

บทความวิชาการ: การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสามมิติเพื่อเก็บข้อมูลโบราณสถาน กรณีศึกษาวัดเซตวัน (กาเผือก)

Academic Article: Application 3D Scanner for Heritage Building Data: Chetawan (Ka Pheuak)

ณพล ศรีศักดิ์¹ ฤทธิยุทธ ก้อนทอง^{1*} ณรงค์ เหลืองบุตรนาค² อภิชาติ บัวกล้า¹ อนุจิต ภูมิพันธ์¹ และ
พรปวีณ์ ชัยแก้ว¹

Napol Srisalda¹ Rittayut Gonthong^{1*} Narong Luengbootnak² Apichat Buakla¹ Anujit Phumipan¹
and Pornpawee Chaikaew¹

Received: March 28, 2025; Revised: September 25, 2025; Accepted: September 29, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายลักษณะเฉพาะของพื้นที่ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บข้อมูลโบราณสถาน โดยเลือกกรณีศึกษาที่วัดเซตวัน (กาเผือก) จังหวัดพะเยา ซึ่งเป็นโบราณสถานสำคัญของท้องถิ่นล้านนาอายุราว 500 ปี ปัจจุบันเหลือเพียงซากเจดีย์ วิหารฐานอิฐ และแนวกำแพงที่อยู่ในสภาพทรุดโทรม วัดแห่งนี้สะท้อนคุณค่าทางประวัติศาสตร์ สถาปัตยกรรม และภูมิปัญญาชุมชนในอดีต จึงมีความจำเป็นต้องจัดเก็บข้อมูลเชิงกายภาพอย่างละเอียดเพื่อการอนุรักษ์และการศึกษาต่อไป วิธีการวิจัยประกอบด้วย การเก็บข้อมูลด้วยสองแนวทาง ได้แก่ (1) การสำรวจแบบดั้งเดิมโดยใช้กล้อง Total Station และการวัดด้วยแรงคน และ (2) การใช้เครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ Faro Focus M70 เพื่อสร้างชุดข้อมูล Point Cloud และแบบจำลองเชิงดิจิทัล ผลการเปรียบเทียบพบว่าเทคโนโลยีสแกนสามมิติสามารถเก็บข้อมูลได้ด้วยความละเอียดสูงกว่า 2,000 จุดต่อตารางเมตร เข้าถึงพื้นที่ซับซ้อนได้โดยไม่ต้องสัมผัสวัตถุ และใช้เวลาภาคสนามน้อยกว่า ขณะที่การสำรวจแบบดั้งเดิมแม้จะมีต้นทุนต่ำและคุ้นเคยต่อผู้ปฏิบัติงานแต่มีข้อจำกัดด้านความละเอียดและการเข้าถึงพื้นที่บางส่วน โดยสรุป การใช้เทคโนโลยีสแกนสามมิติมีศักยภาพสูงกว่าสำหรับงานอนุรักษ์เชิงดิจิทัล การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เข้าถึงพื้นที่ซับซ้อนได้ และรวดเร็วกว่า ขณะที่วิธีดั้งเดิมมีข้อดีเรื่องความคุ้นเคยและต้นทุนต่ำ การผสมผสานทั้งสองวิธีจะเพิ่มความแม่นยำและศักยภาพของข้อมูล เพื่อนำไปใช้ด้านวิศวกรรมโบราณคดี และการอนุรักษ์วัฒนธรรมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : การสแกนสามมิติ; การสำรวจโบราณสถาน; เทคโนโลยีการอนุรักษ์; แบบจำลองเชิงดิจิทัล

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹ Faculty of Engineering, University of Phayao

² Faculty of Engineering, Khon Kaen University

* Corresponding Author, Tel. 06 2356 6582, E - mail: rittayut.go@up.ac.th

Abstract

This study aims to describe the distinctive characteristics of the study area and to compare the efficiency of heritage site data collection methods. The case study focuses on Wat Chetawan (Ka Phueak) in Phayao Province, an important Lanna heritage site with an estimated age of around 500 years. At present, only the remains of the stupa, brick temple base, and wall structures remain in deteriorated condition. The site reflects the historical, architectural, and cultural values of the local community, making it necessary to record detailed physical data for conservation and further research. The research methodology consists of two approaches: (1) traditional surveying using a Total Station and manual measurements, and (2) three-dimensional laser scanning with the Faro Focus M70 to generate Point Cloud datasets and digital models. The comparative results show that 3D scanning can capture data with a resolution of more than 2,000 points per square meter, access complex areas without physical contact, and reduce fieldwork time. In contrast, traditional surveying, while cost-effective and familiar to practitioners, is limited in terms of resolution and access to certain areas. In conclusion, 3D scanning demonstrates greater potential for digital conservation, 3D modeling, rapid fieldwork, and non-invasive data acquisition. Traditional methods, however, still offer advantages in terms of familiarity and lower costs. Integrating both methods enhances accuracy and data potential, enabling applications in engineering, archaeology, and sustainable cultural heritage preservation.

Keywords: 3D Scanning; Heritage Site Survey; Conservation Technology; Digital Modeling

บทนำ

การเก็บข้อมูลเชิงกายภาพของโบราณสถานถือเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่มีความสำคัญยิ่งในการอนุรักษ์ พื้นฟู และศึกษาทางประวัติศาสตร์และสถาปัตยกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีความสำคัญทางศิลปวัฒนธรรม (Bouziani et al., 2021) เช่น วัดเชตวัน (กาเผือก) ซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดพะเยา ถือเป็นแหล่งโบราณสถานที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ท้องถิ่นและศิลปกรรมล้านนา วัดแห่งนี้มีลักษณะทางสถาปัตยกรรมและโครงสร้างที่สะท้อนถึงรูปแบบและแนวคิดของชุมชนในอดีต การจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ เช่น เจดีย์ วิหาร ซากกำแพง และฐานราก จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาทางวิชาการและการอนุรักษ์อย่างยั่งยืน

เนื่องจากโบราณสถานส่วนใหญ่มักอยู่ในสภาพเสื่อมโทรมตามกาลเวลา การบันทึกข้อมูลในช่วงเวลาปัจจุบันจึงเปรียบได้กับการเก็บ “หลักฐาน” ที่สำคัญก่อนที่จะเกิดการสูญเสีย ทั้งจากการกัดกร่อนทางธรรมชาติและการเปลี่ยนแปลงทางสังคม การจัดทำแผนที่สามมิติหรือแบบจำลองที่แม่นยำช่วยให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างได้โดยไม่กระทบต่อของจริง และยังเปิดโอกาสให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในด้านอื่น ๆ เช่น การสร้างแบบจำลองเพื่อการเรียนรู้ การจัดแสดงในพิพิธภัณฑ์เสมือน หรือแม้แต่การฟื้นฟูโดยใช้เทคโนโลยีทางวิศวกรรม (Bouziani et al., 2021; Tysiac et al., 2023)

วัดเชตวัน หรือที่ชาวบ้านรู้จักในชื่อ “วัดกาเผือก” ตั้งอยู่ในเขตเทศบาลเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา เป็นหนึ่งในโบราณสถานที่มีความสำคัญทั้งในด้านประวัติศาสตร์ ศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่นล้านนา จากการสันนิษฐานตามหลักฐานทางโบราณคดีและคำบอกเล่าของชาวบ้าน วัดแห่งนี้มีอายุไม่ต่ำกว่า 500 ปี และเป็นศูนย์กลางของชุมชนในยุคก่อนประวัติศาสตร์เมืองพะเยาจะถูกผนวกกรมเข้าสู่รัชชาติไทยในปัจจุบัน ปัจจุบันวัดเชตวันเหลือเพียงซากโบราณสถาน เช่น เจดีย์ วิหารฐานอิฐ และแนวกำแพงดิน ซึ่งล้วนอยู่ในสภาพทรุดโทรมจากทั้งธรรมชาติและ การแปรเปลี่ยนของพื้นที่โดยรอบ

ในบริบทของการอนุรักษ์และฟื้นฟูโบราณสถาน การจัดเก็บข้อมูลเชิงกายภาพของโบราณสถานในระดับความละเอียดสูงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่สภาพแวดล้อมและโครงสร้างยังคงพอมิเค้า

รูปเดิมให้ศึกษา การเก็บข้อมูลในเชิงเรขาคณิต (Klapa and Gawronek, 2023; An and Froese, 2023) และเชิงพื้นที่ (Geometric and Spatial Data) ของโบราณสถานแห่งนี้ไม่เพียงเป็นการบันทึกสภาพปัจจุบันของโบราณสถานเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการวางแผนฟื้นฟูเชิงอนุรักษ์ และสนับสนุนการศึกษาวิจัยข้ามสาขา เช่น ประวัติศาสตร์ สถาปัตยกรรมโบราณ วิศวกรรมโครงสร้าง และการออกแบบดิจิทัล (Alshawabkeh et al., 2021)

ในอดีต การเก็บข้อมูลเชิงกายภาพของโบราณสถานมักอาศัยวิธีการสำรวจแบบดั้งเดิม เช่น การใช้กล้อง Total Station การวัดระยะทางและมุมด้วยแรงคน ซึ่งแม้จะให้ข้อมูลที่มีความแม่นยำระดับหนึ่ง แต่กลับมีข้อจำกัดทั้งในด้านความละเอียด ความรวดเร็ว และการเข้าถึงพื้นที่บางส่วนของโบราณสถาน (Martínez-Carricondo et al., 2021; Alshawabkeh and Baik, 2023; Tini et al., 2024) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสแกนสามมิติ (3D Laser Scanning) (López et al., 2018) เข้ามาแทนที่หรือเสริมกระบวนการดั้งเดิม จึงถือเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูง ด้วยความสามารถในการเก็บข้อมูลจุด (Point Cloud) ได้อย่างละเอียดและครอบคลุมในเวลาอันสั้นโดยไม่กระทบต่อโบราณสถาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสแกนสามมิติในการสำรวจโบราณสถาน โดยเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมในด้านความถูกต้องของข้อมูล ระยะเวลาในการดำเนินการ กำลังคนที่ใช้ และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในการอนุรักษ์โบราณสถาน ผลการศึกษานี้จะช่วยให้เห็นถึงข้อดีและข้อจำกัดของการใช้เทคโนโลยีสแกนสามมิติ และสนับสนุนแนวทางการบริหารจัดการโบราณสถานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเก็บข้อมูลโบราณสถาน โดยเลือกกรณีศึกษาที่วัดเชตวัน (กาเผือก) จังหวัดพะเยา ซึ่งตั้งอยู่ในเขตเทศบาลเมืองพะเยา เป็นโบราณสถานที่มีอายุไม่ต่ำกว่า 500 ปี และมีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ สถาปัตยกรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่นล้านนา พื้นที่วัดปัจจุบันประกอบด้วยซากเจดีย์ วิหารฐานอิฐ และแนวกำแพงดินที่ทรุดโทรม แต่ยังสะท้อนให้เห็นโครงสร้างดั้งเดิมที่เคยเป็นศูนย์กลางของชุมชนโบราณ พื้นที่โดยรอบวัดอยู่ในเขตเมืองซึ่งมีทั้งการขยายตัวของชุมชนสมัยใหม่และการใช้พื้นที่ร่วมกับวิถีชีวิตท้องถิ่น เช่น ตลาดและย่านการค้า จึงเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความท้าทายต่อการอนุรักษ์โบราณสถาน

นอกจากความสำคัญทางกายภาพแล้ว บริบทชุมชนรอบวัดเชตวันยังเป็นแหล่งสืบทอดความทรงจำและประวัติศาสตร์ปากเปล่าของชาวบ้านในพื้นที่ ทำให้การเก็บข้อมูลโบราณสถานแห่งนี้ไม่เพียงแต่เป็นการบันทึกโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมเท่านั้น แต่ยังเป็นการเชื่อมโยงกับวิถีชีวิต วัฒนธรรม และอัตลักษณ์ของคนในท้องถิ่น โดยกระบวนการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การเตรียมความพร้อมและสำรวจภาคสนาม 2) การจัดเก็บและประมวลผลข้อมูล และ 3) การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์จากทั้งสองวิธี

1. การเตรียมความพร้อมและสำรวจภาคสนาม

1.1 ทำการสำรวจพื้นที่วัดเชตวัน (กาเผือก) เพื่อกำหนดขอบเขตของโบราณสถานที่ต้องการจัดเก็บข้อมูล เช่น เจดีย์ วิหาร ซากฐานอิฐ และแนวกำแพง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การสำรวจพื้นที่วัดเชตวัน

1.2 วางแผนตำแหน่งจุดตั้งอุปกรณ์สำหรับทั้งกล้อง Total Station และเครื่อง 3D Laser Scanner เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างครบถ้วน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวางแผนตำแหน่งการดำเนินงาน

1.3 ใช้การวัดระยะทางจริง (Ground Control) เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงร่วมในการประมวลผลข้อมูลจากทั้งสองระบบ

2. การจัดเก็บและประมวลผลข้อมูล

2.1 การเก็บข้อมูลด้วยวิธีดั้งเดิม ในส่วนของการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสำรวจแบบดั้งเดิม ใช้วิธีการที่อาศัยแรงงานคนร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม คือ กล้อง Total Station โดยมีขั้นตอนหลัก ดังนี้

2.1.1 การใช้กล้อง Total Station เพื่อวัดจุดสำคัญของโบราณสถาน ทำการตั้งกล้อง Total Station ณ ตำแหน่งที่สามารถมองเห็นพื้นที่เป้าหมายอย่างชัดเจน และสามารถเชื่อมโยงระหว่างสถานีได้ (Visibility Network) โดยก่อนเริ่มงานได้มีการปักหมุดควบคุม (Control Points) รอบพื้นที่เพื่อเป็นจุดอ้างอิงในการหาค่าพิกัดในระบบฉาก (Cartesian Coordinates: X, Y, Z) จุดที่ทำการวัดประกอบด้วย

- 1) มุมฐานของเจดีย์
- 2) แนวเสาก่ออิฐ
- 3) ร่องรอยผนังวิหาร
- 4) ขอบเขตแนวกำแพงโบราณ

การวัดทำในลักษณะการยิงพิกัดจากกล้องไปยังปริซึม (Prism) ที่ตั้งอยู่บนจุดที่ต้องการวัด โดยบันทึกค่าระยะทาง (Distance) มุมราบ (Horizontal Angle) และมุมตั้ง (Vertical Angle) แล้วคำนวณเป็นพิกัด X, Y, Z ด้วยซอฟต์แวร์ควบคุมกล้อง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การวัด โดยการส่องกล้อง Total Station ไปยังปริซึม

2.1.2 การวัดระยะเชิงเส้นและมุมด้วยแรงคนในบางจุดที่กล้องไม่สามารถเข้าถึงได้ เนื่องจากสภาพพื้นที่ของวัดเขตวันมีบางจุดที่เข้าถึงยาก คือ พื้นที่ด้านหลังเจดีย์ที่มีเศษซากวัสดุกองอยู่ และจุดอับสายตาที่กล้องไม่สามารถยิงระยะได้ จึงจำเป็นต้องใช้การวัดแบบแมนนวล ได้แก่

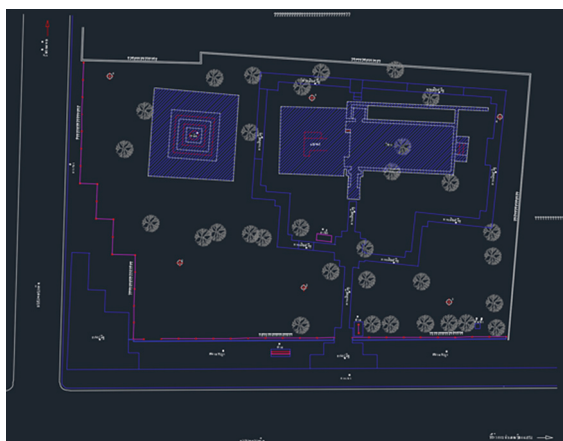
- 1) การวัดระยะทางด้วยสายวัดเหล็ก (Steel Tape)
- 2) การวัดมุมคร่าว ๆ ด้วยโปรแทรกเตอร์หรือเครื่องมือวัดมุมมือถือ
- 3) การคาดคะเนระยะแนวตั้งด้วยลูกดิ่งหรือระดับน้ำ

แม้ว่าข้อมูลจากวิธีนี้จะมีความแม่นยำน้อยกว่าวิธีการวัดด้วยกล้อง แต่ก็สามารถใช้เสริมข้อมูลในจุดที่ขาดหายไปได้ และมีประโยชน์ในแง่ของการประเมินรูปทรงเชิงโครงสร้างเบื้องต้น

2.1.3 การประมวลผลข้อมูลด้วย Autodesk AutoCAD ข้อมูลพิกัด X, Y, Z ที่ได้จากกล้อง Total Station จะถูกนำเข้าสู่ออฟต์แวร์ Autodesk AutoCAD เพื่อดำเนินการร่างแบบโครงสร้างเชิงราบ (2D Drafting) โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) แปลงค่าพิกัดให้อยู่ในระบบฉากของ AutoCAD (ผ่านการ Import หรือพิมพ์จุดด้วยคำสั่ง LINE, POINT, หรือ POLYLINE)
- 2) สร้างรูปทรงโครงสร้างตามแนวที่ได้จากการวัดในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ การสร้างเส้นผนังฐานราก เจดีย์ ฯลฯ
- 3) กำหนดชั้นข้อมูล (Layer) แยกตามประเภทองค์ประกอบ ได้แก่ ผนัง พื้น เสา และแนวกำแพง
- 4) ใส่ข้อความและรายละเอียด (Annotation) เพื่อระบุลักษณะของจุดต่าง ๆ ตามที่สังเกตภาคสนาม

ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ในรูปแบบ 2D Drawing นี้จะนำไปใช้เป็นฐานเปรียบเทียบกับผลการสแกนสามมิติในหัวข้อถัดไป เพื่อประเมินความแตกต่างด้านความละเอียด ความครบถ้วนของข้อมูล และความสะดวกในการประมวลผล ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การประมวลผลข้อมูลด้วย Autodesk AutoCAD

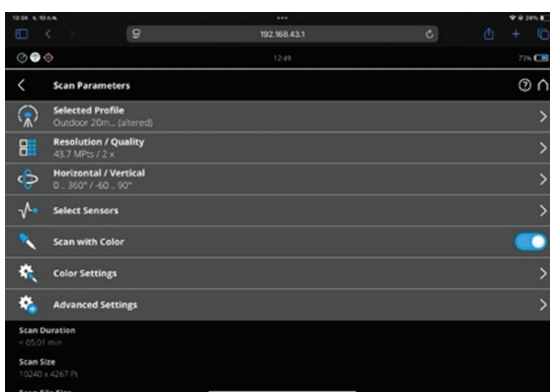
2.2 การเก็บข้อมูลด้วยเทคโนโลยีสแกนสามมิติ การเก็บข้อมูลโบราณสถานด้วยเทคโนโลยีสแกนสามมิติในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่อง Faro Focus M70 ซึ่งเป็นเลเซอร์สแกนเนอร์แบบ Time-of-Flight ที่มีความแม่นยำสูงเหมาะสำหรับงานสำรวจภาคสนามในพื้นที่เปิดโล่ง โดยสามารถสแกนระยะไกลได้ถึง 70 เมตรด้วยความละเอียดระดับมิลลิเมตร โดยกระบวนการสำรวจและประมวลผลข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเตรียมการสแกน การสแกนในภาคสนาม และการประมวลผลข้อมูล

2.2.1 การเตรียมการสแกน ก่อนเริ่มการสแกน ได้ทำการสำรวจเบื้องต้นเพื่อกำหนดตำแหน่งที่จะตั้งเครื่องสแกน Faro Focus M70 โดยพิจารณาจากปัจจัยต่อไปนี้

- 1) มุมมองของพื้นที่ (Line of Sight) ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่เป้าหมาย
- 2) ระยะระหว่างจุดตั้ง (Scan Station) เพื่อให้มีระยะซ้อนทับอย่างน้อย 30 % สำหรับการเชื่อมข้อมูล (Registration)
- 3) พื้นผิวเป้าหมาย ได้แก่ ผนัง เจดีย์ ฐานอิฐ และซากกำแพง ที่สามารถสะท้อนเลเซอร์ได้ดี นอกจากนี้ได้มีการติดตั้ง Target Sphere และ Reference Markers บางจุด เพื่อใช้เป็นจุดควบคุมในการเชื่อมข้อมูลระหว่างหลายสถานีสแกน

2.2.2 การสแกนภาคสนามด้วย Faro Focus M70 ในภาคสนาม มีการตั้งเครื่องสแกนรวมทั้งหมด 10 สถานี เพื่อครอบคลุมพื้นที่รอบโบราณสถานทั้งหมด โดยที่แต่ละสถานีจะทำการสแกน 360 องศา พร้อมเก็บข้อมูลภาพถ่ายจริง (Color Capture) เพื่อสร้าง Point Cloud ที่มีสีสมจริง (RGB Point Cloud) โดยมีรายละเอียดเชิงเทคนิคของการตั้งค่าเครื่องสแกน ดังนี้

- 1) ปรับความละเอียดในระดับกลาง-สูง (1/4 Resolution) เพื่อสมดุลระหว่างเวลาและคุณภาพ
- 2) เลือกกระดับการเก็บข้อมูลสูง Quality 3x เพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลจุด
- 3) เวลาที่ใช้ในการสแกนวัตถุ ประมาณ 6 - 8 นาทีต่อสถานี ขึ้นอยู่กับความละเอียด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 รายละเอียดการตั้งค่าเครื่องสแกน Faro Focus M70

หลังจากสแกนในแต่ละจุดเสร็จแล้ว จะมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลทันที เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลจากแสงแดดจัดหรือเงาวัตถุ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การสแกนภาคสนามด้วยเครื่องสแกน Faro Focus M70

2.2.3 การประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Faro Scene และอื่น ๆ หลังจากเก็บข้อมูลครบถ้วนในภาคสนามแล้ว ได้ทำการถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องสแกนเข้าสู่ซอฟต์แวร์ Faro Scene เพื่อดำเนินการประมวลผล โดยมีขั้นตอนหลัก ดังนี้

- 1) เชื่อมข้อมูลจากแต่ละสถานีให้เป็น Point Cloud เดียวกัน โดยใช้ทั้งวิธีการจับคู่จุด (Target-based) และการจับคู่อัตโนมัติ (Cloud-to-Cloud)
 - 2) ตัดข้อมูลส่วนเกิน เช่น ต้นไม้ เสาคน หรือจุดรบกวนในอากาศ (Noise) ออกจากข้อมูลหลัก
 - 3) แปลง Point Cloud เป็นผิวตาข่าย (Mesh) หากต้องการใช้งานด้านการนำเสนอ หรือสร้างโมเดล 3D เพื่อเปรียบเทียบกับแบบร่าง 2D ที่ได้จาก AutoCAD
 - 4) ส่งออกข้อมูลในรูปแบบ .e57 หรือ .las สำหรับการใช้ในซอฟต์แวร์ Autodesk ReCap Pro
- การประมวลผลทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 2 - 3 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลและระดับรายละเอียดของ Point Cloud ที่เก็บมา ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การประมวลผลข้อมูลด้วย Autodesk Recap

3. การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์

หลังจากดำเนินการเก็บข้อมูลโบราณสถานวัดเซตวัน (กาเผือก) ด้วยทั้งวิธีการสำรวจแบบดั้งเดิมและเทคโนโลยีสแกนสามมิติ Faro Focus M70 แล้ว ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพตามหัวข้อต่อไปนี้

3.1 วิธีการวัดผลและเปรียบเทียบผลลัพธ์ เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเก็บข้อมูลโบราณสถานระหว่างเทคโนโลยีสแกนสามมิติและวิธีการสำรวจแบบดั้งเดิม งานวิจัยนี้กำหนดตัวชี้วัด 5 ด้านหลัก โดยใช้เกณฑ์การวัดผลที่สามารถเปรียบเทียบได้ในเชิงปริมาณและคุณภาพ ดังนี้

3.1.1 ความละเอียดของข้อมูล วัดโดยการประมวลผลข้อมูลจุด (Point Cloud) จากทั้งสองวิธี และคำนวณ จำนวนจุดที่ได้ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในพื้นที่เดียวกัน (Sampling Area) โดยใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูล Autodesk ReCap Pro เพื่อหาค่าความหนาแน่นของข้อมูลในระดับพื้นผิว รายละเอียดนี้จะสะท้อนถึงความสามารถในการจับรายละเอียดทางเรขาคณิตของโบราณสถาน

3.1.2 ความแม่นยำเชิงมิติ (เมื่อเทียบกับการตรวจสอบจุดจริงภาคสนาม) เลือกจุดควบคุม (Control Points) ที่สามารถเข้าถึงได้ทั้งสองวิธี และทำการวัดซ้ำโดยใช้วิธีแมนนวล เช่น การวัดระยะด้วยสายวัดเลเซอร์ (Laser Distance Meter) หรือ Total Station แล้วเปรียบเทียบผลจากแต่ละวิธีโดยคำนวณค่าคลาดเคลื่อน (Error) หรือความเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Mean Absolute Deviation) จากค่าจริง

3.1.3 ระยะเวลาในการทำงาน (ทั้งภาคสนามและประมวลผล) ทำการจับเวลาในแต่ละขั้นตอนของการเก็บข้อมูลและการประมวลผล ทั้งในภาคสนามและในสำนักงาน โดยแยกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

- 1) เวลาในการเตรียมอุปกรณ์และเก็บข้อมูลในสถานที่จริง
- 2) เวลาในการประมวลผลข้อมูลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่พร้อมใช้งานในรูปแบบ 2 มิติ หรือโมเดล 3 มิติ การวัดนี้จะช่วยเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเวลาและการบริหารทรัพยากร

3.1.4 ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงพื้นที่ ประเมินโดยการบันทึกจำนวนหรือสัดส่วนของพื้นที่ที่แต่ละวิธีไม่สามารถเข้าถึงหรือวัดได้ เช่น มุมอับ พื้นที่สูง พื้นที่เปราะบางที่ไม่สามารถสัมผัสได้ ฯลฯ พร้อมบันทึกวิธีที่ใช้แก้ไขหรือหลีกเลี่ยงข้อจำกัดนั้น ๆ เช่น การใช้กล้องหมอนงศา หรือการขยับตำแหน่งอุปกรณ์ การประเมินจะจัดอยู่ในรูปแบบเชิงคุณภาพและรายงานประกอบด้วยภาพถ่าย

3.1.5 ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในงานอนุรักษ์/วิจัย/จำลอง ประเมินจากคุณลักษณะของผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแต่ละวิธี ว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ได้หรือไม่ เช่น

- 1) การนำไปสร้างโมเดล 3 มิติ
- 2) การนำเข้าในซอฟต์แวร์วิเคราะห์โครงสร้าง
- 3) การนำเสนอแบบเสมือนจริง (AR/VR)
- 4) ความสะดวกในการแบ่งปันหรือจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลระยะยาว

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ของการเก็บข้อมูลโบราณสถานวัดเขตวัน (กาเผือก) ด้วยสองวิธี คือ การสำรวจแบบดั้งเดิม (ใช้กล้อง Total Station และการวัดด้วยแรงคน) และการใช้เทคโนโลยีสแกนสามมิติด้วยเครื่อง Faro Focus M70 โดยพิจารณาในประเด็นหลัก 5 ด้าน ได้แก่ ความละเอียดของข้อมูล ความแม่นยำเชิงมิติ ระยะเวลาในการทำงาน ข้อจำกัดในการเข้าถึงพื้นที่ และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ต่อยอดในด้านต่าง ๆ

1. ความละเอียดของข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่เดียวกัน พบว่าเทคโนโลยี 3D Laser Scanning สามารถเก็บข้อมูลได้ที่มีความละเอียดประมาณ 2,000 - 5,000 จุดต่อตารางเมตร ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเครื่องสแกนและการตั้งค่าคุณภาพ ในขณะที่การสำรวจแบบดั้งเดิมที่ใช้กล้อง Total Station ให้ข้อมูลในลักษณะ “จุดหลัก” คือ ฐานเจดีย์ที่มีความห่างกันมาก โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1 - 3 จุดต่อตารางเมตร จึงกล่าวได้ว่า 3D Scanning มีความสามารถในการจับรายละเอียดพื้นผิวและลักษณะทางเรขาคณิตของโบราณสถานได้ดีกว่าอย่างชัดเจน

2. ความแม่นยำเชิงมิติ (เมื่อเทียบกับการตรวจสอบจุดจริงภาคสนาม)

ได้มีการสุ่มตรวจสอบค่าพิกัดจากจุดควบคุม 10 จุดในภาคสนาม โดยใช้การวัดซ้ำด้วยอุปกรณ์ตรวจสอบมาตรฐานพบว่า ข้อมูลจากกล้อง Total Station มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ ± 3 มิลลิเมตร และข้อมูลจาก Faro Focus M70 มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ± 2 ถึง ± 5 มิลลิเมตร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น เงา การสะท้อนแสง และพื้นผิวเป้าหมาย แม้ว่าทั้งสองวิธีจะมีความแม่นยำในระดับใกล้เคียงกัน แต่ 3D Scanning มีข้อได้เปรียบที่สามารถตรวจสอบหรือวัดซ้ำในภายหลังจากข้อมูล Point Cloud โดยไม่ต้องกลับไปภาคสนาม

3. ระยะเวลาในการทำงาน (ทั้งภาคสนามและประมวลผล)

เมื่อเทียบระยะเวลาโดยรวมของกระบวนการทั้งภาคสนามและการประมวลผล พบว่าการสำรวจแบบดั้งเดิมใช้เวลาภาคสนามประมาณ 3 วัน และใช้เวลาในการประมวลผล (ร่างแบบ 2 มิติใน AutoCAD) อีก 1 วัน ในส่วนของการใช้ 3D Laser Scanning ใช้เวลาภาคสนามเพียง 1 วัน และใช้เวลาประมวลผลข้อมูล Point Cloud และสร้าง 3D Model ประมาณ 3 วัน ถึงแม้การประมวลผลของ 3D Scanning จะใช้เวลานานกว่า แต่สามารถดำเนินการในสำนักงานได้อย่างสะดวก ลดความจำเป็นในการลงพื้นที่ซ้ำ และลดความเสี่ยงต่อโบราณสถานจากการปฏิบัติงานภาคสนาม

4. ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงพื้นที่

วิธีดั้งเดิมพบข้อจำกัดในการวัดพื้นที่ที่เข้าถึงยาก เช่น พื้นที่ด้านหลังเจดีย์ ผนังที่พังทลาย หรือมุมอับสายตา ซึ่งทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลในจุดเหล่านั้นได้อย่างครบถ้วน ในทางกลับกัน Faro Focus M70 สามารถตั้งเครื่องในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อสแกนพื้นที่รอบด้านโดยไม่ต้องสัมผัสหรือเข้าไปใกล้วัตถุที่เปราะบาง ทำให้สามารถเก็บข้อมูลจากพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในงานอนุรักษ์/วิจัย/จำลอง

จากผลการศึกษาดังตารางที่ 1 (Comparison Table) พบว่าข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทั้งสองวิธีมีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกัน การสำรวจแบบดั้งเดิมมีข้อดีในด้านความคุ้นเคยของผู้ปฏิบัติงานและความแม่นยำเชิงจุด แต่มีข้อจำกัดในการสร้างข้อมูลที่ครบถ้วนต่อการใช้งานขั้นสูง ในขณะที่การใช้เทคโนโลยี 3D Laser Scanning Faro Focus M70 สามารถตอบโจทย์การใช้งานได้กว้างขวางกว่า โดยเฉพาะในด้านการอนุรักษ์เชิงดิจิทัล การวิจัยต่อยอด และการจำลองทางวิศวกรรม

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการศึกษา

หัวข้อ	การสำรวจแบบดั้งเดิม	3D Laser Scanning (Faro Focus M70)
ความละเอียดของข้อมูล	1 - 3 จุด/ตร.ม. (เฉพาะจุดหลัก)	2,000 - 5,000 จุด/ตร.ม. ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด
ความแม่นยำเชิงมิติ	±3 มม. (จากจุดตรวจสอบ 10 จุด)	±2 - 5 มม. (ขึ้นกับผิวและระยะยิงเลเซอร์)
ระยะเวลาในการทำงาน	ภาคสนาม 3 วัน, ประมวลผล 1 วัน	ภาคสนาม 1 วัน, ประมวลผล 3 วัน
ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงพื้นที่	เข้าถึงลำบากในมุมอับหรือพื้นที่แคบ	เข้าถึงพื้นที่ซับซ้อนโดยไม่ต้องสัมผัสโครงสร้าง
ความเหมาะสมต่อการใช้งานต่อยอด	เหมาะกับงานร่างแบบ 2D พื้นฐาน	เหมาะกับการสร้าง 3D Model, วิเคราะห์/จำลองโครงสร้าง

เมื่อพิจารณาในแง่ของการต่อยอดเพื่อการอนุรักษ์และการวิจัยระยะยาว การใช้เทคโนโลยี 3D Laser Scanning มีศักยภาพสูงกว่าวิธีดั้งเดิม เนื่องจากสามารถสร้างแบบจำลองที่สมบูรณ์ ครอบคลุม และนำไปใช้งานในรูปแบบหลากหลาย ตั้งแต่การอนุรักษ์เชิงดิจิทัล การบูรณะเชิงวิศวกรรม ไปจนถึงการสร้างสื่อการเรียนรู้เสมือนจริง อย่างไรก็ตาม วิธีการสำรวจดั้งเดิมยังคงมีคุณค่าในฐานะวิธีที่ต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และสามารถใช้ร่วมกับเทคโนโลยีใหม่เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความเชื่อมั่นของข้อมูลได้ดีที่สุด การบูรณาการทั้งสองวิธีจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดต่อการจัดเก็บและอนุรักษ์โบราณสถานอย่างยั่งยืน

6. การวิเคราะห์และการตีความข้อมูลจากเครื่องสแกนสามมิติ

นอกเหนือจากการเปรียบเทียบเชิงปริมาณระหว่างความละเอียด ความแม่นยำ ระยะเวลา และข้อจำกัดการเข้าถึงแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยใช้ข้อมูลจากเครื่องสแกนสามมิติ Faro Focus M70 ซึ่งให้ข้อมูล Point Cloud ความละเอียดสูงที่สามารถนำไปสร้างผลลัพธ์เชิงวิเคราะห์เพิ่มเติม ได้แก่

6.1 โมเดลพื้นผิว (Surface Model) ข้อมูล Point Cloud ถูกนำไปสร้างโมเดล Mesh เพื่อวิเคราะห์สภาพผิวขององค์ประกอบโบราณสถาน เช่น ผนังเจดีย์และวิหาร พบว่าสามารถตรวจสอบร่องรอยความเสียหายที่ไม่สามารถระบุได้จากการสำรวจแบบดั้งเดิม เช่น รอยแตกเล็ก ๆ การบิ่นร่วน และความไม่ต่อเนื่องของแนวอิฐ

6.2 การวิเคราะห์ความโค้ง (Curvature Analysis) การประมวลผล Point Cloud ด้วยซอฟต์แวร์ Faro Scene และ Autodesk ReCap สามารถคำนวณค่าความโค้งของพื้นผิวเจดีย์และวิหารได้อย่างละเอียด ผลลัพธ์แสดงให้เห็นการบิดเบี้ยวเล็กน้อยในแนวแกนของเจดีย์ ซึ่งไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยวิธีการวัดแบบจุดจากกล้อง Total Station

6.3 การประเมินการทรุดตัวของผิว (Surface Deformation) โดยการเปรียบเทียบตำแหน่งจุดควบคุมและค่าพิกัดที่ได้จาก Point Cloud พบว่าพื้นผิวด้านทิศตะวันตกของเจดีย์มีแนวโน้มการทรุดตัวเฉลี่ย 2 - 3 ซม. เมื่อเทียบกับแนวแกนตั้งฉาก ซึ่งให้ข้อมูลสำคัญสำหรับการประเมินความมั่นคงเชิงโครงสร้าง ข้อมูลเชิงลึกนี้ไม่สามารถได้จากการวัดระยะเชิงเส้นแบบดั้งเดิม

6.4 การคำนวณปริมาตร (Volume Estimation) ข้อมูล 3D Model สามารถใช้คำนวณปริมาตรของซากเจดีย์และฐานวิหาร ซึ่งให้ผลต่างกับการคำนวณจากการวัดแบบดั้งเดิมราว 8 - 12 % เนื่องจากวิธีการดั้งเดิมไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ที่มีความซับซ้อนและร่องรอยการพังทลายได้ทั้งหมด

6.5 การตีความ (Interpretation) ผลการวิเคราะห์เชิงลึกจากข้อมูลสแกนสามมิติช่วยให้เห็นถึงคุณค่าที่เหนือกว่าของเทคโนโลยีนี้ในเชิงการอนุรักษ์ โดยเฉพาะการตรวจจับความผิดปกติที่ตาเปล่ามองไม่เห็นหรือการวัดแบบดั้งเดิมไม่สามารถเก็บได้ การนำผลเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจแบบดั้งเดิมจึงช่วยให้การประเมินเชิงคุณภาพของโบราณสถานมีมิติที่ลึกยิ่งขึ้น ทั้งในด้านโครงสร้าง สภาพการทรุดตัว และศักยภาพในการใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการฟื้นฟูเชิงวิศวกรรมในอนาคต

ดังนั้น การผนวกผลการวิเคราะห์เชิงลึกจาก 3D Scanning เข้ากับผลการสำรวจแบบดั้งเดิม ไม่เพียงเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับข้อสรุปของงานวิจัย แต่ยังตอกย้ำบทบาทของเทคโนโลยีสแกนสามมิติในฐานะเครื่องมือหลักของการอนุรักษ์โบราณสถานยุคดิจิทัล

สรุปผลและการอภิปรายผล

1. สรุปผล (Conclusion)

การศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการเก็บข้อมูลโบราณสถานระหว่างวิธีการสำรวจแบบดั้งเดิมและเทคโนโลยีสแกนสามมิติ โดยมีวัดเชตุวัน (กาเผือก) จังหวัดพะเยา เป็นกรณีศึกษา ทั้งนี้การเก็บข้อมูลได้ดำเนินการในสภาพพื้นที่จริง โดยใช้กล้อง Total Station และการวัดด้วยแรงคนในกระบวนการแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ Faro Focus M70 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี Time-of-Flight สำหรับสร้างชุดข้อมูล Point Cloud

ผลการเปรียบเทียบพบว่า เทคโนโลยีสแกนสามมิติมีความสามารถในการเก็บข้อมูลที่มีความละเอียดสูงมากกว่า 2,000 จุดต่อตารางเมตร และครอบคลุมลักษณะเชิงเรขาคณิตของวัตถุในทุกมิติ ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติที่สมจริงและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานต่อได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นงานอนุรักษ์ การศึกษาทางวิศวกรรม หรือการจำลองในระบบดิจิทัล ในขณะที่วิธีการสำรวจแบบดั้งเดิมสามารถให้ข้อมูลจุดควบคุมที่มีความแม่นยำสูงในระดับจุด แต่ขาดความต่อเนื่องของรายละเอียดและต้องอาศัยการอนุมานรูปทรงในขั้นตอนการวาดแบบด้วยแรงงานของผู้ปฏิบัติงาน

นอกจากนี้ เทคโนโลยีสแกนสามมิตียังใช้เวลาในภาคสนามน้อยกว่า และสามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องสัมผัสโครงสร้างจริง ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับโบราณสถานที่มีสภาพเปราะบางหรืออยู่ในสภาพทรุดโทรม ขณะที่การสำรวจแบบดั้งเดิมแม้จะใช้เครื่องมือที่คุ้นเคยและมีต้นทุนต่ำกว่า แต่มีข้อจำกัดด้านการเข้าถึงและต้องอาศัยความชำนาญเฉพาะบุคคลอย่างมาก

2. อภิปรายผล (Discussion)

ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนผ่านจากกระบวนการสำรวจเชิงกลแบบเดิมไปสู่การใช้เทคโนโลยีเชิงดิจิทัลในงานอนุรักษ์โบราณสถาน ซึ่งเป็นการสะท้อนทิศทางของวงวิชาชีพทั้งด้านโบราณคดี วิศวกรรม และสถาปัตยกรรมที่กำลังปรับตัวเข้าสู่ยุคดิจิทัลมากขึ้น

ในมุมมองของความละเอียดและความครบถ้วนของข้อมูล เทคโนโลยีสแกนสามมิติสามารถเก็บข้อมูลจุดในลักษณะ Surface Sampling ได้อย่างต่อเนื่องทั่วทุกด้านของวัตถุ ซึ่งเป็นจุดเด่นที่วิธีการสำรวจแบบดั้งเดิมไม่สามารถเทียบได้ เนื่องจากวิธีดั้งเดิมจำกัดอยู่ที่การเก็บเพียงจุดสำคัญ หรือแนวเส้นของโครงสร้าง โดยผลลัพธ์ของการวัดยังขึ้นอยู่กับทักษะการอนุมานของผู้วาดแบบ จึงมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนในเชิงภาพรวมของโมเดลสูงกว่า (Rocha et al., 2020)

ในด้านความแม่นยำเชิงมิติ แม้จะพบว่าทั้งสองวิธีให้ความแม่นยำในระดับมิลลิเมตร ซึ่งถือว่าเหมาะสมกับการใช้งานทางด้านอนุรักษ์และการวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง แต่ความสามารถของ 3D Scanning ในการจัดเก็บข้อมูลเชิงปริมาตร (Volumetric Data) และการวัดซ้ำจากจุดเดิมผ่าน Point Cloud ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการตรวจสอบย้อนกลับได้ดีกว่า (Morita and Bilmes, 2018)

ด้านระยะเวลาในการปฏิบัติงาน การใช้ 3D Scanning ช่วยลดเวลาการทำงานภาคสนามลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกรณีของโบราณสถานที่ยากเข้าถึง หรือมีสภาพภูมิประเทศที่ขรุขระ ในขณะที่เวลาในการประมวลผล

แม้จะนานกว่า แต่สามารถทำได้ในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้และไม่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศหรือแสงธรรมชาติเหมือนการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ในประเด็นของข้อจำกัดด้านพื้นที่ Faro Focus M70 แสดงศักยภาพที่โดดเด่นในการเข้าถึงและสแกนพื้นที่ที่มีความซับซ้อนหรือมีความเสี่ยงสูง เช่น ซากเจดีย์แตกหัก ซอกมุมของแนวกำแพง หรือพื้นที่ที่ไม่สามารถวางปริมิเตอร์หรือเข้าวัดโดยตรงได้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของเทคโนโลยีนี้ต่อการอนุรักษ์เชิงไม่รุกราน (Non-Invasive Conservation)

เมื่อพิจารณาในภาพรวมของการนำข้อมูลไปใช้ต่อยอด การสำรวจแบบดั้งเดิมเหมาะสำหรับงานร่างแบบเบื้องต้น และงานที่ไม่ต้องการระดับความละเอียดสูง ในขณะที่ข้อมูลจาก 3D Scanning มีศักยภาพต่อการนำไปใช้งานด้านการจำลอง (Simulation) การจัดแสดงเสมือน (Virtual Exhibition) หรือการบูรณะเชิงดิจิทัล (Digital Restoration) ได้ในระยะยาว (D'amico and Curra, 2017)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนับสนุนแนวคิดการบูรณาการระหว่างสองวิธี ซึ่งเป็นแนวทางที่ผสมผสานข้อดีของแต่ละเทคนิคเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะการใช้ Total Station สำหรับควบคุมค่าพิกัดร่วมกับ Point Cloud จาก 3D Scanner เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ครบถ้วนทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ อันจะส่งผลให้การเก็บข้อมูลโบราณสถานมีความถูกต้อง ครบถ้วน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายในอนาคต

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 การบูรณาการทั้งสองวิธี

ควรมีการใช้วิธีสำรวจแบบดั้งเดิมร่วมกับ 3D Scanning โดยเฉพาะการนำค่าพิกัดจาก Total Station มาใช้เป็นจุดควบคุมสำหรับ Point Cloud เพื่อเพิ่มความแม่นยำเชิงตำแหน่งของแบบจำลอง 3 มิติ

3.2 การพัฒนาทักษะบุคลากร

ควรจัดอบรมและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสแกนสามมิติในหน่วยงานด้านโบราณคดีและอนุรักษ์ เพื่อให้สามารถประมวลผลและนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3 การจัดทำแนวทางมาตรฐานการสำรวจโบราณสถาน

ภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรจัดทำคู่มือหรือมาตรฐานกลางสำหรับการสำรวจและเก็บข้อมูลโบราณสถานในยุคดิจิทัล เพื่อให้การดำเนินงานในภาคราชการและวิชาการมีความสอดคล้องและเทียบเคียงกันได้

3.4 การเก็บข้อมูลเชิงอนุรักษ์เชิงรุก

ควรมีการเก็บข้อมูลโบราณสถานในพื้นที่เสี่ยงหรือที่ยังไม่ได้รับการบูรณะโดยเร็ว โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติหรือการพัฒนาเมือง เพื่อให้สามารถอนุรักษ์ข้อมูลได้แม้โครงสร้างจริงจะเสื่อมหายไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่จากกรมศิลปากร สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ นางสาวนงไฉน ทะรักษา ตำแหน่งนักโบราณคดีชำนาญงาน ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการลงพื้นที่เพื่อทำการเก็บข้อมูล เอื้อเฟื้อข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยในครั้งนี้

References

Alshawabkeh, Y., Baik, A. and Miky, Y. (2021). Integration of Laser Scanner and Photogrammetry for Heritage BIM Enhancement. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/ijgi10050316>

- Alshawabkeh, Y. and Baik, A. (2023). Integration of Photogrammetry and Laser Scanning for Enhancing Scan-to-HBIM Modeling of Al Ula Heritage Site. *Heritage Science*, 11. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00997-2>
- An, Z. and Froese, R.E. (2023). Tree Stem Volume Estimation from Terrestrial LiDAR Point Cloud by Unwrapping. *Canadian Journal of Forest Research*, 53(2), 60-70. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2022-0153>
- Bouziani, M., Chaaba, H. and Ettarid, M. (2021). Evaluation of 3D Building Model using Terrestrial Laser Scanning and Drone Photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39-42. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W4-2021-39-2021>
- D'amico, A. and Currà, E. (2017). From TSL Survey to HBIM, Issues on Survey and Information Modeling Implementation for the Built Heritage the Case Study of the Temple Di Bacco Ravello. *Proc Int Conf Educ Res Comput Aided Archit Des Eur*, (Vol. 2, pp. 39-48). <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2017.2.039>
- Klapa, P. and Gawronek, P. (2023). Synergy of Geospatial Data from TLS and UAV for Heritage Building Information Modeling (HBIM). *Remote Sensing*, 15(1), 128. <https://doi.org/10.3390/rs15010128>
- López, F.J., Lerones, P.M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J. and Zalama, E. (2018). A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(2). <https://doi.org/10.3390/mti2020021>
- Martínez-Carricondo, P., Carvajal-Ramírez, F., Yero-Paneque, L. and Agüera-Vega, F. (2021). Combination of HBIM and UAV Photogrammetry for Modelling and Documentation of Forgotten Heritage. Case Study: Isabel II dam in Nijar (Almería, Spain). *Heritage Science*, 9. <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00571-8>
- Morita, M. and Bilmes, G. (2018). Applications of Low-Cost 3D Imaging Techniques for the Documentation of Heritage Objects. *Optica Pura Aplicada*, 51, 1-11. <https://doi.org/10.7149/OPA.51.2.50026>
- Rocha, G., Mateus, L., Fernández, J. and Ferreira, V. (2020). A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. *Heritage*, 3(1), 47-67. <https://doi.org/10.3390/heritage3010004>
- Tini, M.A., Forte, A., Girelli, V.A., Lambertini, A., Roggio, D.S., Bitelli, G. and Vittuari, L. (2024). Scan-to-HBIM-to-VR: An Integrated Approach for the Documentation of an Industrial Archaeology Building. *Remote Sensing*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/rs16152859>
- Tysiac, P., Sieńska, A., Tarnowska, M., Kędzierski, P. and Jagoda, M. (2023). Combination of Terrestrial Laser Scanning and UAV Photogrammetry for 3D Modelling and Degradation Assessment of Heritage Building Based on a Lighting Analysis: Case Study—St. Adalbert Church in Gdansk, Poland. *Heritage Science*, 11. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00897-5>