



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

ความแม่นยำของแบบจำลองสามมิติในรูปแบบพอยต์คลาวด์

กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จังหวัดขอนแก่น

Accuracy of 3-d model based on point cloud: a case study of reinforcement concrete building in Khonkaen province

สุภานัน รัตนพงษ์วนิช¹ กอปร ศรีนาวิณ^{2*} วุฒิพงษ์ กุศลคุ้ม³ ธนายุทธ ไชยธงรัตน์⁴

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

³ สาขาวิชาการจัดการงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น 40002

⁴ สาขาวิชาวิชาการจัดการงานก่อสร้าง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมืองและนฤมิตศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

Supanan Rattanapongwanich¹ Korb Srinavin^{2*} Wuttipong Kusonkhum³ Tanayut Chaitongrat⁴

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineer, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

² Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineer, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

³ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineer, Northeastern University, Khon Kaen 40002

⁴ Faculty of Architecture, Urban Design and Creative Arts, Mahasarakham University 44150

* Corresponding author.

E-mail: korbsri@kku.ac.th; Telephone: 0 89417 1357

วันที่รับบทความ 11 มีนาคม 2564; วันแก้ไขบทความครั้งที่ 1 26 เมษายน 2564; วันที่ตอบรับบทความ 9 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในโครงการก่อสร้างโดยเพื่ออำนวยความสะดวกทั้งแก่ผู้ทำงาน ผู้วางแผนการก่อสร้างและผู้เกี่ยวข้องในขั้นตอนการติดตามและประเมินความก้าวหน้างานก่อสร้าง โดยบทความนี้ต้องการศึกษาและแสดงถึงความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (UAV) และประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการรังวัดด้วยภาพ (Photogrammetry) เพื่อสร้างแบบจำลองภาพสามมิติและแสดงผลภาพรวมการก่อสร้างของโครงการเพื่อให้การติดตามและประเมินงานก่อสร้างเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว โดยงานวิจัยใช้โครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายในจังหวัดขอนแก่นเป็นกรณีศึกษาและสร้างแบบจำลองภาพสามมิติในรูปแบบของพอยต์คลาวด์พร้อมเก็บข้อมูลทางกายภาพในแง่ของความกว้าง ความยาว ความสูงและพื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับขนาดจริงของตัวอาคารที่ได้จากแบบแปลนก่อสร้าง ผลการวิจัยพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่พัฒนามีค่าน้อยกว่า 1% แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้แบบจำลองสามมิติในรูปแบบของพอยต์คลาวด์จากภาพสถานที่ก่อสร้างเพื่อประเมินความคืบหน้าในการก่อสร้างได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ

เทคโนโลยีการรังวัดด้วยภาพ พอยต์คลาวด์ การประเมินความคืบหน้างานก่อสร้าง แบบจำลองสามมิติ อากาศยานไร้คนขับ

Abstract

Nowadays, technology is used in construction projects to facilitate workers, planners and other stakeholders in the process of monitoring and evaluating construction progress. This research aims to propose the way to monitor the construction project progress using the unmanned aerial vehicle (UAV) technology and apply with the photogrammetry technology to create a three-dimensional model and visualize the construction overview of the project for quickly monitor

and evaluate the construction work. The case study is reinforced concrete building project in Khonkaen province, This research used photos taken from UAV to generate three-dimensional model base on point cloud, The geometry of building was measured manually from the model by its length and area of each part of the model. Then the data was analyzed for the error compared to the actual size of the building from the construction drawings. The results showed the error of the developed model was less than 1%, This paper proved that three-dimensional construction model base on point cloud from construction site images can be used to evaluate construction progress with enough accuracy.

Keywords

photogrammetry technology; point cloud; construction; progress evaluation; three-dimensional model; unmanned aerial vehicle

1. คำนำ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างภายในประเทศไทยถือว่าเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาประเทศซึ่งจากสถิติช่วงปี พ.ศ.2552 จนถึง พ.ศ.2561 พบว่ามูลค่าการลงทุนก่อสร้างมีสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 8.1 ของผลิตภัณฑ์มวลรวม (Gross Domestic Product, GDP) ซึ่งมีผลต่อธุรกิจที่เชื่อมโยงกับการก่อสร้าง ตั้งแต่ธุรกิจการค้าวัสดุก่อสร้างไปจนถึงธุรกิจการค้าและพัฒนาอสังหาริมทรัพย์อีกด้วย [1] การบริหารหลายโครงการในเวลาเดียวกันนั้นถือเป็นเรื่องท้าทายสำหรับการบริหารจัดการโครงการ จำเป็นต้องแบ่งส่วนการทำงานแก่หน่วยงานต่างๆ ภายในโครงการโดยการก่อสร้างโครงการนั้นจำเป็นต้องอาศัยการจัดการงานก่อสร้างที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพ [2] เพื่อให้โครงการก่อสร้างนั้นมีคุณภาพและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการและลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานให้น้อยลง

การตรวจสอบและคุมงานก่อสร้างถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการบริหารจัดการโครงการก่อสร้าง [3] โดยเป็นการประเมินการทำงานตามการก่อสร้างจริง โดยทั่วไปจะอาศัยตัวบุคคลเข้าไปบันทึกข้อมูลปริมาณงานก่อสร้างและประเมินให้สอดคล้องกับแผนงานก่อสร้างและค่าใช้จ่ายของโครงการ ซึ่งยังใช้เวลานานทำให้เกิดความล่าช้าของข้อมูลและไม่เป็นปัจจุบัน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีการจำลองภาพสามมิติในรูปแบบของพอยต์คลาวด์เพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลของสถานที่ก่อสร้าง ติดตามและประเมินงานก่อสร้างให้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น [4, 5] เพื่อแก้ไขปัญหาที่ในโครงการก่อสร้างบางแห่งเริ่มมีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการทำงานก่อสร้างเพื่ออำนวยความสะดวกในทุกด้าน หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมในการ

ตรวจสอบความคืบหน้าของงานก่อสร้างคือการใช้เลเซอร์สแกนวัตถุภายในอาคาร ตัวอาคารและรวมไปถึงพื้นที่รอบตัวอาคารเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล [6-8] ซึ่งข้อมูลนั้นถูกจัดเก็บในระบบพิกัดสามมิติหรือระบบพอยต์คลาวด์แต่การใช้เลเซอร์สแกนเนอร์นั้นยังมีข้อจำกัดเนื่องจากตัวอุปกรณ์มีราคาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่สูง และยังคงอาศัยความชำนาญในการใช้อุปกรณ์อีกด้วย [9, 10] เพื่อลดค่าใช้จ่ายนั้น การบันทึกข้อมูลสามารถใช้รูปภาพและวิดีโอดิจิทัลได้เช่นกัน ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไปที่สามารถเก็บข้อมูลทางกายภาพของโครงการได้อย่างทั่วถึงโดยวิธีนี้เป็นที่เก็บข้อมูลจากภาพ ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำลงและการใช้งานนั้นง่ายกว่าการใช้เลเซอร์สแกนเนอร์ ซึ่งผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองจากภาพถ่ายมีค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ [11]

โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเสนอความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสามมิติของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในรูปแบบของพอยต์คลาวด์เพื่อประเมินปริมาณงานก่อสร้างหรือความก้าวหน้าของงานก่อสร้าง

2. ทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีการจำลองภาพสามมิติจากภาพถ่าย

การรังวัดด้วยภาพเป็นศาสตร์ที่ให้ได้ว่าซึ่งข้อมูลกายภาพของวัตถุและสิ่งแวดล้อมผ่านการวัดและวิเคราะห์จากภาพถ่าย ซึ่งการรังวัดด้วยภาพเป็นเทคนิคการวัดสามมิติที่อาศัยหลักการฉายภาพผ่านวัตถุ ซึ่งรูปร่างและตำแหน่งของวัตถุจะถูกกำหนดและสร้างประกอบขึ้นจากกลุ่มจุดที่ฉายออกมาจากแต่ละภาพในแต่ละตำแหน่งของตัวกล้อง โดยที่ศูนย์กลางของภาพแต่ละภาพมีความสอดคล้องกัน แต่เดิมการรังวัดด้วยภาพถ่ายนั้น

นิยมใช้ในการสร้างแผนที่ภูมิประเทศโดยถ่ายจากกล้องบนเครื่องบินตามเส้นทางที่กำหนด [12, 13] อีกแขนงหนึ่งของการรังวัดด้วยภาพที่เป็นที่นิยมคือการรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองสามมิติของวัตถุต่างๆ รวมไปถึงสภาพแวดล้อม เช่นการสร้างแบบสามมิติเพื่อจำลองพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ เป็นต้น

2.2 การวางแผนการถ่ายภาพ

การวางแผนการถ่ายภาพนั้นส่งผลโดยตรงต่อการสร้างแบบจำลองสามมิติ วัตถุ/อาคารที่จะถ่ายนั้นควรหลีกเลี่ยงพื้นผิวที่มันวาว เพราะทำให้เกิดการสะท้อนและมีผลต่อการประมวลผลภาพสามมิติและจำเป็นต้องมีการซ้อนทับกันของภาพที่เพียงพอคือ การซ้อนทับด้านข้าง (side overlap) ไม่น้อยกว่า 60% ของพื้นที่แต่ละภาพและการซ้อนทับด้านหน้า (forward overlap) ไม่น้อยกว่า 80% ของพื้นที่แต่ละภาพ [14] โดยแบ่งเป็น 3 มุมมองในการถ่ายซึ่งมุมมองที่จะถ่ายนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และรูปแบบของแบบจำลองที่ต้องการ [15]

1) มุมมองที่ 1

การถ่ายภาพด้านหน้าวัตถุ/อาคาร เป็นการถ่ายเพื่อจำลองลักษณะพื้นผิวที่เจาะจงหรือรายละเอียดของวัตถุนั้นให้เด่นชัด การถ่ายควรวางเส้นทางให้ขนานไปกับพื้นผิววัตถุ/อาคารโดยการถ่ายควรครอบคลุมพื้นที่ส่วนที่ต้องการจำลองซึ่งตำแหน่งที่ถูกต้องของการถ่ายที่ผิดแสดงดังรูปที่ 1 และตำแหน่งการถ่ายที่ถูกต้องแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งการถ่ายที่ถูกต้องควรขยับขนานกับแนวพื้นผิวนั้น เพื่อการสร้างแผ่นผิวหรือผนังให้มีการทับซ้อนที่ครบถ้วนและสามารถแสดงรายละเอียดของพื้นผิวได้ชัดเจน



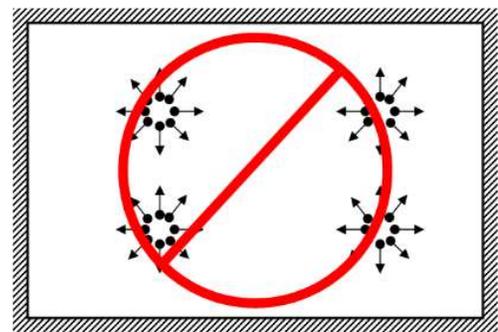
รูปที่ 1 ตำแหน่งการถ่ายภาพพื้นผิวที่ผิด



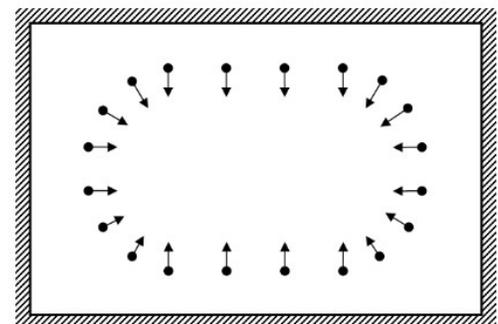
รูปที่ 2 ตำแหน่งการถ่ายภาพพื้นผิวที่ถูกต้อง

2) มุมมองที่ 2

การถ่ายภาพภายในอาคาร เป็นการถ่ายเพื่อจำลองภายในห้อง/อาคาร การวางแผนถ่ายควรหันกล้องเข้าภายในห้องเพื่อถ่ายให้เห็นวัตถุภายในรวมถึงผนังภายในและเคลื่อนที่เป็นวงรอบภายในอาคาร โดยให้การถ่ายในแต่ละครั้งครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการและซ้อนทับกันเพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสมบูรณ์และเห็นรายละเอียดครบถ้วน โดยลักษณะการถ่ายภาพภายในอาคารที่ผิดแสดงดังรูปที่ 3 เนื่องจากการถ่ายภาพลักษณะดังภาพจะไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบริเวณผนังได้ชัดเจนและมีมุมการถ่ายที่แคบ/กว้างไม่เท่ากัน อาจส่งผลต่อการสร้างแบบจำลองจากภาพถ่ายซึ่งลักษณะการถ่ายที่ถูกต้องแสดงดังรูปที่ 4



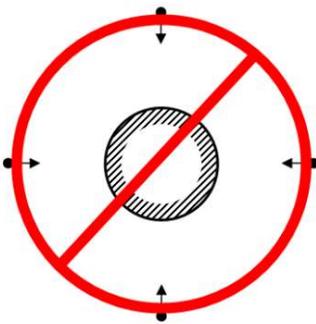
รูปที่ 3 การถ่ายภาพภายในอาคารที่ผิด



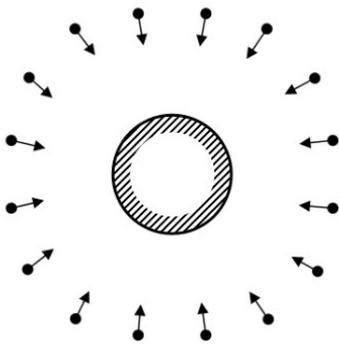
รูปที่ 4 การถ่ายภาพภายในอาคารที่ถูกต้อง

3) มุมมองที่ 3

การถ่ายรอบตัววัตถุ/อาคาร เป็นการถ่ายเพื่อจำลองลักษณะทางกายภาพของวัตถุ/อาคาร แสดงให้เห็นความกว้าง ยาว สูง และความลึกของวัตถุ/อาคารนั้น ๆ โดยควรวางแผนการถ่ายในลักษณะวงแหวนล้อมรอบวัตถุ ซึ่งการถ่ายภาพควรกำหนดจุดการถ่ายที่สามารถเก็บภาพได้ครอบคลุมวัตถุ/อาคารและภาพจำเป็นต้องมีการซ้อนทับกันอย่างเพียงพอเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายที่มีคุณภาพโดยรูปที่ 5 แสดงลักษณะการถ่ายที่ผิดและรูปที่ 6 แสดงลักษณะการถ่ายที่ถูกต้อง



รูปที่ 5 การถ่ายภาพรอบตัววัตถุที่ผิด



รูปที่ 6 การถ่ายภาพรอบตัววัตถุที่ถูกต้อง

3. วิธีการวิจัย

ศึกษาการสร้างแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายของกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จังหวัดขอนแก่น โดยแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

โครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 สถานที่ก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

2) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการเก็บภาพเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายสามารถใช้เครื่องมือได้หลากหลายตามวัตถุประสงค์ของการเก็บข้อมูล ทั้งนี้ต้องการเก็บข้อมูลภาพถ่ายอาคารในมุมสูงเพื่อเก็บบริเวณรอบตัวอาคารและพบว่าอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บภาพในมุมสูงได้ดี, การติดตั้งและใช้งานง่าย, มีราคาที่ไม่สูงมาก, สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและมีความละเอียดของกล้องเพียงพอที่สามารถเก็บภาพ รายละเอียดของตัวอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 8 และ ตารางที่ 1



รูปที่ 8 อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)

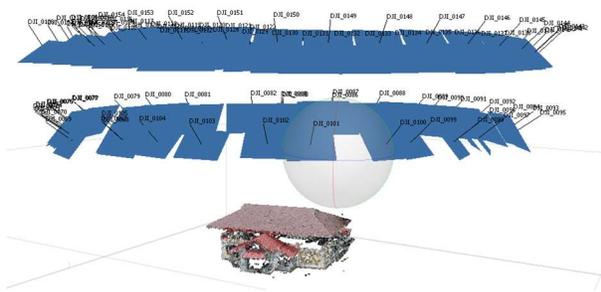
ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของกล้องและอากาศยานไร้คนขับ(UAV) :dji phantom 3 professional

คุณสมบัติ	รายละเอียด
น้ำหนักตัวเครื่อง	1280 กรัม
ขนาดตัวเครื่อง	350 มิลลิเมตร
ความเร็วสูงสุด	16เมตร/วินาที (ATTI mode)
มุมกวด/เงยของกล้องสูงสุด	35°
ความละเอียดของกล้อง	12 ล้านพิกเซล
ความสูงที่บินได้สูงสุด	6000 เมตร
ระยะเวลาในการบิน	ประมาณ 23 นาที
เลนส์กล้อง	FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 focus at ∞
ประเภทของไฟล์ภาพ	JPEG, DNG (RAW)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวางแผนเก็บข้อมูลภาพถ่าย

ภาพอาคารจะถูกเก็บในตำแหน่งที่แตกต่างกันในลักษณะเส้นทางแบบวงกลมรอบตัวอาคาร ซึ่งเก็บจำนวนสองวงที่มีมุมและความสูงที่ต่างกัน โดยที่วงรอบที่ 1 จะมีความสูงมากกว่าคือ 60 เมตรและมีมุมกวดที่ 35° เพื่อให้ได้ภาพโดยรวมของอาคารและวงรอบที่ 2 มีความสูงที่ต่ำกว่าคือ 50 เมตรและมุมกวดที่ 25° เพื่อให้ได้ภาพด้านข้างอาคารร่วมด้วย ดังรูปที่ 9

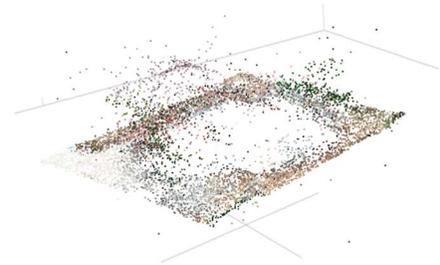


รูปที่ 9 ตำแหน่งและมุมในการเก็บข้อมูลภาพถ่าย

2) การสร้างแบบจำลองในรูปแบบพอยต์คลาวด์

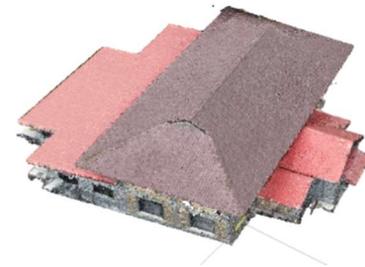
ภาพถูกนำเข้าสู่ซอฟต์แวร์ Agisoft metashape จากนั้นซอฟต์แวร์จะจับคู่ภาพและระบุตำแหน่งจุดแต่ละจุดให้สอดคล้องกัน สำหรับจุดที่กำหนดในภาพ ซอฟต์แวร์จะค้นหาจุดที่อยู่ตำแหน่งเดียวกันในภาพอื่น โดยก่อนที่จะให้ซอฟต์แวร์ประมวลผล จำเป็นต้องกำหนดจุดอ้างอิงของภาพแต่ละภาพ

เพื่อให้ประสิทธิภาพการประมวลผลแม่นยำขึ้นแล้วจึงนำมาสร้างแบบจำลองในระบบพอยต์คลาวด์ ในขั้นตอนนี้จะได้กลุ่มจุดพอยต์คลาวด์ที่กระจายตัวอยู่เพราะซอฟต์แวร์ประมวลผลทุกวัตถุที่แสดงอยู่ในภาพ เช่น อาคารรอบข้าง ถนน รถยนต์ เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้ต้องการใช้เฉพาะอาคารตัวอย่าง จึงต้องลบจุดส่วนเกินออกก่อนที่จะประมวลผลในขั้นตอนถัดไป ดังรูปที่ 10

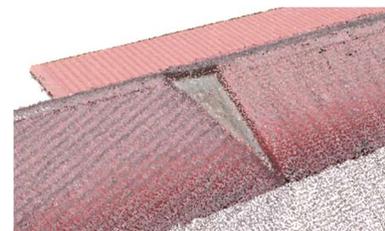


รูปที่ 10 แบบจำลองพอยต์คลาวด์ที่ลบจุดส่วนเกินออกเบื้องต้น

หลังจากที่ลบจุดส่วนเกินออกจึงนำไปประมวลผลต่อโดยให้ซอฟต์แวร์สร้างจุดเพิ่มโดยอ้างอิงจากภาพถ่ายแต่ละภาพเพื่อสร้างกลุ่มจุดให้หนาแน่นขึ้น และเพิ่มรายละเอียดของสีและลดลายของพื้นผิวสมจริงดังรูปที่ 11 และ 12



รูปที่ 11 แบบจำลองพอยต์คลาวด์ที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น

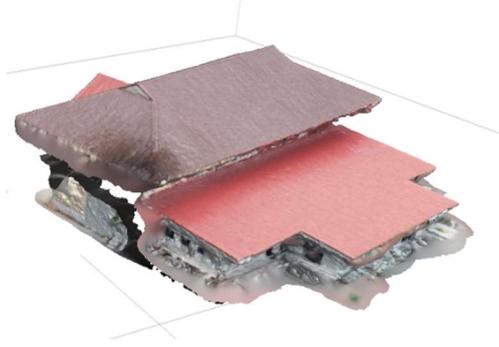


รูปที่ 12 ภาพขยายแบบจำลองพอยต์คลาวด์มีความหนาแน่นสูงขึ้น

3) การสร้างพื้นผิวจากพอยต์คลาวด์

การสร้างพื้นผิวของตัววัตถุนั้นจำเป็นต้องจำลองโครงข่ายขึ้นมา โดยโครงข่ายนั้นเกิดจากการสร้างพื้นที่ปิดระหว่างจุดแต่

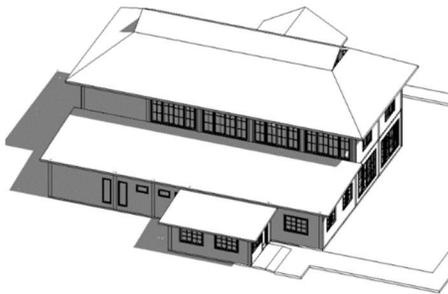
ละจุด โดยผลที่ได้จะเป็นแบบจำลองในลักษณะหลายเหลี่ยมที่สอดคล้องกัน (โครงตาข่าย) การดำเนินการนี้จะนำข้อมูลนั้นประกอบกันเพื่อสร้างส่วนพื้นผิว ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบจำลองที่ผ่านการสร้างพื้นผิว

4) การสร้างแบบจำลองสามมิติและการกำหนดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

กระบวนการนี้เป็นการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรม Autodesk Revit โดยสัดส่วนระยะทั้งหมดอ้างอิงจากแบบก่อสร้างจริงดังรูปที่ 14

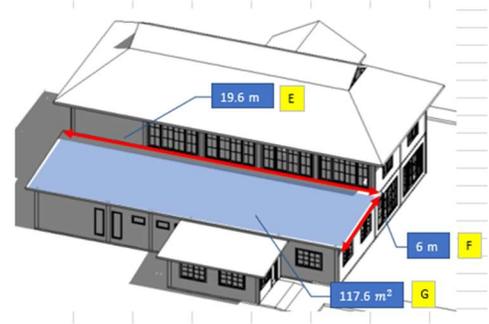


รูปที่ 14 แบบจำลองสามมิติจากแบบก่อสร้าง

จากนั้นจึงเก็บค่าระยะของแบบจำลองโดยใช้ความกว้าง, ความสูง, ความยาวและพื้นที่พื้นผิว ซึ่งระยะที่กำหนดนั้นสามารถเปลี่ยนตำแหน่งที่จะวัดและกำหนดใหม่ได้ ทั้งนี้จะกำหนดเป็นกรณีตัวอย่างดังรูปที่ 15 โดยกำหนดค่าที่ได้นั้นเป็นค่าที่ถูกต้องหรือตัวแปรต้น



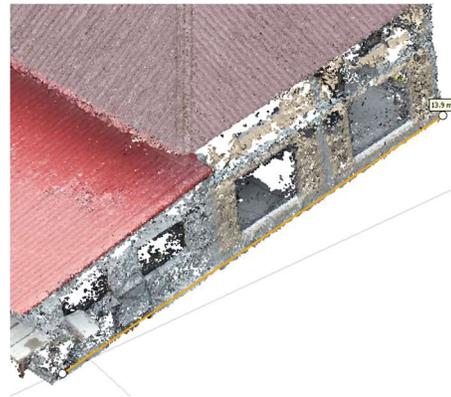
รูปที่ 15 ระยะที่กำหนดเพื่อศึกษาหาค่าคลเคลื่อน (A)



รูปที่ 16 ระยะที่กำหนดเพื่อศึกษาหาค่าคลเคลื่อน (B)

5) การวัดระยะเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองสามมิติ

เมื่อได้แบบจำลองสามมิติจากพอยต์คลาวด์สามารถหมุนและขยายแบบจำลองเพื่อหาระยะที่ต้องการ จากนั้นจึงวัดระยะตามที่กำหนดดังรูปที่ 17 โดยการวัดค่าในแต่ละระยะนั้นจะวัดค่าทั้งหมด 20 ค่า ในมุมมองที่แตกต่างกันและเฉลี่ยค่าที่ได้ก่อนนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองสามมิติเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 17 ระยะ A ที่วัดจากแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่าย

4. ผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบขนาดระหว่างแบบจำลองสามมิติที่สร้างโดยอ้างอิงขนาดตามแบบก่อสร้างและจากแบบจำลองสามมิติจากพอยต์คลาวด์ โดยกำหนดให้ขนาดที่ได้จากแบบก่อสร้างเป็นข้อมูลชุดตัวแปรต้นและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองสามมิติเป็นข้อมูลชุดทดลองเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ดังระบุไว้ในตารางที่ 2 โดยค่าความคลาดเคลื่อนในแง่ของความกว้างระยะ F คือ 0.27 ค่าความถูกต้องคือ 99.73% สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนในแง่ของความยาวระยะ A คือ 0.07 ค่าความถูกต้องคือ 99.93%, ระยะ C ค่าความคลาดเคลื่อนคือ 0.15 ค่าความถูกต้องคือ 99.85%, ระยะ E ค่าความคลาดเคลื่อนคือ 0.08 ค่าความถูกต้องคือ 99.92% สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนในแง่ของความสูงระยะ B มีค่าความคลาดเคลื่อนคือ 0.39 ค่าความถูกต้องคือ 99.61% สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนในแง่ของพื้นที่ พื้นที่ D คือ 0.54 ค่าความถูกต้องคือ 99.46% และพื้นที่ G ค่าความคลาดเคลื่อนคือ 0.35 มีค่าความถูกต้อง 99.65% ซึ่งจากผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการวัดระยะจากแบบจำลองสามมิติจากพอยต์คลาวด์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตั้งต้นจากแบบจำลองสามมิติจากแบบก่อสร้างนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า $\pm 1\%$

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการเปรียบเทียบขนาดระหว่างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากแบบก่อสร้างและแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากพอยต์คลาวด์

	ขนาดจากแบบจำลองสามมิติจากแบบก่อสร้าง (cm.)	ค่าเฉลี่ยของขนาดจากแบบจำลองสามมิติจากพอยต์คลาวด์ (cm.)	Error (%)
A	13.80	13.81	+0.0725
B	2.80	2.81	+0.3929
C	8.00	8.01	+0.1500
D (Area)	22.40	22.52	+0.5413
E	19.60	19.62	+0.0816
F	6.00	6.02	+0.2667
G (Area)	117.60	118.01	+0.3482

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามมิติจากพอยต์คลาวด์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดระยะของงานก่อสร้างในพื้นที่ได้จริงและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองสามมิติในแง่ของความกว้าง ยาว สูง และพื้นที่นั้นมีค่าน้อยกว่า $\pm 1\%$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามมิติจากพอยต์คลาวด์มีความเป็นไปได้ในการใช้ประเมินความคืบหน้าของงานก่อสร้างด้วยความแม่นยำที่เพียงพอต่อการตรวจสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

โดยผลการวิจัยในครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมร่วมกับการจำลองภาพสามมิติจากพอยต์คลาวด์ในการตรวจวัดและแสดงความคืบหน้าในแต่ละช่วงเวลาของงานก่อสร้างในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์ในการจัดทำและศึกษาเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ ในการพัฒนาการบริหารงานก่อสร้าง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมประวิณ มั่นประเสริฐ. *แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2562-64*. 2562
- [2] วิสูตร จิระดำเกิง. *การบริหารงานก่อสร้าง*. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์กรรมกวี; 2558.
- [3] Turner O. *Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK Guide*. Pennsylvania: Project Management Institute;. 2017.
- [4] Golparvar-Fard M, Peña-Mora F, Savarese S. Monitoring of construction performance using daily progress photograph logs and 4d as-planned models. *Proceeding of Computing in Civil Engineering (2009)*. June 24- 27; Austin, Texas: 2009.p.53-63.
- [5] Bohn JS, Teizer J. Benefits and barriers of construction project monitoring using high-resolution automated cameras. *Journal of*

- construction engineering and management*. 2010;136(6):632-40.
- [6] Zhang C, Arditi D. Automated progress control using laser scanning technology. *Automation in construction*. 2013;36:108-16.
- [7] Kiziltas S, Akinci B, Ergen E, Tang P, Gordon C. Technological assessment and process implications of field data capture technologies for construction and facility/infrastructure management. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2008;13(10):134-154.
- [8] Golparvar-Fard M, Pena-Mora F, Savarese S. Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2015;29(1):04014025.
- [9] Ibrahim YM, Kaka AP. Review of photographic/ imaging applications in construction. *The Built & Human Environment Review*. 2008;1(1):99-117.
- [10] Memon ZA, Majid MZ, Mustaffar M. An automatic project progress monitoring model by integrating auto CAD and digital photos. *Proceeding of Computing in Civil Engineering (2005)*. July 12-15; Cancun, Mexico: 2005.p. 1-13.
- [11] Rattanapongwanich S, Srinavin K, Kusonkhum W, Leungbootnak N, Charnwasununth P. Accuracy of 3-D Model Based on Point Cloud: A New Technology for Construction Progress Evaluation. *International Journal of Engineering and Technology*. 2020;2(2):27-30.
- [12] กิตติศักดิ์ ศรีกลาง. การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ. กรุงเทพฯ: โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร; 2559.
- [13] Rosado EQ. *Introduction to applied photogrammetry and cartography for civil engineering*. Universidad de Extremadura: 2018.
- [14] ไพศาล สันติธรรมนนท์. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry). คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;. 2555.
- [15] *Useful Tips on Image Capture: How to Get an Image Dataset that Meets Metashape Requirements?* St. Petersburg (RUS); Agisoft LLC; 2006.
- [16] Dai F, Feng Y, Hough R. Photogrammetric error sources and impacts on modeling and surveying in construction engineering applications. *Visualization in Engineering*. 2014;2(1):2.
- [17] Detchev I, Mazaheri M, Rondeel S, Habib A. Calibration of multi-camera photogrammetric systems. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014;40(1):101.