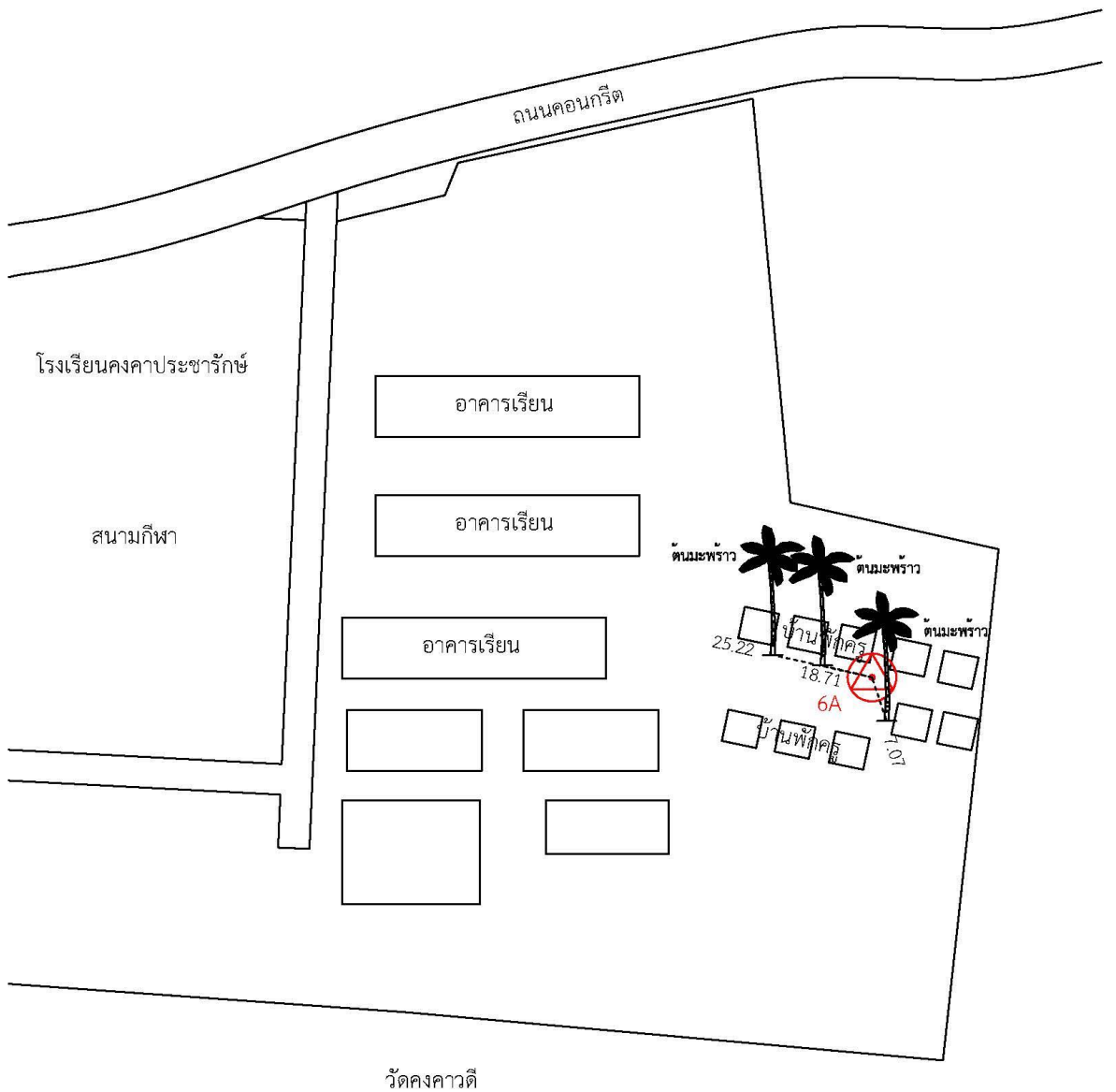
หมู่บ้าน.....สำนักงานที่ดินกองเทคโนโลยีทำแผนที่.....แผนที่ ๒
 ตำบล.....กะทกร (ม.๕).....ชื่อเส้นรังวัด.....TV00.....วันที่.....๒๗ มีนาคม ๒๕๖๘
 อำเภอ.....นบพิตำ.....ระวาง.....4926 II 9058.....ผู้ทำการรังวัด.....กองเทคโนโลยีทำแผนที่
 จังหวัด.....นครศรีธรรมราช.....



รูปที่ ๙ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

รายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

หมู่บ้าน.....สำนักงานที่ดิน กองเทคโนโลยีทำแผนที่.....แผนที่ ๕.....
 ตำบล.....เกาะทรอ (ม.๕).....ชื่อเส้นรังวัด.....วันที่ ๒๗ มีนาคม ๒๕๖๘.....
 อำเภอ.....นบพิตำ.....ระวาง 4926 || 9058.....ผู้ทำการรังวัด กองเทคโนโลยีทำแผนที่.....
 จังหวัด.....นครศรีธรรมราช.....

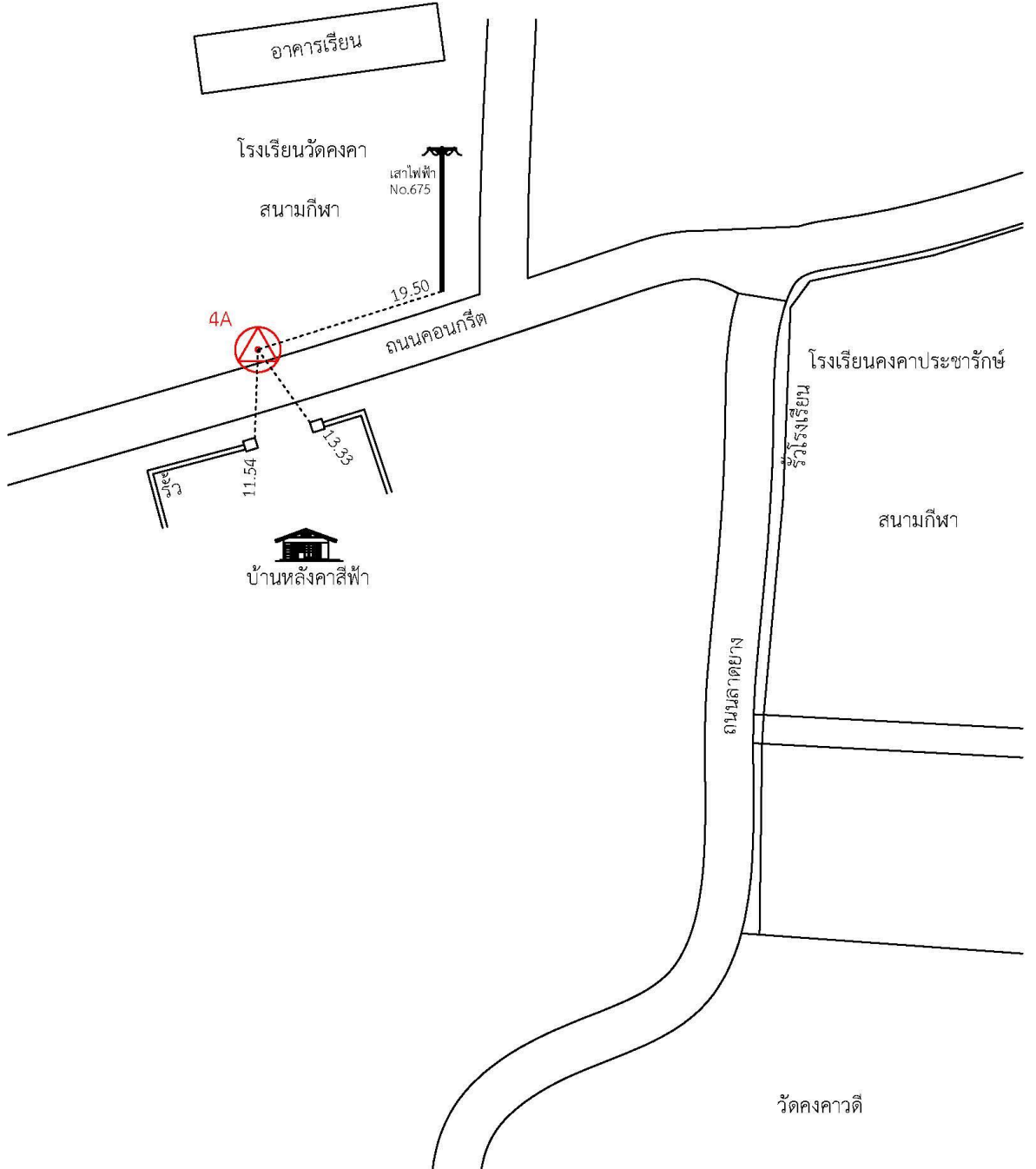


รูปที่ ๑๐ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

(ร.ว. ๓๑ ง)

รายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

หมู่บ้าน.....สำนักงานที่ดิน กองเทคโนโลยีทำแผนที่.....แผนที่ ๕.....
 ตำบล... กะทกรอ (ม.๕).....ชื่อเส้นรังวัด.....วันที่ ๒๗ มีนาคม ๒๕๖๘.....
 อำเภอ... นบพิตำ.....ระวาง... 4926 || 9058.....ผู้ทำการรังวัด...กองเทคโนโลยีทำแผนที่.....
 จังหวัด... นครศรีธรรมราช.....

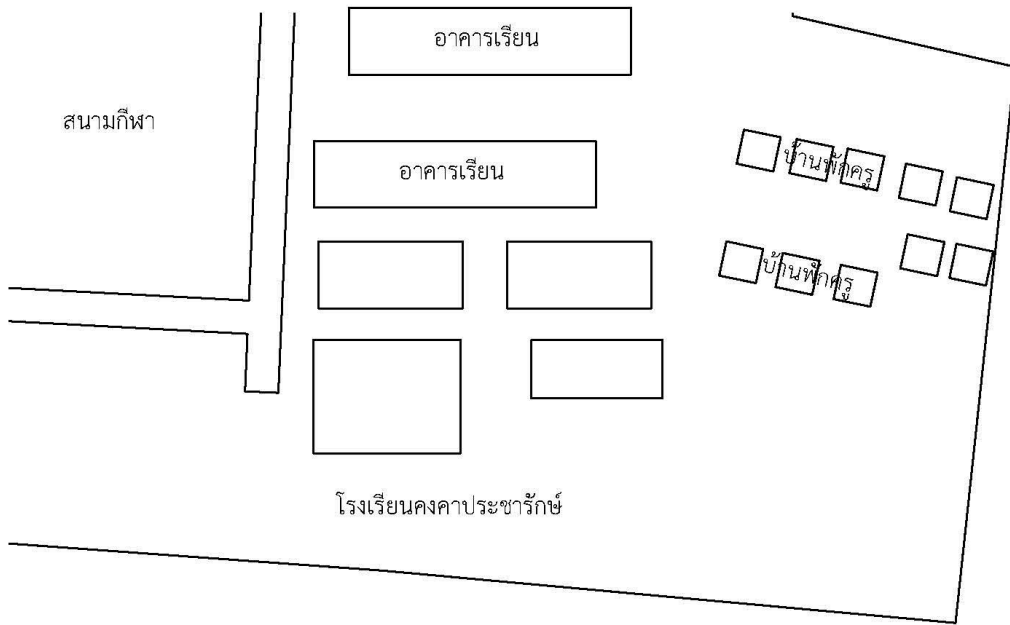


รูปที่ ๑๑ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

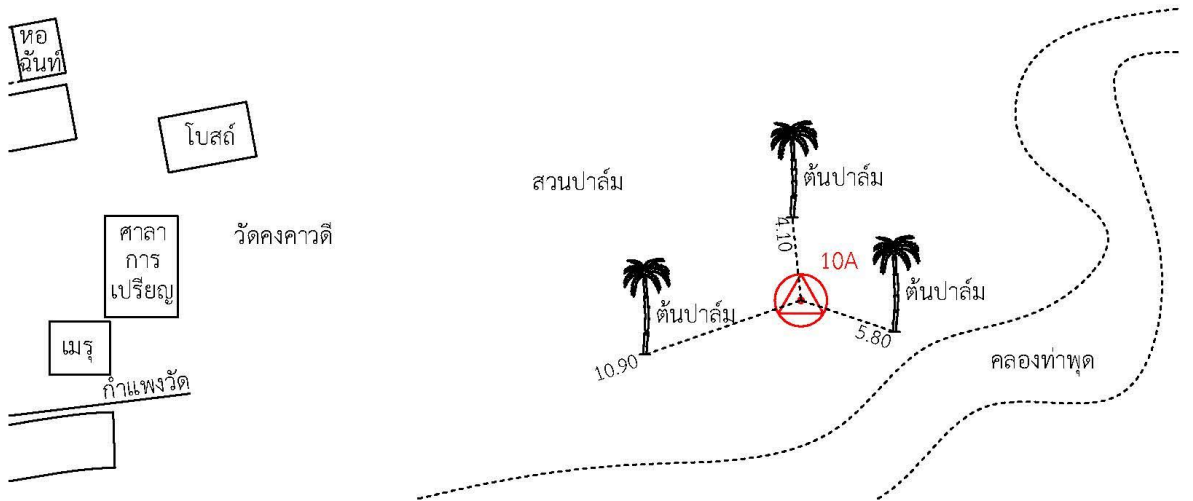
(ร.ว. ๓๑ ง)

รายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

หมู่บ้าน.....สำนักงานที่ดิน กองเทคโนโลยีทำแผนที่.....แผนที่ ๖.
 ตำบล... กะหรอ (ม.๕).....ชื่อเส้นรังวัด.....วันที่ ๒๗ มีนาคม ๒๕๖๘
 อำเภอ... นบพิตำ.....ระวาง... 4926 || 9058.....ผู้ทำการรังวัด...กองเทคโนโลยีทำแผนที่
 จังหวัด... นครศรีธรรมราช.....



สวนทุเรียน



รูปที่ ๑๒ แสดงรายการรังวัดเส้นโครงการแผนที่

(๔) รังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK โดยระบบจะใช้เซ็นเซอร์ เช่น LiDAR (Light Detection and Ranging) หรือ กล้อง (Vision-based SLAM) เพื่อสแกนและเก็บข้อมูลลักษณะของสภาพแวดล้อมรอบตัว ข้อมูลที่ได้จะถูกประมวลผลทันที (เรียลไทม์) เพื่อระบุคุณสมบัติ (features) หรือจุดสำคัญในพื้นที่ เช่น มุม เสา ผนัง หรือวัตถุต่าง ๆ ระบบจะทำการเปรียบเทียบลักษณะสิ่งแวดล้อมที่เห็น (จากเซ็นเซอร์ปัจจุบัน) กับแผนที่ที่กำลังสร้าง ถ้าภาพปัจจุบันตรงกับส่วนใดส่วนหนึ่งในแผนที่ ระบบจะสามารถหาตำแหน่งตัวเองในแผนที่นั้นได้ ถ้าภาพปัจจุบันเป็นพื้นที่ใหม่ ระบบจะเพิ่มข้อมูลใหม่เข้าไปในแผนที่และคำนวณตำแหน่งใหม่ที่สัมพันธ์กับแผนที่ที่ขยายออกไป



รูปที่ ๑๓ อุปกรณ์ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK

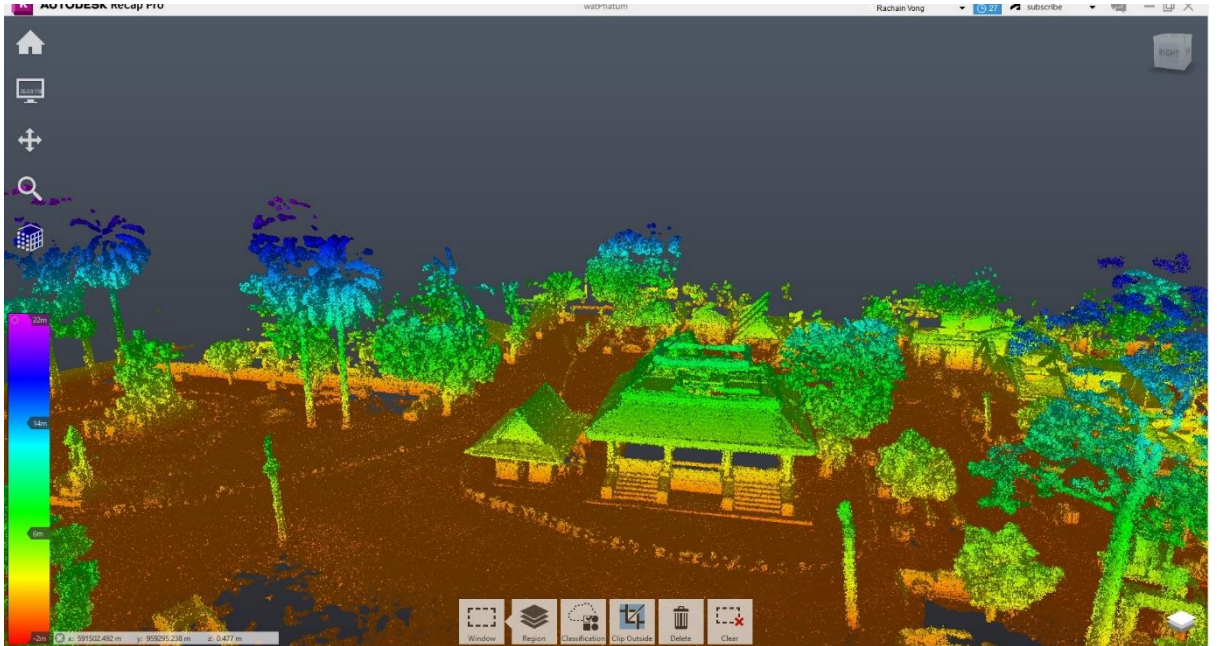


รูปที่ ๑๔ รูปแสดงการรังวัดระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK

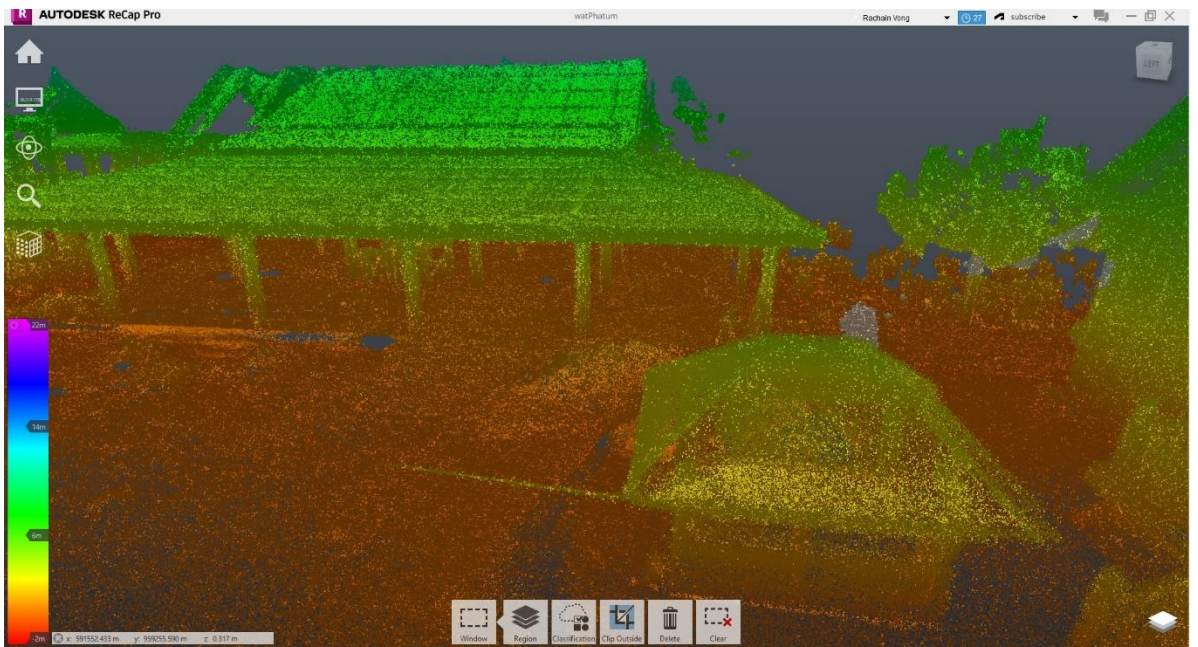


รูปที่ ๑๕ รูปแสดงการรังวัดระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK

(๕) คำนวณและประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM+RTK โดยใช้โปรแกรม AUTO DESK Recap Pro



รูปที่ ๑๖ แสดงผลการประมวลผลข้อมูลจาก โปรแกรม AUTO DESK Recap Pro



รูปที่ ๑๗ แสดงผลการประมวลผลข้อมูลจาก โปรแกรม AUTO DESK Recap Pro

(๖) นำค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดภาคพื้นดิน มาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยระบบ Laser Scanner ได้ผลต่างตามตารางด้านล่าง

การรังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์(Laser Scanner) SLAM + RTK				การรังวัดภาคพื้นดิน			ผลต่าง			
Point	N	E	H	N	E	H	dN	dE	dH	Dist
No.1	959723.085	591994.997	20.060	959723.087	591995.007	20.098	-0.002	-0.010	-0.038	0.010
No.2	959710.473	591843.197	20.361	959710.461	591843.192	20.376	0.012	0.005	-0.015	0.013
No.3	959691.350	591701.570	20.595	959691.344	591701.579	20.579	0.006	-0.009	0.016	0.011
No.4	959661.930	591583.715	21.124	959661.943	591583.719	21.121	-0.013	-0.004	0.003	0.014
No.5	959599.065	591642.935	21.340	959599.074	591642.926	21.356	-0.009	0.009	-0.016	0.013
No.6	959525.657	591647.117	21.234	959525.748	591647.139	21.105	-0.091	-0.022	0.129	0.094
No.7	959501.714	591510.111	21.123	959501.705	591510.112	21.176	0.009	-0.001	-0.053	0.009
No.8	959415.485	591495.589	21.419	959415.504	591495.593	21.445	-0.019	-0.004	-0.026	0.019
No.9	959337.515	591553.746	21.289	959337.541	591553.750	21.308	-0.026	-0.004	-0.019	0.026
No.10	959236.072	591602.783	20.448	959236.067	591602.776	20.403	0.005	0.007	0.045	0.009
No.11	959223.223	591453.739	21.828	959223.239	591453.734	21.825	-0.016	0.005	0.003	0.017
No.4A	959591.319	591329.443	22.099	959591.318	591329.438	22.179	0.002	0.005	-0.080	0.005
No.6A	959539.735	591777.976	20.886	959539.722	591777.981	20.856	0.013	-0.005	0.030	0.014
No.10A	959270.496	591768.089	20.662	959270.491	591768.091	20.621	0.005	-0.002	0.041	0.006
No.100	959269.323	591569.788	21.779	959269.319	591569.770	21.781	0.004	0.018	-0.002	0.018
No.101	959249.593	591576.183	21.363	959249.641	591576.183	21.335	-0.048	0.000	0.028	0.048

ตารางที่ ๓ แสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดจากการรังวัดด้วยระบบ Laser Scanner และการรังวัดภาคพื้นดิน

๖. ผลการศึกษา

การรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK จากการเปรียบเทียบค่าพิกัดกับงานรังวัดภาคพื้นดิน มีบางค่าเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากการศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทางราบที่รังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ไม่เกิน ± 4 ซม. คิดเป็นร้อยละ ๘๗.๕

๗. สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการศึกษาพบว่า ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) ที่บูรณาการร่วมกับเทคโนโลยี SLAM และ RTK สามารถแก้ไขข้อจำกัดทางกายภาพในการรังวัดพื้นที่ชุมชนหนาแน่นและพื้นที่ที่มีสิ่งบดบังสัญญาณดาวเทียมได้เป็นอย่างดี ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพิกัดกับวิธีรังวัดภาคพื้นดินมาตรฐานพบว่า ข้อมูลส่วนใหญ่มีความถูกต้องแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (คิดเป็นร้อยละ ๘๗.๕ ของจุดทดสอบ) แม้จะมีปัจจัยด้านระยะทางและสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนในบางจุด แต่โดยภาพรวมเทคโนโลยีนี้ช่วยลดระยะเวลาการปฏิบัติงานและลดขั้นตอนการสร้างหมุดลอย ทำให้การรังวัดทำแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่ท้าทายมีความคล่องตัวและมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีดั้งเดิม

๗.๑ ข้อจำกัดในการศึกษา

๗.๑.๑ การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการศึกษาในพื้นที่กรณีศึกษาเพียงแห่งเดียว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือและการประเมินความถูกต้องเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับบริบทพื้นที่อื่น ๆ ที่มีความหลากหลายทางภูมิประเทศ

๗.๑.๒ ข้อจำกัดทางกายภาพของเซ็นเซอร์ Lidar ที่มีระยะการวัดสูงสุดที่จำกัด ซึ่งหากเกินระยะดังกล่าวจะไม่สามารถวัดผลได้อย่างแม่นยำหรือเชื่อถือได้

๗.๑.๓ เซ็นเซอร์ส่วนใหญ่มีขอบเขตการมองเห็น (Field of View) ที่จำกัด ซึ่งอาจส่งผลให้การทำแผนที่ในสภาพแวดล้อมบางแห่งไม่สมบูรณ์หรือทำได้เพียงบางส่วน

๗.๑.๔ ความละเอียดและความแม่นยำของเซ็นเซอร์อาจเปลี่ยนแปลงไปตามประเภทของอุปกรณ์ สภาพแวดล้อม และสภาวะขณะปฏิบัติงาน

๗.๒ ปัญหาที่พบ

๗.๒.๑ ความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ แม้ว่าจุดรั้ววัดส่วนใหญ่ (ร้อยละ ๘๗.๕) จะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่พบว่ามีความผิดพลาดบางค่าที่รั้ววัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์มีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรังวัดภาคพื้นดิน

๗.๒.๒ ในพื้นที่ชุมชนหนาแน่นหรือมีอาคารสูง สิ่งก่อสร้างเหล่านี้จะบดบังสัญญาณดาวเทียมอย่างรุนแรง ทำให้การรับสัญญาณ GNSS เพื่อใช้งานร่วมกับระบบ RTK ไม่เสถียร

๗.๒.๓ ความซับซ้อนของสภาพแวดล้อม ที่มีคุณลักษณะขนาดเล็กหรือมีความซับซ้อนสูงอาจทำให้การประเมินตำแหน่งและการสร้างแผนที่คลาดเคลื่อนได้หากเซ็นเซอร์มีความละเอียดไม่เพียงพอ

๗.๓ ข้อเสนอแนะ

๗.๓.๑ การนำไปใช้เป็นเครื่องมือทางเลือก: ควรพิจารณานำระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (SLAM + RTK) มาเป็นเครื่องมือสำรวจทางเลือกในพื้นที่ที่มีอุปสรรคสูง เช่น ซอกตึก ใต้อาคาร หรือพื้นที่ที่ระบบ RTK GNSS Network แบบเดิมไม่สามารถเข้าถึงได้

๗.๓.๒ ขยายขอบเขตการวิจัย: ควรมีการศึกษาริวิจัยเพิ่มเติมในพื้นที่กรณีศึกษาอื่น ๆ ที่มีความหลากหลายทางสภาพภูมิประเทศมากขึ้น เพื่อยืนยันความแม่นยำและสร้างความเชื่อมั่นในการใช้งานครอบคลุมทุกสภาพพื้นที่

๗.๓.๓ การกำหนดมาตรฐานและระเบียบปฏิบัติ: นำผลการศึกษาไปเป็นฐานข้อมูลในการกำหนดแนวทางปฏิบัติงานและระเบียบที่เกี่ยวข้อง เพื่อรองรับการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการรังวัดทำแผนที่ชั้นหนึ่งอย่างเป็นทางการ

๗.๓.๔ การพัฒนาทักษะบุคลากร: ควรส่งเสริมการพัฒนาองค์ความรู้และขีดความสามารถของเจ้าหน้าที่ ให้มีความพร้อมในการใช้งานเทคโนโลยีระดับสูงได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและกฎระเบียบ

๘. ประโยชน์ที่ได้รับ

๑. ได้ศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของการรังวัดด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) SLAM + RTK ว่ามีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่จะสามารถนำมาใช้ในการรังวัดของกรมที่ดินได้หรือไม่

๒. ได้แนวทางแก้ไขปัญหาการรังวัดในพื้นที่ชุมชนเมืองที่มีพื้นที่จำกัด หรืออับสัญญาณอินเทอร์เน็ต ซึ่งช่วยสนับสนุนงานรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ RTK GNSS Network) ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

๙. เอกสารอ้างอิง

-

