การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติที่สร้างโดยข้อมูลจุดเมฆ
Testing the accuracy of building structure 3D Model from Point Clouds Data

พีรภพ โพธิ์พงษ์[1,*] รุ่งโรจน์ จักภิระ[1]

[1] สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.ตาก
**Corresponding author; E-mail address: Perapop_p@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมได้รับความนิยมมากขึ้นโดยเฉพาะการใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายภาพเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ สำหรับงานทางด้านโครงสร้างแบบจำลองสามมิติสามารถนำมาใช้ในการประมาณราคาก่อสร้าง การวิเคราะห์สเถียรภาพของโครงสร้าง การแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงแบบโครงสร้างเป็นต้น ซึ่งต้องอาศัยแบบจำลองที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับสิ่งปลูกสร้างจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างสามมิติที่สร้างขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจุดเมฆที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยกำหนดลักษณะของโครงสร้างอาคาร 2 รูปแบบคือ โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างโบราณสถาน โดยกำหนดให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางดิ่งของภาพถ่ายไม่เกิน 6 เซนติเมตร และทำการสร้างรูปโครงสร้างตามลักษณะของจุดเมฆที่ปรากฏ จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างสามมิติโดยการเปรียบเทียบกับขนาดของโครงสร้างจริง ผลการทดสอบแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งเท่ากับ 2.5 เซนติเมตรและโครงสร้างโบราณสถานพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งเท่ากับ 1.8 เซนติเมตรและ 2.4 เซนติเมตรตามลำดับ

คำสำคัญ: การสำรวจด้วยภาพถ่าย, อากาศยานไร้คนขับ, จุดเมฆ, แบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ

Abstract

Nowadays, the use of unmanned aerial vehicles in engineering is more popular, especially the use of unmanned aerial vehicles to take pictures to create 3D models. For structural work, 3D models can be used to estimate construction costs. Structural Stability Analysis Editing or changing the structure, for example, necessitates an accurate and close-to-reality model. Therefore, this research was to test the validity of the building structure 3D Model generated by the point clouds data obtained from unmanned aerial vehicle image data processing. By specifying the characteristics of the building structure in two forms are ancient structures and reinforced concrete building structures, and require that the photographs' horizontal and vertical positional accuracy be no more than 3 cm, and draw the structure based on the size of the image spots. The accuracy of the building structure 3D Model was then verified by comparing the dimensions of the actual structure. The result of testing the model of the ancient structure found that there was a discrepancy between the horizontal and vertical dimensions, which were 1.8 cm and 2.4 cm, respectively. As for the test results of the reinforced concrete structure model, the mean horizontal and vertical deviations were 2.5 centimeters.

Keywords: Photogrammetry, UAV, Point Clouds, building structure 3D Model

1. บทนำ

แบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติเป็นการเขียนรูปโครงสร้างของอาคารที่แสดงในระบบพิกัดสามแกนทำให้เข้าใจลักษณะของโครงสร้างของอาคารมากขึ้น แบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติสามารถนำมาใช้ในการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling) การวางแผนงานก่อสร้าง การประมาณราคาก่อสร้าง การตรวจสอบและวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารเป็นต้น [1]–[5] โดยสามารถสร้างแบบจำลองได้จากข้อมูลแบบแปลนอาคาร ในกรณีที่แบบแปลนอาคารสูญหายหรือไม่ได้ทำการเขียนแบบแปลนไว้สามารถนำเครื่องเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์เก็บข้อมูลโครงสร้างของอาคารเพื่อสร้างเป็นจุดเมฆ (Point Clouds) และสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติตามจุดเมฆที่ปรากฏ [6]–[10] แต่ข้อเสียของเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์คือมีราคาที่สูงทำให้บางหน่วยงานไม่มีงบประมาณที่เพียงพอสำหรับการจัดซื้อหรือจัดจ้าง เพื่อแก้ปัญหาด้านงบประมาณ การนำอากาศยานไร้คนขับบินถ่ายภาพโครงสร้างอาคารแล้วนำมาภาพถ่ายมาประมวลผลเพื่อสร้างเป็นเป็นจุดเมฆเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาทดแทนเครื่องเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ได้

ปัจจุบันได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในงานวิศวกรรมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับมีต้นทุนที่ต่ำและใช้แรงงานคนที่ไม่มาก อีกทั้งยังสามารถทำการเก็บข้อมูลพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายภาพเพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศหรือสร้างแบบจำลองแผนที่สามมิติสำหรับงานผังเมือง นอกจากนี้ยังมีการใช้อากาศยานไร้คนขับในการบินถ่ายภาพอาคารสิ่งปลูกสร้างและโบราณสถานเพื่อจัดทำเป็นข้อมูลสามมิติสำหรับการอนุรักษ์สิ่งปลูกสร้างและการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร [11]- [16] อย่างไรก็ตามการนำจุดเมฆที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมาช่วยในการสร้างเป็นแบบจำลองโครงสร้างสามมิติยังไม่ทราบความถูกต้องของแบบจำลองที่แน่ชัดจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสามมิติการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติที่สร้างโดยข้อมูลจุดเมฆ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับบินถ่ายภาพอาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและโบราณสถานที่เป็นอิฐเรียง

จากนั้นทำการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อให้ได้ข้อมูลของจุดเมฆ แล้วจึงสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติตามขนาดของโครงสร้างที่ปรากฏตามจุดเมฆ จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติโดยวัดจากขนาดของโครงสร้างอาคารสิ่งปลูกสร้างจริงเพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติจากข้อมูลของจุดเมฆที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างสามมิติที่สร้างจากข้อมูลจุดเมฆ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบการบินถ่ายภาพ

รูปแบบการบินถ่ายภาพสำหรับการเก็บข้อมูลโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างมีผลต่อการสร้างจุดเมฆเพราะว่าถ้าส่วนใดของสิ่งปลูกสร้างไม่ปรากฏบนภาพถ่ายจะทำให้จุดเมฆบริเวณนั้นหายไปซึ่งจะส่งผลต่อการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสามมิติได้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ซอร์ฟแวร์ที่มีชื่อว่า Pix4D Capture ช่วยในการบินถ่ายภาพโดยจะใช้การบิน 2 รูปแบบคือการบินแบบสองตาราง (Double Grid) เป็นการบินถ่ายภาพแนวดิ่งใช้มุมกล้อง 90 องศาเพื่อบินถ่ายภาพด้านบนและประมวลผลหาความสูงของสิ่งปลูกสร้างและการบินแบบวงกลม (Circular) โดยจะบินถ่ายภาพวนรอบวัตถุและใช้มุมกล้องเฉียงเพื่อให้สามารถถ่ายภาพบริเวณด้านข้างของสิ่งปลูกสร้างดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การบินแบบสองตารางและการบินแบบวงกลม

2.2 การวางแผนบินถ่ายภาพ

การวางแผนบินถ่ายภาพเป็นการคำนวนค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับการบินถ่ายภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการคำนวนหาค่าความสูงบิน, ระยะครอบคลุมของภาพที่ปรากฏบนพื้นดิน และระยะห่างจุดเปิดถ่ายภาพ [17] โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ความสูงบิน

ความสูงบิน (Flying Height) เป็นค่าความสูงที่ใช้บินถ่ายภาพโดยมีระยะห่างระหว่างจุดปล่อยอากาศยานไร้คนขับถึงจุดเปิดถ่ายภาพ โดยความสูงบินจะแปลผันตามค่าระยะห่างของจุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sampling Distance) ดังสมการที่ 1 ซึ่ง

$$H = \frac{GSD \times f \times IW}{SW \times 100} \quad (1)$$

โดยที่ H หมายถึงความสูงที่ใช้บินถ่ายภาพ, GSD หมายถึงขนาดของจุดภาพบนพื้นดิน, f หมายถึงความยาวโฟกัส, IW หมายถึงจำนวนจุดภาพด้านกว้าง, SW หมายถึงระยะด้านกว้างของเซนเซอร์

2.2.2 ระยะครอบคลุมของภาพที่ปรากฏบนพื้นดิน

ระยะครอบคลุมของภาพที่ปรากฏบนพื้นดินหมายถึงขนาดของภาพถ่ายที่ครอบคลุมพื้นดินหรือเนื้อที่ของวัตถุบริเวณที่ถ่ายภาพ จำเป็นต้องทราบค่ามาตราส่วนของภาพถ่ายก่อนจึงสามารถคำนวณหาระยะครอบคลุมของภาพที่ปรากฏบนพื้นดินได้ ดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3

$$m = \frac{H}{f} \quad (2)$$

โดยที่ m หมายถึงมาตราส่วนของภาพถ่าย, H หมายถึงความสูงที่ใช้บินถ่ายภาพ, f หมายถึงความยาวโฟกัสของภาพ

$$G = s \times m \quad (3)$$

โดยที่ G หมายถึงระยะทางครอบคลุมของภาพที่ปรากฏบนพื้นดิน, s หมายถึงขนาดภาพถ่าย, m หมายถึงมาตราส่วนของภาพถ่าย

2.2.3 ระยะห่างจุดเปิดถ่ายภาพ

จุดเปิดถ่ายภาพหมายถึงตำแหน่งที่ทำการกดชัตเตอร์เพื่อถ่ายภาพ ซึ่งจำเป็นต้องรักษาระยะห่างระหว่างจุดเปิดถ่ายแต่ละจุดให้มีระยะห่างที่เท่ากัน เพื่อให้ภาพถ่ายมีส่วนซ้อนตามแนวบิน (Overlap) และส่วนเกย (Sidelab) ตามที่วางแผนไว้ ดังสมการที่ 4 และสมการที่ 5 ซึ่งส่วนซ้อนหมายถึงระยะที่ซ้อนกันของภาพถ่ายแต่ละภาพที่ซ้อนกันตามแนวบินและส่วนเกยหมายถึงระยะที่ซ้อนกันของภาพถ่ายแต่ละภาพที่ซ้อนกันระหว่างแนวบินโดยจะกำหนดส่วนซ้อนและส่วยเกยเป็นร้อยละที่ซ้อนกันของภาพถ่าย

$$B = \frac{(100\text{-}\%Overlap)}{100} \times G \quad (4)$$

$$w = \frac{(100\text{-}\%Sidelap)}{100} \times G \quad (5)$$

โดยที่ B หมายถึงพื้นที่ซึ่งถ่ายภาพไม่ซ้ำในส่วนซ้อน, w หมายถึงพื้นที่ซึ่งถ่ายภาพไม่ซ้ำในส่วนเกย, $\%Overlap$ หมายถึงร้อยละพื้นที่ส่วนซ้อน, $\%Sidelap$ หมายถึงร้อยละพื้นที่ส่วนเกย, G หมายถึงพื้นที่ครอบคลุมภาพถ่าย

2.3 มาตราฐานภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

มาตรฐานภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเป็นมาตราฐานที่ได้จากการประมวลผลและปรับแก้ภาพถ่ายโดยใช้มาตราฐานกาสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศกรรม จัดทำโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ [18] ตรวจสอบความถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) จากค่าความคาดเคลื่อนของจุดภาพ (Pixel Error) ที่ต้องน้อยกว่า 1 พิกเซล และจุดตรวจสอบ (Check Point) กำหนดให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 6 และกำหนดให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่งที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ในพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปกคลุมพื้นผิวภูมิประเทศ ดังสมการที่ 7

$$X_r \leq 2.40 \times RMSE_r \quad (6)$$

$$X_z \leq 1.96 \times RMSE_z \quad (7)$$

โดยที่ X_r หมายถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ต้องการ, X_z หมายถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่งที่ต้องการ, $RMSE_r$ หมายถึงรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางราบ, $RMSE_z$ หมายถึงรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางดิ่ง

2.4 แบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ

โครงสร้างอาคารหมายถึงส่วนที่ทำหน้าที่รับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากการใช้งานของอาคารหรือแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้แก่ ได้แก่ฐานราก เสา คาน พื้น บันได และโครงหลังคา เป็นต้นวัสดุที่ใช้สร้างต้องมีความแข็งแรง เช่น ไม้เหล็ก คอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) และคอนกรีตอัดแรง (คอร.) โดยทั่วไปมักใช้งานร่วมกัน [19] ดังนั้นแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติคือการจำลองโครงสร้างของเสา คาน พื้น บันไดและโครงสร้างหลังคา โดยใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์เป็นเครื่องมือในการจัดทำโครงสร้างอาคารให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ดิจิทัล ทำให้ทราบรายละเอียดของโครงสร้างอาคารได้ชัดเจนยิ่งขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้าง ตรวจสอบความถูกต้องของโครงสร้าง การประมาณราคาก่อสร้าง และการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง เป็นต้น

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

3.1 พื้นที่ดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เลือกพื้นที่ดำเนินงานวิจัย 2 รูปแบบคืออาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและอาคารโบราณสถาน โดยที่อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้อาคารหลวงพ่อทันใจ วัดพระบรมธาตุบ้านตาก ตำบลเกาะตะเภา อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก โดยลักษณะของอาคารจะเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น ชั้นดาดฟ้าเป็นที่ประดิษฐานหลวงพ่อทันใจองค์ใหญ่และมีศาลาทรงไทยอยู่บริเวณ 4 มุมของดาดฟ้า ดังรูปที่ 2 และอาคารโบราณสถานจะเลือกใช้เจดีย์ วัดโคกเจดีย์ ตำบลป่ามะม่วง อำเภอเมืองตาก ลักษณะของอาคารจะเป็นอิฐเรียง ฐานสี่เหลี่ยมย่อขนาดตามความสูง ยอดเป็นปลายแหลม ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 3 อาคารโบราณสถาน

3.2 การกำหนดค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

การกำหนดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบจะใช้พื้นหลักฐาน World Geodetic System 1984 (WGS84) และฉายแผนที่แบบ Universal Transverse Mercator (UTM) โซน 47 โดยทำการสร้างหมุดควบคุมด้วยการรังวัดด้วยดาวเทียมวิธีสถิต (Static Survey) จากนั้นจะใช้กล้องประมวลผลรวมเก็บข้อมูลมุมและระยะโดยการวัดแบบไม่ใช้เป้าสะท้อน (Non Prism) เพื่อคำนวณหาค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ โดยกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบตามบริเวณจุดตัดหรือลักษณะเด่นชัดบริเวณอาคารที่เก็บข้อมูลตามจุดสีที่แสดงดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4 จุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดทดสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 5 จุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดทดสอบอาคารโบราณสถาน

3.3 การบินถ่ายภาพและการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

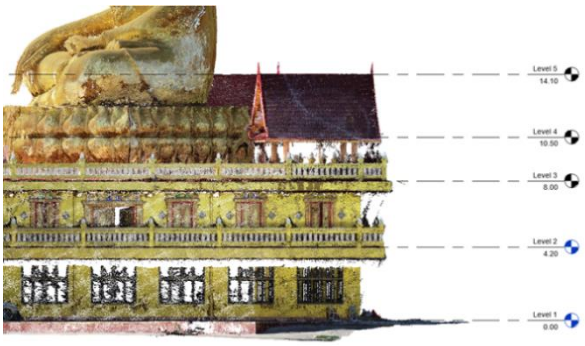
การบินถ่ายภาพจะใช้ค่าส่วนซ้อนและส่วยเกย 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการถ่ายภาพอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้ความสูงบินที่ระดับ 45 เมตร ด้วยการบินแบบสองตารางและแบบวงกลมจะใช้ความสูงบินที่ระดับ 65 เมตร กำหนดค่าการถ่ายแต่ละครั้งทุก 4 องศาของแนวบินและมุมกล้องเอียง 4 องศา ส่วนการถ่ายภาพอาคารโบราณสถานจะใช้ความสูงบินที่ระดับ 30 เมตรด้วยการบินแบบสองตารางและวงกลมจะใช้ความสูงบินที่ระดับ 65 เมตร กำหนดค่าการถ่ายแต่ละครั้งทุก 4 องศาของแนวบินและมุมกล้องเอียง 4 องศาเช่นเดียวกับการถ่ายภาพอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยกำหนดค่าค่าความเร็วในการบินถ่ายภาพแบบช้า เพื่อที่จะได้ลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากแรงลม

เมื่อได้ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับจะทำการตรวจสอบรูปแนวบินให้ตรงตามที่วางแผนและคัดเลือกรูปภาพที่มีคุณภาพแย่ออก จากนั้นจะนำภาพถ่ายทำการประมวลผลภาพด้วยซอร์ฟแวร์ที่มีชื่อว่า Pix4D Mapper ตั้งค่าการประมวลผลการจัดคู่ภาพแบบสูงสุด (Full) เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนจัดคู่ภาพจะทำการปรับแก้ภาพถ่ายด้วยการตรึงค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบที่รูปภาพแต่ละรูป จากนั้นทำการตั้งค่าการสร้างจุดเมฆแบบสูงสุด (High) จะได้จุดเมฆที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ เมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผลภาพถ่ายจะทำการตรวจสอบคุณภาพตามเกณฑ์มาตราฐานกาสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศกรรม วสท. และส่งออกข้อมูลจุดเมฆในรูปแบบไฟล์สกุล .LAZ

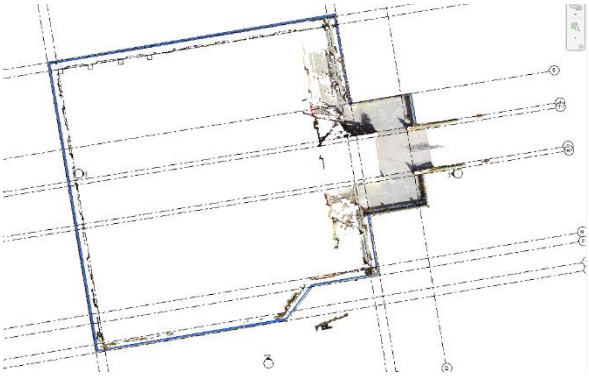
3.4 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ

3.4.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

เนื่องจากโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นรูปแบบอาคารที่มีโครงสร้างที่แน่นอน ดังนั้นการสร้างแบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ซอร์ฟแวร์ที่มีชื่อว่า Revit โดยเริ่มสร้างจากการให้ระดับความสูงของโครงสร้างพื้น เสา คาน และหลังคาตามแนวจุดเมฆ จากนั้นจะทำการหาระยะห่างแนว (Row) และแถว (Column) ของจุดเมฆจะได้ระยะความกว้างและความยาว เพื่อใช้สำหรับวางตำแหน่งของเสาและคานตามจุดตัดของตาราง ดังรูปที่ 6-7 ส่วนโครงสร้างของอาคารที่เหลือจะใช้ข้อมูลจุดเมฆ, แนว และแถวที่สร้างไว้เป็นแนวทางในการสร้างชิ้นส่วนอื่นๆของแบบจำลองสามมิติ



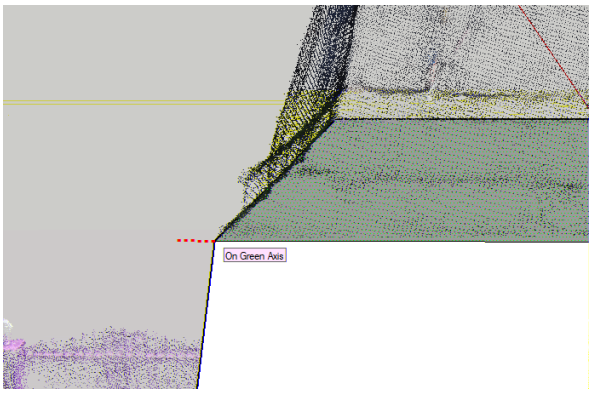
รูปที่ 6 การสร้างค่าระดับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก



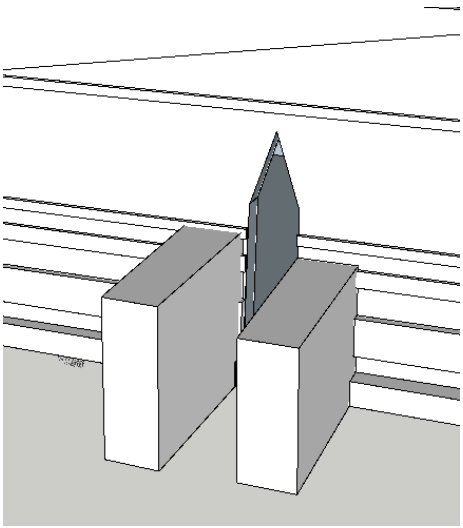
รูปที่ 7 การแนวและแถวอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.4.2 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารโบราณสถาน

โครงสร้างโบราณสถานเป็นโครงสร้างที่มีความไม่สมมาตร ดังนั้นจึงใช้ซอร์ฟแวร์ที่มีชื่อว่า Sketchup ในการสร้างแบบจำลอง โดยเริ่มจากการสร้างโครงสร้างของโบราณสถานที่ละชั้นโดยเลือกจากขอบของจุดเมฆ จากนั้นจะทำการกำหนดความสูงของโครงสร้างตามค่าระดับของจุดเมฆ เมื่อได้รูปทรงของอาคารโบราณสถานที่ใกล้เคียงต้นแบบ จะทำการเจาะพื้นที่ภายในโบราณสถานตามรูปทรงของจุดเมฆที่ปรากฏ ดังรูปที่ 8-9



รูปที่ 8 การสร้างฐานอาคารโบราณสถาน



รูปที่ 9 การสร้างพื้นที่ภายในอาคารโบราณสถาน

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติจะทำการวัดขนาดระยะทางราบและทางดิ่งของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและอาคารโบราณสถานในแนวทิศเหนือ, ทิศใต้, ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ทิศละ 5 จุด เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การวัดระยะของอาคารจริง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

ผลการประมวลผลภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดินอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและโบราณสถานมีค่าไม่เกิน 1 พิกเซลและผลของจุดตรวจสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.018 เมตรและ 0.004 เมตรตามลำดับ เมื่อแทนค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในสมการที่ 6 และสมการที่ 7 พบว่าค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องเท่ากับ 0.043 เมตรและความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่งเท่ากับ 0.007 เมตร ผลของจุดตรวจสอบอาคารโบราณสถานพบว่ามีค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.025 เมตรและ 0.014 เมตรตามลำดับ โดยมีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องเท่ากับ 0.060 เมตรและความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่งเท่ากับ 0.027 เมตร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความถูกต้องของการประมวลผลภาพถ่าย

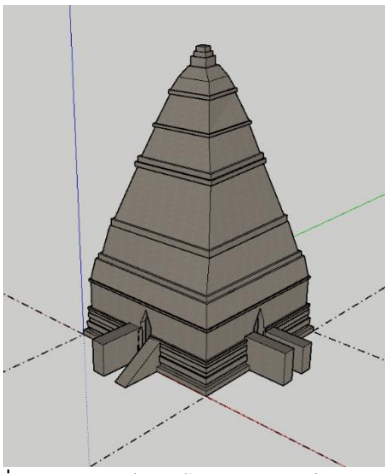
รูปแบบอาคาร	GSD (mm/pix)	Reprojection error (pix)	RMSEr	RMSEz
คอนกรีตเสริมเหล็ก	13	0.803	0.018	0.004
โบราณสถาน	4.8	0.93	0.025	0.014

4.2 ผลการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ

แบบจำลองโครงสร้างสามมิติอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีรูปทรงที่ใกล้เคียงกับอาคารจริงเพราะมีรูปทรงของโครงสร้างที่ค่อนข้างสมมาตรมีเพียงโครงสร้างของบันไดและหลังคาที่มีรายละเอียดของโครงสร้างที่มีขนาดที่เล็กทำให้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองตามจุดเมฆได้ ส่วนแบบจำลองโครงสร้างสามมิติอาคารโบราณสถานมีลักษณะแตกต่างจากอาคารจริงเล็กน้อยเนื่องจากโครงสร้างบางส่วนมีการบิดเบี้ยวไม่สมมาตรและบริเวณตัวอาคารบางส่วนได้เกิดการพังทลายและเสียหาย ทำให้การสร้างแบบจำลองตามจุดเมฆคลาดเคลื่อนบางส่วน ดังรูปที่ 11-12



รูปที่ 11 แบบจำลองโครงสร้างสามมิติอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 12 แบบจำลองโครงสร้างสามมิติอาคารโบราณสถาน

4.3 ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ

ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนระยะห่างแต่ละด้านของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ เป็นผลจากการวัดขนาดระยะทางราบและทางดิ่งของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและอาคารโบราณสถานจำนวนทิศละ 5 จุดเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ ผลปรากฏว่าแบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดบริเวณทิศตะวันออกมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.060 เมตรและบริเวณทิศตะวันตกมีค่าความคลาดเคลื่อนรองลงมาเท่ากับ 0.040 เมตร ส่วนทิศเหนือและทิศใต้ไม่เกิดความคลาดเคลื่อน สำหรับผลความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโครงสร้างโบราณสถานพบว่าทิศใต้มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 0.019 เมตรรองลงมาคือทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีค่าเท่ากับ 0.018 เมตรและทิศเหนือมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.016 เมตร

เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนระยะห่างของแต่ละแบบจำลองมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งเท่ากับ 0.025 เมตรและแบบจำลองโครงสร้างอาคารโบราณสถานพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งเท่ากับ 0.018 เมตรและ 0.024 เมตรตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ

รูปแบบอาคาร	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบ (เมตร)				ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางดิ่ง (เมตร)
	เหนือ	ใต้	ตะวันออก	ตะวันตก	
คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.000	0.000	0.060	0.040	0.025
โบราณสถาน	0.016	0.019	0.018	0.018	0.024

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้สามารถสรุปแนวทางการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติจากข้อมูลของจุดเมฆได้ 2 แนวทางคือ 1. แนวทางการสร้างแบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กควรเริ่มจากการหาระดับของโครงสร้างและสร้างเส้นตารางแถวและแนวสำหรับวางตำแหน่งของเสาและคานก่อน โดยการใช้แนวขอบของจุดเมฆเป็นตัวช่วยในการสร้าง เมื่อค่าระดับของโครงสร้างและเส้นตารางแถวและแนวเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มสร้างชิ้นส่วนโครงสร้างอื่นๆต่อไป 2. แนวทางการสร้างแบบจำลองอาคารโบราณสถานที่ไม่มีเสาควรเริ่มสร้างจากขนาดความกว้างและความยาวของฐานของอาคารแล้วจึงสร้างความสูงทีละชั้น จากนั้นอาศัยขอบของจุดเมฆเป็นแนวทางการสร้างรูปชิ้นส่วนโครงสร้างอื่นๆ ส่วนบริเวณโบราณสถานที่มีความไม่สมบูรณ์ให้ใช้วิธีประมาณระยะให้ใกล้เคียงกับตัวอาคารจริงโดยใช้ข้อมูลของจุดเมฆที่อยู่ข้างเคียง ในการสร้างโครงสร้างโบราณสถานที่มีห้องโถงควรทำการถ่ายรูปบริเวณภายในเพิ่มเติมโดยให้รูปมีการซ้อนทับกันเหมือนการถ่ายภาพบริเวณนอกอาคาร เพื่อให้ได้ข้อมูลจุดเมฆภายในตัวอาคารไว้สำหรับสร้างโครงสร้างภายในห้องโถง

จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติโดยใช้การวัดระยะของโครงสร้างอาคารจริงมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติ พบว่าผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งเท่ากับ 2.5 เซนติเมตรและผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างโบราณสถานพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งเท่ากับ 1.8 เซนติเมตรและ 2.4 เซนติเมตรตามลำดับ

งานวิจัยนี้ได้พบข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองบริเวณที่ชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีขนาดที่เล็ก, บริเวณที่ตัวอาคารมีการพังทลาย และบริเวณที่ชิ้นส่วนของโครงสร้างอาคารไม่ปรากฏในภาพถ่าย เนื่องจากจุดเมฆที่ปรากฏในบริเวณดังกล่าวจะมีความฟุ้งกระจายไม่สามารถกำหนดรูปร่างที่แน่นอนได้และบางส่วนของจุดเมฆอาจขาดหายไป จึงจำเป็นต้องทำการสร้างโครงสร้างบริเวณนั้นโดยการประมาณระยะห่างที่หายไปให้ใกล้เคียงกับตัวอาคารจริง อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นเพียงแนวทางการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสามมิติแนวทางหนึ่งอาจจะมีวิธีที่รวดเร็วและถูกต้องเหมาะสมมากกว่านี้สามารถนำมาปรับใช้ร่วมกันได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวัดโคกเจดีย์ ตำบลป่ามะม่วง อำเภอเมืองตากและวัดพระบรมธาตุบ้านตาก ตำบลเกาะตะเภา อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ดำเนินการเก็บข้อมูลสิ่งปลูกสร้างเพื่อนำมาประมวลผลสร้างแบบจำลองโครงสร้างสามมิติ ขอขอบคุณอาจารย์และนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ช่วยสนับสนุนเก็บข้อมูลภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

[1] ชลลดา เลาะฟอ และ พนิดา สีมาวุธ (2565). การจำลองแผนงานก่อสร้างอาคารโดยใช้ระบบแบบจำลองสารสนเทศ*อาคาร. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565, หน้า BIM02-1-BIM02-10.

[2] สุนิตา นุเสน, เจษฎาพร ศรีภักดี, พรพจน์ นุเสน, จักรกฤษ ปงกันมูล, นิธิอรรถ พัวพัน, พิทักษ์พงศ์ หมอช้าง และ มานพ แก้วโมราเจริญ (2565). การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565, หน้า BIM04-1-BIM04-6.

[3] เพชร์รัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์, บุษบา ทวีโคตร, พงศธร โพธิ์คำ และ ชาญยุทธ กาฬกาญจน์ (2565). การเปรียบเทียบการคำนวณปริมาณวัสดุงานระบบสำหรับอาคารพักอาศัยด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565, หน้า BIM08-1-BIM08-9.

[4] ณัฐนที ท่าวพันวงค์, สมบูรณ เชี่ยงฉิน, วรเทพ แซลอง และ ปรีดา ไชยมหาวัน (2565). ผลของการใช้แบบจำลองโครงสร้างอาคารที่คำนึงถึงเสาเข็มในการประเมินอาคารต้านแผ่นดินไหว. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565, หน้า STR29-1-STR29-9.

[5] เจตนิพัทธ์ ตะปานนท์, วิชิตา ท้าวหน่อ, พรพจน์ นุเสน, เอกพิสิษฐ์ บรรจงเกลี้ยง และ มานพ แก้วโมราเจริญ (2564). การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศและความจริงเสมือนในการตรวจสอบงานโครงสรางหลังคา. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, ออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า CEM-03-1-CEM-03-9.

[6] สิรวิชญ์ สุขศิลา, พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย, ชัยณรงค์ อธิสกุล และ สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ (2564). ข้อมูลการสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์แบบภาคพื้นดินและการวิเคราะห์แผ่นดินไหวของเจดีย์วัดมหาธาตุจังหวัดสุโขทัย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, ออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า STR-03-1 - STR-03-8.

[7] สุวัจน์ชัย แก้วมาคูณ, พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย, ชัยณรงค์ อธิสกุล และ สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ (2564). ข้อมูลการสแกน 3 มิติและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการศึกษาผลกระทบของแรงแผ่นดินไหวต่อเจดีย์ทรงระฆังของไทย: กรณีศึกษาวัดศรีพิจิตรกิรติกัลยาราม. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, ออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า STR-07-1 - STR-07-8.

[8] ชนาธิป บินซาอิส, พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย, ชัยณรงค์ อธิสกุล และ สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ (2564). ข้อมูลการสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์แบบภาคพื้นดินสำหรับการติดตามและตรวจสอบสภาพสะพานพระราม 9. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, ออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า STR-08-1 - STR-08-8.

[9] กันตภณ จินทราคำ, พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย, ก้องภพ วัชรเสวี, ชัยณรงค์ อธิสกุล, พรเกษม จงประดิษฐ์ และ สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ (2563). เทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับป้อมก่ออิฐโบราณของไทย: กรณีศึกษาป้อมมหากาฬ. *การ*

ประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, STR10-1- STR10-9.

[10] ศิวนนท์ ต้นเกต, พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย, ณัฐนันท์ วงศ์อนันต์, ชนาธิป บินซาอิส, สุรพัศ นิธิปฏิคม, สุวัจน์ชัย แก้วมาคูณ, ชัยณรงค์ อธิสกุล, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร และ สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ (2563). ข้อมูลการสแกนวัตถุ 3 มิติ และสมบัติวัสดุก่อของวัดราชบพิธสถิตมหาสีมารามราชวรวิหาร. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, STR33-1- STR33-8.

[11] Saifizi, M., Mustafa, W.A., Mohammad Radzi, N.S., Jamlos M.A. and Syed Idrus S.Z. (2020). UAV Based Image Acquisition Data for 3D Model Application. International Conference on Technology, *Engineering and Sciences*, Penang, 17-18 April 2020, pp. 1-7.

[12] Feifei, X., Zongjian, L., Dezhu, G. and Hua, L. (2012). Study on Construction of 3D Bulding Based on UAV Image. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Volume XXXIX-B1, pp. 469–473.

[13] Lingua, A., Noardo, F., Spanò, A., Sanna, S. and Matrone, F. (2017). 3D Model Generation Using Oblique Images Acquired by UAV. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2017*, Volume XLII-4/W2, pp. 107–115.

[14] รจณา คูณพูล, พรนรายณ์ บุญราศรี, สมใจ หมื่นจร, ปวิตร ฏิระวณิชย์กุล และ จิรวัฒน์ จันทองพูน (2563). การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมในการสร้างแบบจำลองสิ่งปลูกสร้าง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, SGI02-1- SGI02-7.

[15] Vacca, G., Furfaro, G. and Dessi, A. (2018). The Use OF The UAV Images for The Building 3D Mode Generation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2018*, Volume XLII-4/W8, pp. 217–223.

[16] Barrile, V., Fotia, A., Candela G. and Bernardo E. (2019). Integation of 3D Model form UAV Survey in BIM Environment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2019*, Volume XLII-2/W11, pp. 195–199.

[17] ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (2563). *การสำรวจด้วยภาพถ่าย*. สำนักพิมพ์บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน), หน้า 64-96

[18] คณะอนุกรรมการมาตราฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศกรรมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2565*). มาตราฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศกรรม*. สำนักพิมพ์วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 45-46.

[19] ธีระชัย เนียมหลวง (2557). *การออกแบบโครงสร้างอาคาร. การอบรมหลักสูตรการออกแบบและคำนวณงานด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม*. 30 มกราคม 2557, หน้า 2-6.

[20] ไพศาล สันติธรรมนนท (2564). *การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล*. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-4 - 1-8

[21] Rongthong, T., Peawsatan, P. and Sukphisan, S. (2021). *A study of 3D drawing from unmanned aerial vehicle (UAV) photographic data Case study Luang Phor Tan Jai Ong Yai Building Wat Phraborommathat Ban Tak*: B.Eng Dissertation, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Thailand.

[22] Prachayun, K., Chiawchon, T. and Phairotpilun, P. (2021). *Tools testing to collect point cloud data in 3D modelling Case study Historic building in Wat Khok Che Di*: B.Eng Dissertation, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Thailand.