



การใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินร่วมกับเทคนิคโครงสร้างจากการเคลื่อนที่
ในการอนุรักษ์สถาปัตยกรรมวัดไทยสมัยอยุธยา: กรณีศึกษาวัดปราสาท

USE OF TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRY TOGETHER WITH STRUCTURE FROM MOTION
TECHNIQUE FOR ARCHITECTURAL HERITAGE OF AYUTTHAYA-ERA THAI TEMPLE:
A CASE STUDY OF PRASAT TEMPLE

พงศวัชร ทงอินทร์¹, พงกฤษณ คลังบุญครอง², ชัดิชาไช วัยสุระสิงห์^{3,*}, พงศกร พรหมรัตนศิลป์³ และชุตินา วัยสุระสิงห์⁴

¹นักศึกษาลัทธิวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²ศาสตราจารย์, ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³รองศาสตราจารย์, ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴อาจารย์, คณะศิลปศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*Corresponding author, E-mail: fcecws@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าเชิงตำแหน่งและความครบถ้วนในองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติขององค์ โบสถ์วัดไทย โบราณที่ได้
จากเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินร่วมกับเทคนิค โครงสร้างจากการเคลื่อนที่ด้วยกล้องมิลเลอร์เลสแบบฟูลเฟรม ถูก
นำเสนอผ่านบทความนี้ โดยได้นำเอาองค์ โบสถ์วัดปราสาทที่สร้างขึ้นในสมัยอยุธยา มาใช้เป็นกรณีศึกษา และใช้ค่าอ้างอิงจากพิกัด
ของหมุดบังคับภาพและหมุดตรวจสอบจากเครื่องมือสำรวจแบบเบ็ดเสร็จที่ผสมผสานเครื่องกราดภาพรุ่น Trimble SX10 ผล
การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 องค์ โบสถ์สามมิติมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ที่ ± 10 ซม. ซึ่งเป็นระดับที่
ยอมรับได้ในงานทางวิศวกรรมโยธา อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ความครบถ้วนของผลลัพธ์ ยังพบว่าส่วนของโครงหลังคาที่มีความ
ไม่สมบูรณ์ สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงการขาดข้อมูลภาพถ่ายในมุมสูง การศึกษาสะท้อนให้เห็นว่าควรนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ถ่าย
ด้วยอากาศยานไร้คนขับ ไปผสมผสานกับข้อมูลภาพถ่ายภาคพื้นดิน

คำสำคัญ: การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน; กล้องถ่ายภาพแบบไร้กระจก; มรดกทางวัฒนธรรม

ABSTRACT

The positional accuracy and completeness of 3-dimensional model of Thailand's ancient monastery obtained from terrestrial
photogrammetry and structure from motion techniques using full-frame mirrorless camera were studied. The chapel of Prasat Thai
temple constructed since Ayutthaya era was used as a case study. The ground coordinate of photo-control and check points obtained
from the utilization of the combining total station and laser scanner equipment, named "Trimble SX10", were used as a reference

Pongwatcharej Thong-in¹, Pongrid Klungboonkrong², Chattichai Waisurasingha^{3,*}, Pongsakorn Punrattanasin³ and Chutima Waisurasingha⁴

¹Master Student in Civil Engineering Program, Fac. of Engineering, Khon Khon University, Thailand.

²Professor, Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Fac. of Engineering, Khon Khon University, Thailand.

³Associate Professor, Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Fac. of Engineering, Khon Khon University, Thailand.

⁴Lecturer, Faculty of Liberal Arts, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.

dataset. At the 99% level of confidence, the result showed that the positional accuracy of ± 10 cm, illustrating an acceptable level in civil engineering work. However, when the completeness of the result was checked, it was found that the roof structure was still incomplete. This showed that there was a lack of information from high-angle photography. The study thus indicates that the aerial data obtained from unmanned aerial vehicles should be used in combination with the terrestrial dataset.

KEYWORDS: Terrestrial Photogrammetry; Mirrorless Camera; Cultural Heritage

1. บทนำ

นับตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน สถาปัตยกรรมทางศาสนาต่าง ๆ เช่น โบสถ์ วิหาร และ พระอุโบสถ เป็นต้น ถือเป็นร่องรอยสำคัญที่บ่งบอกถึงความเจริญทางอารยธรรมในแต่ละชนชาติ โดยเป็นหนึ่งในหลักฐานสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงความเจริญรุ่งเรืองทางศิลปะและวัฒนธรรมของแต่ละชนชาติในอดีต สิ่งก่อสร้างเหล่านี้นอกจากจะมีคุณค่าทางประวัติศาสตร์แล้วยังมีคุณค่าต่อทางจิตใจเป็นอย่างยิ่ง [1] ด้วยเหตุนี้เอง สถาปัตยกรรมเหล่านี้สมควรอย่างยิ่งที่จะต้องอนุรักษ์ผ่านกระบวนการสำรวจรังวัดสำหรับใช้เป็นแบบแผนไว้สำหรับให้อนุชนรุ่นหลังได้ทำการทำนุบำรุงได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เพราะหากได้รับความกระทบกระเทือนไม่ว่าทางหนึ่งทางใด ก็สามารที่จะซ่อมแซมให้กลับมามีความสมบูรณ์แบบใกล้เคียงหรือเทียบเท่าสิ่งเดิมได้มากที่สุด ตัวอย่างสำคัญของความสูญเสียทางวัฒนธรรมคือ ภาพเหตุการณ์ไฟไหม้มหาวิหารนอเทรอดาม (Notre Dame cathedral) สร้างระหว่าง ปี ค.ศ. 1160 ถึง ค.ศ. 1260 อายุ 850 ปี กลางกรุงปารีสในช่วงเย็นของวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2562 ตามเวลาท้องถิ่น ดังรูปที่ 1 (ก) ที่แม้ว่าจะเกิดความเสียหายในระดับรุนแรง แต่ก็ยังมีความหวังในการที่จะซ่อมแซมให้กลับคืนมาดังเดิม ทั้งนี้เพราะได้มีสำรวจรังวัดข้อมูลของตัววิหารเอาไว้ดังรูปที่ 1 (ข) โดยได้สร้างไว้เป็นแบบจำลอง 3 มิติที่ผ่านกระบวนการบันทึกไว้เครื่องสแกน 3 มิติภาคพื้นดินในช่วงเวลา 2-3 ปีก่อนหน้าที่จะเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ครั้งนี้ [2] ซึ่งผลของการบันทึกข้อมูลครั้งนี้ถือเป็นร่องรอยสำคัญในการย้อนรอยบูรณะมหาวิหาร ดังรูปที่ 1 (ค) เหตุการณ์ความสูญเสียครั้งยิ่งใหญ่ครั้งนี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการสำรวจรังวัดเพื่อที่จะอนุรักษ์องค์ประกอบต่าง ๆ ในเชิงสถาปัตยกรรมของช่างในแต่ละยุคสมัย เช่น รูปสัญลักษณ์ ทรวดทรง และ สีส้น เป็นต้น แนวทางในการอนุรักษ์เหล่านี้สามารถทำได้โดยอาศัยการสกัด (Data Extraction) จากภาพถ่ายสองมิติให้เป็นข้อมูลแบบจำลองสามมิติเหล่านี้แล้วทำการจัดเก็บในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มหมอกจุดสามมิติ (3D Point Clouds) ที่เป็นกลุ่มของจุดซึ่งได้บันทึกข้อมูลค่าพิกัดจาก 3 มิติ และในบางครั้งอาจมีการบันทึกค่าสีในรูปแบบของแม่สีเชิงบวก (Additive Color) ซึ่งประกอบด้วยสีแดง-เขียว-น้ำเงิน (Red Green Blue: RGB) โดยสิ่งเหล่านี้นับได้ว่าเป็นข้อมูลทางสารสนเทศที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการอนุรักษ์องค์ความรู้ในมิติมรดกทางวัฒนธรรมทางสถาปัตยกรรมเอาไว้

เทคนิคในการสกัดข้อมูลสามมิติ (3D Data Extraction) ผ่านการสำรวจรังวัดองค์ประกอบของอาคารเชิงอนุรักษ์นี้มีอยู่ด้วยกัน 2 เทคนิคหลัก คือ (1) การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial Photogrammetry) และ (2) การประยุกต์ใช้เครื่องกราดภาพระบบเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ซึ่งเทคนิคทั้งสองแบบได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กันในอดีตที่ผ่านมาของ [3 - 4] โดยทั้งสองกระบวนการที่สนใจในการอนุรักษ์ข้อมูลทางสถาปัตยกรรมนั้นมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ในส่วนของการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายดิจิทัล (Digital Photogrammetry) มาดำเนินการจัดเก็บรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมนั้น กระบวนการหลักในการทำงานคือการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้ดำเนินการถ่ายภาพซึ่งเป็นภาพถ่าย 2 มิติร่วมกับข้อมูลที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองของโครงสร้างอาคาร โดยอาจจะเป็นค่าพิกัดหมุดบังคับภาพ หรือ ระยะเวลาคุม เป็นต้น อาศัยกระบวนการประมวลผลทางคณิตศาสตร์จะให้ผลลัพธ์เป็นแบบจำลอง 3 มิติของสิ่งก่อสร้างนั้นๆ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายที่สำคัญดังเช่นผลงานของ [3] ในขณะที่ [4] ได้นำเครื่องกราดภาพระบบเลเซอร์ภาคพื้นดินมาใช้งานอนุรักษ์

สถาปัตยกรรมโบราณผ่านการกราดภาพสามมิติเสาชของมหาวิหารเทพเจ้าซุส (Zeus) ณ เมืองนีเมีย (Nemea) ประเทศกรีซ (Greece) ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมงานก่อสร้างใน 300 ปี ก่อนคริสตกาล ทั้งนี้เครื่องกราดภาพระบบเลเซอร์ภาคพื้นดินมีหลักการทำงานที่อาศัยการวัดระยะอเล็กทรอนิกส์และการวัดมุมของวัตถุ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาวิเคราะห์ผสมผสานกับสิ่งที่ได้จากการถ่ายภาพด้วย ณ ตำแหน่งนั้น เพื่อให้ได้มาซึ่งตำแหน่งพิกัดฉาก 3 มิติพร้อมด้วยค่าสีของวัตถุ แล้วนำมาประกอบกันขึ้นเป็นแบบจำลอง 3 มิติ ในรูปแบบพอยต์คลาวด์ จากที่กล่าวมานี้จะเห็นว่า เทคโนโลยีทั้งสองแบบต่างได้รับความนิยมในการนำมาอนุรักษ์องค์อาคารทางสถาปัตยกรรม ทั้งนี้เพราะขีดความสามารถในการเก็บรายละเอียดได้อย่างประณีตบรรจง แต่ทว่า เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมิติด้านราคาของเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงานกับการประยุกต์ใช้เครื่องกราดภาพระบบเลเซอร์ภาคพื้นดินจะพบว่า มีราคาที่ถูกกว่ากันมาก อนึ่งความวิจิตรพิสดารของรูปทรงและองค์ประกอบของสถาปัตยกรรมไทยมีความสลับซับซ้อนอย่างมาก เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินจึงนับเป็นเทคโนโลยีที่มีความเป็นไปได้ในการเข้าถึงเพื่อเก็บรายละเอียดต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี [5-6] อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถาปัตยกรรมไทยที่กระจายอยู่ทั่วทั้งประเทศและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 1 (ก) เหตุการณ์อัคคีภัย ณ มหาวิหารนอเทรอดาม กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส (ข) แบบจำลอง 3 มิติที่ผ่านกระบวนการบันทึกไว้เครื่องสแกน 3 มิติภาคพื้นดิน (ค) การเริ่มต้นวางแผนงานในการบูรณะมหาวิหารนอเทรอดาม [2]

อนึ่งความก้าวหน้าในเทคโนโลยีของกล้องถ่ายภาพที่เพิ่มความละเอียดของกล้องถ่ายภาพและเลนส์ไปอย่างมาก โดยในปัจจุบัน กล้องถ่ายภาพดิจิทัลได้มีการพัฒนาอีกขั้นไปสู่ความเป็นกล้องมิลเลอร์เลส (Mirrorless Camera) ที่มีจุดเด่นคือ การที่แสงสามารถสะท้อนจากวัตถุและตกกระทบบที่เลนส์ได้โดยตรง ซึ่งจะทำให้กล้องมีขนาดเล็กลง และน้ำหนักที่เบามากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น กล้องมิลเลอร์เลสส่วนหนึ่งเป็นกล้องแบบฟูลเฟรม (Full Frame Camera) ที่มีความละเอียดของจุดภาพที่สูงมาก โดยกล้องบางรุ่นมีความละเอียดที่สูงถึง 40 ล้านจุดภาพ โดยเหตุนี้เอง การศึกษาถึงความละเอียดถูกต้องของการใช้กล้องมิลเลอร์เลสแบบฟูลเฟรมมาที่มีความละเอียดที่สูงกว่า 40 ล้านจุดภาพใช้ในการศึกษาวิจัยในการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งและความครบถ้วนในองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติขององค์อุโบสถวัดไทยโบราณสมัยอยุธยาที่ได้จากเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินร่วมกับเทคนิคโครงสร้างจากการเคลื่อนที่ด้วยกล้องมิลเลอร์เลสแบบฟูลเฟรม (Mirrorless Camera) ที่มีความละเอียดที่สูงกว่า 40 ล้านจุดภาพ โดยใช้วัดปราสาท จังหวัดนนทบุรี เป็นกรณีศึกษา

3. เทคนิคโครงสร้างจากการเคลื่อนที่

เทคนิคโครงสร้างจากการเคลื่อนที่ (Structure from Motion: SfM) ว่าเป็นเทคนิคที่โดดเด่นในการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรม (Cultural Heritage) เมื่อนำมาใช้ร่วมกับการสำรวจด้วยภาพถ่าย โดยเป็นเทคนิคที่ช่วยในการสกัดข้อมูลพื้นผิว 3 มิติ ขึ้นจากชุดข้อมูลภาพถ่าย 2 มิติ ผ่านกระบวนการในการประมวลผลภาพถ่าย (Image Processing) โดยใช้อัลกอริทึมในการจับคู่ภาพถ่าย [6] ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้วิธีจำแนกคุณลักษณะที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาตราส่วน (Scale-invariant Feature Transform: SIFT) เพื่อใช้ในการค้นหาและจับคู่วัตถุขึ้นเดียวกันบนภาพถ่ายต่าง ๆ ผ่านการวิเคราะห์คุณลักษณะ (Features) ที่อาศัยกระบวนการแปลงขึ้นพื้นฐานที่ประกอบด้วย การเลื่อน การหมุน และการปรับมาตราส่วนภาพถ่ายเพื่อช่วยในการสกัดจุดสำคัญ (Key Point Extraction) ซึ่งจะมาพร้อมกับตัวอธิบาย (Descriptor) ที่ช่วยในการค้นหาจุด ๆ เดียวกันบนภาพถ่ายรูปอื่น ๆ ในชุดข้อมูลภาพถ่าย 2 มิติ ในรูปแบบของค่าพิกัดภาพซึ่งจะทำให้เกิดการตัดกันของรังสีแสงที่จะทำให้เกิดทั้งการเล็งสกัดซ้อนของแนวเส้นแสง (Space Resection) เพื่อให้ได้ข้อมูลองค์ประกอบภาพภายนอก (Exterior Orientation) ที่บอกถึงตำแหน่งและการวางตัวของภาพถ่ายและการตัดกันของลำแสง (Bundle Ray Intersection) ผ่านการคำนวณปรับแก้บล็อกลำแสง (Bundle Block Adjustment) เพื่อให้ได้ข้อมูล 3 มิติของพื้นผิวใด ๆ ในรูปแบบของข้อมูลพิกัดฉากสามมิติของจุดต่าง ๆ ออกมาเป็นกลุ่มหมอกจุดเริ่มต้นที่นำไปสู่การคำนวณกลุ่มหมอกจุด 3 มิติในระดับหนาแน่น (3-dimentional Dense Point Clouds) ด้วยอัลกอริทึมภาพสามมิติจากหลายทัศนียภาพ (Multi-view Stereo: MVS) ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ในรูปแบบของข้อมูล 3D Point Clouds ที่เป็นการสร้างแบบจำลองพื้นผิวของวัตถุหรือสถานที่ที่ต้องการอนุรักษ์

4. วิธีการวิจัย

รายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย พื้นที่ศึกษา และกระบวนการดำเนินงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย (1) กล้องถ่ายภาพดิจิทัลรุ่น Sony Alpha 7R II, (3) กล้องสำรวจรังวัดรุ่น Trimble SX10, และ (3) ซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในการศึกษา ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะมีดังนี้

4.1.1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบกล้องมิลเลอร์เลสรุ่น Sony Alpha 7R II ถูกนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลภาพถ่าย โดยเป็นกล้องแบบฟูลเฟรม 35 มม. พร้อมเทคโนโลยีการป้องกันภาพสั่นไหว 5 แกน ใช้ตัวเซนเซอร์รับภาพแบบ CMOS รุ่น ILCE-7RM2 มีขนาด 35.9 x 24.0 มม. ความละเอียด 42.2 ล้านจุดภาพ (7952 x 5304 จุดภาพ)

4.1.2 กล้องประมวลผลแบบเบ็ดเสร็จผสมเครื่องกราดภาพระบบเลเซอร์ภาคพื้นดิน

กล้องประมวลผลแบบเบ็ดเสร็จผสมเครื่องกราดภาพระบบเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Scanning Total Station) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นกล้องสำรวจรังวัดรุ่น Trimble SX10 ดังรูปที่ 2 [7] ได้กล่าวว่า กล้องชนิดนี้เป็นเครื่องมือที่ผสมผสานระหว่างกล้องประมวลผลแบบเบ็ดเสร็จ (Total Station) ที่มีขีดความสามารถในการวัดมุมและระยะ คือ ± 1 พิลิปดา และ $\pm (2\text{mm} + 1.5\text{ppm})$ ตามลำดับ ขณะที่ความละเอียดในการกราดภาพระบบเลเซอร์เพื่อเก็บข้อมูล 3D Point Clouds ด้วยความถูกต้องเชิงมุมและระยะ เป็น ± 5 พิลิปดา และ ± 2.5 มม. ตามลำดับ (ณ ระยะกราดภาพไม่เกิน 100 ม.) และข้อมูล 3D Point Clouds เหล่านี้จะเป็นข้อมูลอ้างอิง (Reference Data) ทั้งในมิติของหมุดบังคับภาพถ่ายและหมุดตรวจสอบสำหรับการวิเคราะห์ประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน



รูปที่ 2 (ก) กล้อง Sony Alpha 7R II เป็นกล้องแบบฟูลเฟรม 35 มม. [8] และ (ข) กล้องสำรวจรังวัดรุ่น Trimble SX10 ที่เป็นกล้องประมวลผลแบบเบ็ดเสร็จผสมเครื่องกราฟิกระบบเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Scanning Total Station) [9]

4.1.3 ซอฟต์แวร์สำหรับการศึกษา

1. Trimble Business Center 5.0 เป็นซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจรังวัดด้วยกล้องสำรวจรังวัดรุ่น Trimble SX10 ซึ่งจะใช้ในการสร้างและรังวัดข้อมูล 3D Point Clouds จากเทคโนโลยีการกราฟิกระบบเลเซอร์
2. AGRISOFT Metashape Professional 1.5.2 เป็นซอฟต์แวร์ที่ประมวลผลด้วยหลักการเทคนิคโครงสร้างจากการเคลื่อนที่สำหรับวัดสอบองค์ประกอบภาพและประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายคือ แบบจำลองสามมิติ ทั้งในรูปแบบของ 3D Point Clouds

4.2 พื้นที่ศึกษา

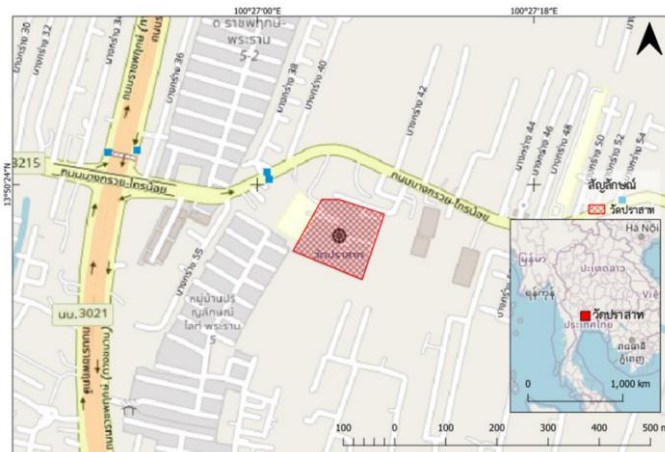
อุโบสถของวัดปราสาทรูปที่ 3 ได้รับเลือกมาเป็นกรณีศึกษาเนื่องจากเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่ได้รับสมญานามว่า “โบสถ์มหาอุดอันงดงามสมัยอยุธยา” ตั้งอยู่ ณ บ้านบางกร่าง ตำบลบางกร่าง อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ดังแสดงในรูปที่ 4 อุโบสถของวัดปราสาทนี้มีความโดดเด่นอยู่กับการสร้างแบบก่ออิฐถือปูนศิลปะสมัยอยุธยา ตัวอุโบสถลักษณะคล้ายท้องเรือสำเภา ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของอุโบสถสมัยกรุงศรีอยุธยา มีประตูทางเข้าอุโบสถ 3 บาน ไม่มีการสร้างหน้าต่าง ลักษณะสำคัญคือ การสร้างช่องแสงด้านหลังองค์พระประธาน 1 ช่อง เพื่อให้แสงสว่างกระจายไปทั่วเสมือนมีพระรัศมีต้องแสงออกมาจากองค์พระประธาน ถือเป็นอีกหนึ่งภูมิปัญญาหัตถกรรมที่บรรพชนได้สร้างสรรค์ไว้ [10]

4.4 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้ เริ่มต้นด้วยการทำการสำรวจสังเขปองค์พระอุโบสถและบริเวณโดยรอบดังรูปที่ 5 แล้วจึงเป็นการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องกราฟิกสามมิติความละเอียดสูงและการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน โดยรายละเอียดเป็นไปตามแผนภูมิสรุปขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 3 องค์อุโบสถในมุมต่าง ๆ ได้แก่ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง และ (ค) ด้านหลังของวัดปราสาท จ.นนทบุรี



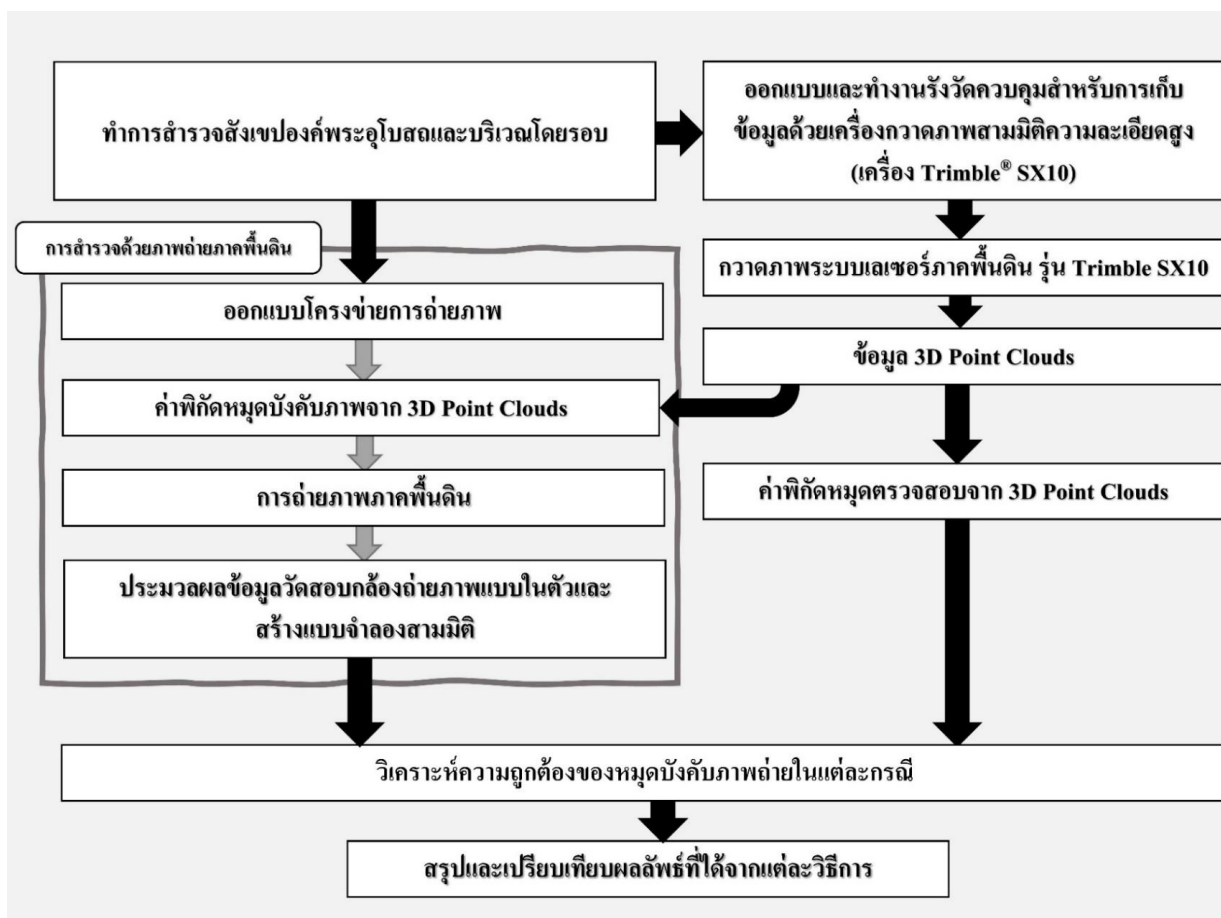
รูปที่ 4 ตำแหน่งที่ตั้งของวัดปราสาท ณ บ้านบางกร่าง ตำบลบางกร่าง อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี

4.4.1 การออกแบบและทำงานรังวัดควบคุมสำหรับการเก็บข้อมูลด้วยการกราดภาพระบบเลเซอร์

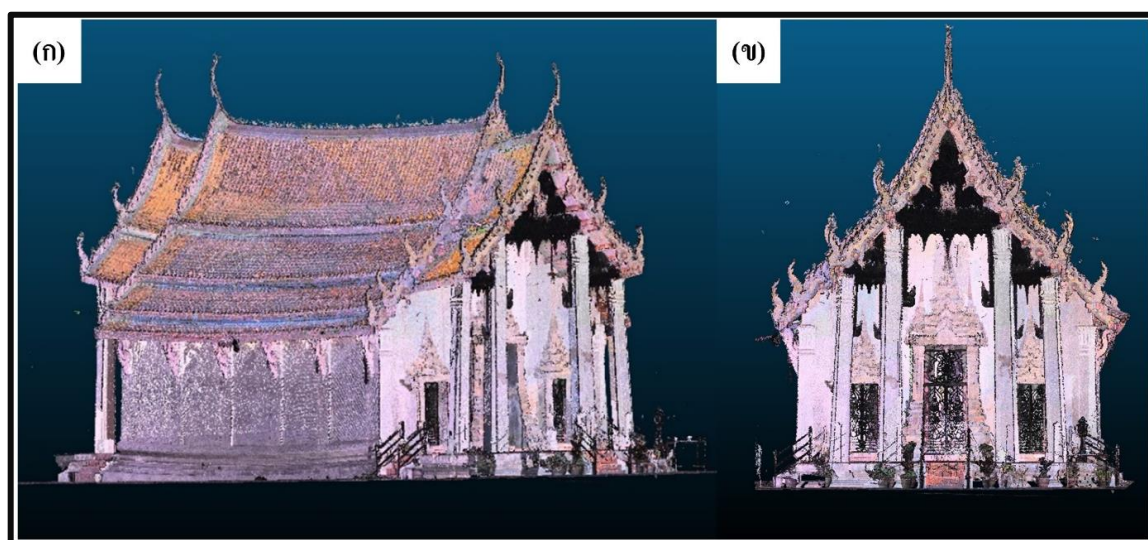
การออกแบบการดำเนินการกราดภาพระบบเลเซอร์ภาคพื้นดินด้วยการทำงานสร้างสถานีควบคุมภาคพื้นดินผ่านการทำงานด้วยเทคนิคการรังวัดงานวงรอบด้วยเกณฑ์งานชั้น 3 คลาส 2 (3rd - order, Class II) ตามมาตรฐานของ Federal Geodetic Control Committee [11] และการตั้งสถานีการกราดภาพ แล้วจึงทำการกราดภาพด้วยค่าระยะกราดภาพไม่เกิน 10 เมตร เพื่อเก็บข้อมูล 3D Point Clouds แล้วนำไปขึ้นรูปข้อมูล 3D Point Clouds ดังรูปที่ 6 ด้วยซอฟต์แวร์ Trimble Business Center 5.0 พร้อมด้วยการวัดค่าพิกัดหมุดบังคับภาพและค่าพิกัดหมุดตรวจสอบจากข้อมูล 3D Point Clouds

4.4.2 การออกแบบและการดำเนินการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน

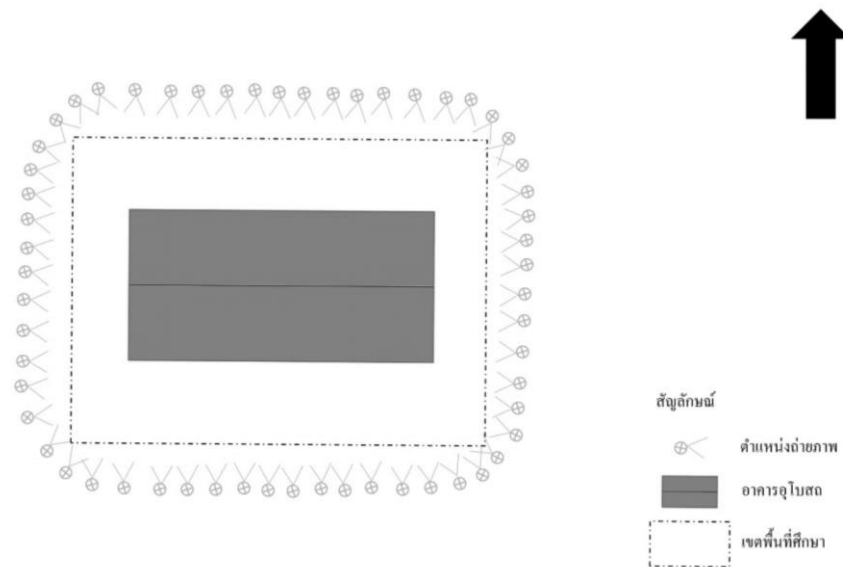
การออกแบบโครงข่ายการถ่ายภาพภาคพื้นดินได้มีการวางแผนเก็บข้อมูลตามรูปที่ 7 โดยกรณีศึกษาสำหรับบทความนี้ออกแบบให้ถ่ายภาพรอบองค์อุโบสถจำนวน 1 วง ถ่ายเป็นรูปแบบของกรอบสี่เหลี่ยม มีการรักษาระยะห่างระหว่างจุดถ่ายภาพให้คงที่ต่อเนื่องด้วยความไวแสง ISO-5000 ค่ารูรับแสง (F-stop Number) 1/22 และใช้ขาตั้งกล้องถ่ายภาพเพื่อควบคุมระดับความสั่นไหวของภาพในการเก็บข้อมูล เวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพคือช่วง 10.45 น. ถึง 13.15 น. เป็นช่วงเวลาที่แสงแดดสม่ำเสมอ ทั้งนี้ได้เลือกเอาวันที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าหนาแน่นเพื่อเป็นกรองแสงอาทิตย์และการเกลี่ยแสงให้เหมาะสมกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน โครงข่ายนี้ได้ข้อมูลภาพถ่ายทั้งสิ้น 112 รูป ในการนำมาใช้ประมวลผลข้อมูลวัดสอบกล้องถ่ายภาพแบบในตัวและสร้างแบบจำลองสามมิติ



รูปที่ 5 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 6 ข้อมูล 3D Point Clouds ที่ได้จากการกราดภาพด้วยกล้องสำรวจรุ่น Trimble SX10 ที่ส่งออกมาแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์ Cloud Compare โดยเป็นภาพใน (ก) มุมทัศนียภาพ และ (ข) มุมด้านหน้าองค์อุโบสถ



รูปที่ 7 ภาพร่างการออกแบบโครงข่ายสถานีถ่ายภาพภาคพื้นดินรอบองค์อุโบสถ จำนวน 1 วง

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการการวัดสอบกล้องในตัว (Self-camera Calibration Results)

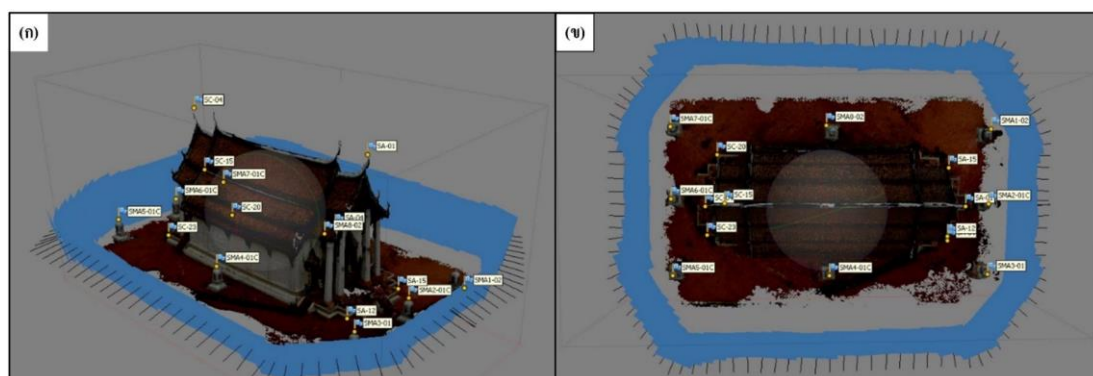
ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการวัดสอบกล้องมีองค์ประกอบภายใน (Interior Orientation Parameters) ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยค่าขนาดจุดภาพ ความยาวโฟกัส ตำแหน่งจุดमुखสำคัญ และค่าสัมประสิทธิ์ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวรัศมี (Radial Lens Distortion) และแนวเส้นสัมผัส (Tangential Lens Distortion)

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์องค์ประกอบภายใน (Interior Parameters) ของกล้องถ่ายภาพที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์องค์ประกอบภายใน	ค่าพารามิเตอร์
ขนาดจุดภาพ (ไมครอน)	4.5
ความยาวโฟกัสจากการวัดสอบกล้อง (มม.)	27.3
ตำแหน่งจุดमुखสำคัญทางแกน x (มม.)	0.003
ตำแหน่งจุดमुखสำคัญทางแกน y (มม.)	-0.153
สัมประสิทธิ์ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวรัศมี k_1	-0.0116
สัมประสิทธิ์ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวรัศมี k_2	-0.0222
สัมประสิทธิ์ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวรัศมี k_3	0.0250
ค่าสัมประสิทธิ์ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวเส้นสัมผัส P_1	0.0005
ค่าสัมประสิทธิ์ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวเส้นสัมผัส P_2	-0.0023

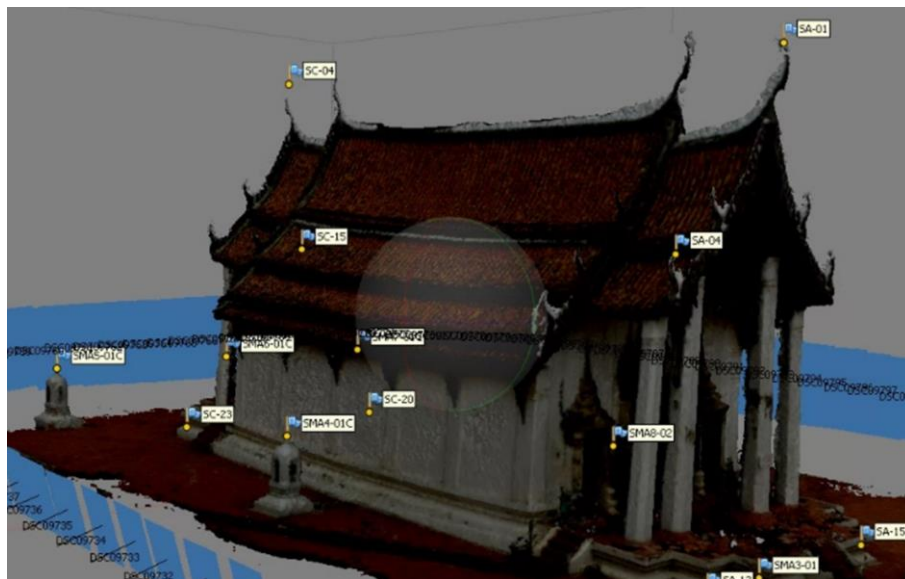
5.2 ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและความครบถ้วนของแบบจำลองสามมิติ

การศึกษานี้ได้ใช้หมุดบังคับภาพกระจายรอบองค์โบสถ์จำนวน 16 หมุด ดังภาพมุมบน (Top View) และภาพทัศนียภาพ (Perspective View) ดังรูปที่ 8 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งให้ผลลัพธ์เชิงคุณภาพในการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของการรังวัดพิกัดภาพอยู่ ± 1.9 จุดภาพ และผลลัพธ์ในรูปแบบของแบบจำลอง 3 มิติขององค์โบสถ์ ดังรูปที่ 9 ที่เป็นผลลัพธ์ภายหลังจากผู้วิจัยกรองเอาจุดรบกวน (Noise) ด้วยการลบเอาหมุดจุดก่อนที่กระจัดกระจายออกไปโดยอาศัยฟังก์ชันการลบจุดผ่านการแปลตีความด้วยสายตา (Visual Interpretation) ซึ่งจะทำให้ได้แบบจำลอง 3 มิติแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ความถูกต้องด้วยหมุดตรวจสอบจำนวน 30 จุดที่กระจายอยู่ทั่วทั้งองค์โบสถ์และพื้นที่ศึกษา คณะผู้วิจัยดำเนินการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในรูปแบบของค่า Root Mean Square Error (RMSE) ในแนวแกนต่าง ๆ ดังนี้ (1) ค่าความถูกต้องในแนวแกน X ($RMSE_X$) = ± 2.0 ซม., (2) ค่าความถูกต้องในแนวแกน Y ($RMSE_Y$) = ± 1.4 ซม., (3) ค่าความถูกต้องในแนวแกน Z ($RMSE_Z$) = ± 1.8 ซม., และ (4) ค่าความถูกต้อง 3 แนวแกน ($RMSE_{xyz}$) = ± 3.0 ซม.



รูปที่ 8 การกระจายตัวของหมุดบังคับภาพรอบองค์โบสถ์ (ก) มุมบน และ (ข) มุมทัศนียภาพ

การวิเคราะห์ความสมบูรณ์แบบของแบบจำลองสามมิติดำเนินการโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลในพื้นที่ศึกษาจริง (Ground Truth) เพื่อประเมินถึงความสมบูรณ์ โดยได้ดำเนินการเปรียบเทียบในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ หน้านับจำหลักไม้รูปนารายณ์ทรงครุฑ กระจัง สำหรับวางสิ่งจำหลักไม้ คันทวยจำหลักไม้ ผนังอุโบสถ และส่วนหลังคา โดยพบว่า ณ บริเวณที่โครงการถ่ายภาพที่ยังไม่ครอบคลุมเท่าที่ควรอย่างหลังคาขององค์โบสถ์เป็นต้นจะทำให้เกิดเป็นกลุ่มหมุดจุดสีขาวขึ้นในแบบจำลองสามมิติขึ้นมา



รูปที่ 9 ผลลัพธ์แบบจำลองสามมิติของวัดปราสาทที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน

6. อภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้หมุดบังคับภาพโดยอาศัยหมุดบังคับภาพแบบธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นจุดที่เป็นจุดเด่น ๆ บนองค์โบสถ์และองค์พัทธสีมาที่เรียงรายรอบองค์โบสถ์เพื่อยึดตรงภาพต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยผู้วิจัยได้ควบคุมคุณภาพของการวัดพิกัดภาพของหมุดบังคับภาพให้อยู่ไม่เกิน 2 เท่าของจุดภาพ จากการวิเคราะห์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งโดยเทียบกับจุดตรวจสอบที่ได้จากแบบจำลองสามมิติในรูปแบบของ 3D Point Clouds ที่ได้จากกล้องรุ่น Trimble SX10 แล้วจะได้ว่า ค่าความถูกต้องของทั้งสามแนวแกน ($RMSE_{XYZ}$) อยู่ที่ ± 3.0 ซม. คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (E_{99} หรือ 3σ) อยู่ที่ ± 9.1 ซม. ซึ่งจัดเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้มากที่สุดโดยเทียบกับค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่ได้จากแบบจำลองสามมิติในรูปแบบของ 3D Point Clouds ที่ได้จากกล้องรุ่น Trimble SX10 ยิ่งไปกว่านั้น หากพิจารณาถึงระดับความน่าเชื่อถือของข้อมูล 3D Point Clouds บนฐานคิดของ [7] ได้ประเมินความถูกต้องของข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้จากการกราดภาพด้วยกล้อง Trimble SX10 ไว้ที่ ± 0.5 ซม. โดยอาศัยหลักการดังกล่าวทำให้สามารถพิจารณาค่าความถูกต้องของค่าพิกัดหมุดตรวจสอบจากข้อมูล 3D Point Clouds ว่ามีค่าความถูกต้องอยู่ที่ประมาณ ± 0.5 ซม. จากที่กล่าวมานี้ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้มากที่สุดจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินโดยใช้กล้องถ่ายภาพมิลเลอร์เลสแบบฟูลเฟรม ที่มีความละเอียด 42.2 ล้านจุดภาพ สามารถให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในงานก่อสร้าง [12] ซึ่งมีค่าอยู่ที่ระดับไม่เกิน ± 10.0 ซม. ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ซึ่งนับเป็นเทคนิควิธีการที่มีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าการใช้เครื่องกราดภาพอยู่มาก ยิ่งไปกว่านั้น ข้อจำกัดของการใช้งาน Trimble SX10 จะต้องมีการกราดภาพไม่น้อยกว่า 3 เมตร ทำให้บางมุมที่จำเป็นต่อการอนุรักษ์และมีพื้นที่ที่ค่อนข้างจำกัดอาจจะทำได้ไม่สมบูรณ์แบบเท่าที่ควร อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลลัพธ์แบบจำลองสามมิติของวัดปราสาทที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินดังแสดงในรูปที่ 9 จะเห็นว่า ในส่วนของโครงสร้างคานบนจะยังมีเหมือนกลุ่มหมอกสีขาวที่ติดอยู่บนโครงสร้างคานบน ซึ่งสะท้อนว่า การตัดกันของรังสีแสงที่ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจับคู่ภาพ โดยเหตุการณ์นี้อาจจะสามารถทำให้ลดลงหรือหายไปด้วยการเพิ่มมุมถ่ายภาพในมุมที่สูงขึ้นผ่านการใช้อากาศยานไร้คนขับ ดังนั้น การศึกษาในอนาคตควรอย่างยิ่งที่จะมีการเพิ่มมุมในการถ่ายภาพโดยการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับต่อไป

7. สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของการใช้กล้องถ่ายภาพแบบมิลเลอร์เลส (Mirrorless Camera) ในการสำรวจด้วยเทคนิคการวัดบนภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial Photogrammetry) ที่นับเป็นอีกหนึ่งเทคนิคการรังวัดในงานด้านวิศวกรรมสำรวจ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการรังวัดอาคารเพื่อการอนุรักษ์ทางสถาปัตยกรรมโบราณได้เป็นอย่างดี ผลการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลที่ได้จากกล้องมิลเลอร์เลสแบบฟูลเฟรมนี้ทำให้ผลลัพธ์ในรูปของแบบจำลองสามมิติซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในวงการวิศวกรรมด้วยความคลาดเคลื่อนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 อยู่ที่ระดับไม่เกิน ± 10 ซม. โดยผลลัพธ์นี้ได้แสดงให้เห็นว่า ความสัภาพของการเทคนิคการวัดบนภาพถ่ายภาคพื้นดินที่เพียงพอสำหรับการรังวัดโครงสร้างอาคาร โดยสามารถให้ความถูกต้องที่เพียงพอต่อการอนุรักษ์องค์อาคารอุโบสถไทยโบราณ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิทยานิพนธ์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอกราบขอบพระคุณ ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากศูนย์วิจัยพัฒนามูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณดวงวิญญาณของ พระครูวิสุทธิจริยาภิวัฒน์ (นามเดิม ถลาด สดมฺย) ท่านอดีตเจ้าหลวงพ่อเจ้าอาวาสวัดปราสาท จังหวัดนนทบุรี ที่ให้ความเมตตาในการอนุญาตให้การใช้สถานที่เพื่อใช้เป็นพื้นที่ศึกษาสำหรับเก็บข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Srisuro, W. Isan Sim: northeast Buddhist holy temple. *KKU Research Journal*, 1998, 3, 92-95.
- [2] Puiiu, T. *News Notre Dame's 3D virtual reconstruction offers hope for the cathedral's full restoration*, 2019. Available from: <https://www.zmescience.com/science/news-science/notre-dam-reconstruction-04323/> [Accessed 14 January 2021].
- [3] Ogleby, C. *The ancient city of Ayutthaya – explorations in virtual reality and multimedia*, 2009. Available from: <https://www.geospatialworld.net/article/the-ancient-city-of-ayutthaya-explorations-in-virtual-reality-and-multi-media/> [Accessed 10 January 2020].
- [4] Georgopoulos, G. D., Telioni, E. C. and Tsontzou, A. The contribution of laser scanning technology in the estimation of ancient Greek monuments' deformations. *Survey Review*, 2016, 48(349), 303–308. doi:10.1179/1752270615y.0000000035
- [5] Waisurasingha, C. *Photogrammetry*. Bangkok: Se-education, 2020. [Pdf edition]
- [6] Aicardi, I., Chiabrando, F., Maria Lingua, A. and Noardo, F. Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, 2018, 32, 257-266. doi: 10.1016/j.culher.2017.11.006
- [7] Lachat, E., Landes, T. and Grussenmeyer, P. Investigation of a combined surveying and scanning device: The Trimble SX10 scanning total station. *Sensors*, 2017, 17, art. no. 730. doi:10.3390/s17040730
- [8] Ec-mall. *Sony a7 II*, 2021. Available from: <https://www.ec-mall.com/product/sold/49748.html> [Accessed 14 January 2021].
- [9] Trimble. *Trimble SX10: Scanning Total Station*, 2021. Available from: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-sx10> [Accessed 14 January 2021].

- [10] MGROnline. *Visit the old temple of Muang Non, "Wat Prasat", the magnificent Maha Ut Church in the Ayutthaya period*, 2021. Available from: <https://mgronline.com/travel/detail/9640000011519> [Accessed 20 May 2021].
- [11] Federal Geodetic Control Committee. *Standards and specifications for geodetic control networks*, 1984. Available from: https://www.ngs.noaa.gov/FGCS/tech_pub/1984-stds-specs-geodetic-control-networks.pdf [Accessed 10 January 2019].
- [12] Krzyżek, R. and Przewiężlikowska, A. Accuracy assessment in determining the location of corners of building structures using a combination of various measurement methods. *Reports on geodesy and geoinformatics*, 2017, 104, 48-56. doi:10.1515/rgg-2017-0014