

การประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ เพื่อสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศ
อาคารสำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมือง กรณีศึกษา อ.ธาตุพนม จ.นครพนม
Applying Drone for Generated Building Information Modeling (BIM)
for Urban Architecture, the Case study of That Phanom District,
Nakhon Phanom Province

ธราวุฒิ บุญเหลือ¹

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) เพื่อสร้างฐานข้อมูลเพิ่มเติมของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) สำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมือง ซึ่งเป็นข้อมูลสารสนเทศที่สำคัญในการวางแผนพัฒนาเพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อม ตัวอย่างเช่น ข้อมูลอาคาร (Building) พื้นที่ปกคลุม/การใช้ประโยชน์พื้นที่ (Coverage areas/Land use) รวมถึงภาพพื้นดิน (Ground Imagery) ข้อมูลเหล่านี้สามารถค้นหาหรือสร้างแบบจำลอง (Model Builder) ได้จากฐานข้อมูลต่างๆ แต่การสร้างข้อมูลเหล่านั้นบางพื้นที่อาจไม่ทันสมัยและรายละเอียดไม่เพียงพอ ทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้ข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์พื้นที่ (Site Analysis) การออกแบบในการพัฒนาเมือง การประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ การสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) สำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมืองนี้ จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญของสถาปนิกผังเมืองและสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง สามารถวิเคราะห์พื้นที่เพื่อการออกแบบชุมชนเมือง และเข้าใจบริบทเมือง รวมถึงสภาพแวดล้อมได้ในเชิงลึกในลักษณะของแบบจำลองสามมิติ นอกจากนี้ยังสามารถนำรูปถ่ายทางอากาศจากการประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติมาเป็นแผนที่ฐาน (Base Map) ที่ทันสมัยและมีความละเอียดสูงมาใช้ในการออกแบบบทความวิชาการนี้ถ่ายทอดขั้นตอนและวิธีการนำเครื่องบินบังคับอัตโนมัติมาใช้ รวมถึงรู้จักโปรแกรมและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นที่สามารถใช้วิเคราะห์ในการวางแผนพัฒนาเมือง เทคนิคการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศโดยใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการด้านการถ่ายภาพทางอากาศ (Aerial Photography) ขั้นตอนการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศครอบคลุมพื้นที่กว้างประมาณ 1 ตร.กม. และวิธีการทำรูปถ่ายทางอากาศและสามารถนำมาใช้ในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยใช้พื้นที่ศึกษาของ วัดพระธาตุพนมมรรณวิหารและพื้นที่โดยรอบ อ.ธาตุพนม จ.นครพนม เพื่อเป็นฐานข้อมูลของพื้นที่ศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ รูปถ่ายทางอากาศ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร สถาปัตยกรรมผังเมือง

¹ สาขาสถาปัตยกรรมเมืองและชุมชน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมืองและนฤมิตศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Abstract

This paper presents the applying of Drone for generating a geography information on Building Information Modeling (BIM) for the area of urban architecture. This geography information can be used for developing better environment for example building information, coverage/land use and ground imagery. This geography information can be drawn from many sources or can be used to create model builder Autodesk Infracore program. However, such geography information is not up to date, and cannot demonstrate all detail of the existing area; therefore, there is the limitation for site analysis and urban design process. Applying Drone for generated building information modeling (BIM) for urban architecture can be a useful methodology for urban designer and related fields. It can be used for analysis an area for urban design process, and can be use to understand urban context and surrounding in three dimension. Moreover, it can apply the aerial photography to add data source as a base map, which have very high resolution and up to date. This paper explains the process to create an aerial photography by Drone, and using related programs, technique as well as all equipment that can be the method for analysis an urban planning. The outcome of aerial photography covers the area approximately 1 sq.km., which can be used as the data sources on Autodesk Infracore program under the concept of Building Information Modeling (BIM). This paper uses the case study of Wat Phra Tat Phanom Woramahawihan and surrounding areas of that Phanom District, Nakhon Phanom Province as the geography information for the case study area.

Keywords: Drone, Aerial Photography, Building Information Modeling, Urban Architecture

บทนำ

การประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) เพื่อสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมืองนั้น เป็นกระบวนการที่สำคัญที่ต้องเข้าใจถึงเทคโนโลยีที่ทันสมัย โดยการใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติจะมีการควบคุมและสั่งการการบินระบบอัตโนมัติและแบบกึ่งอัตโนมัติ สามารถควบคุมด้วยเครื่องวิทยุบังคับโดยควบคุมระบบอัตโนมัติระยะใกล้และไกล สามารถสั่งการตามภารกิจได้หลายรูปแบบ ตั้งแต่การสั่งการขึ้น (Take off) จนถึงการลง (Landing) ไม่ยุ่งยากทำให้มีการใช้ปฏิบัติการเป็นที่ยอมรับหลาย ในการถ่ายภาพจากมุมสูงเพื่อให้ได้รูปภาพที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพปัจจุบัน (Existing Area) ที่มีความละเอียดสูง และสามารถนำมาดำเนินการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศได้ ดังนั้นจึงมีผู้ใช้งานเครื่องบินบังคับอัตโนมัติจำนวนมากขึ้นเพราะสามารถจัดหาได้ง่าย และสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องมีระบบที่ซับซ้อน สามารถใช้งานเครื่องมือนี้ได้สะดวกมากขึ้น (Plug and Play) กว่าที่ผ่านมา ในปัจจุบันการพัฒนาของเครื่องบินบังคับอัตโนมัติเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยมีการพัฒนารูปแบบและคุณสมบัติอย่างต่อเนื่อง (Fahlstrom and Gleason, 2012) ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ เพื่อจัดทำรูปถ่ายทางอากาศที่มีความคมชัดและมีความสะดวกในการดำเนินการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศ จึงเป็นสิ่งที่เป็ประโยชน์ต่อการใช้ในการสำรวจพื้นที่ปัจจุบันและสามารถนำมาใช้ในการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดคมชัดสูง สามารถใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ปัจจุบันและเข้ากระบวนการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศได้เป็นอย่างดี ในการใช้การประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) นี้มีหลักการเช่นเดียวกับ เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเข้ามามีบทบาทในการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศ โดยข้อมูลที่ได้จากระบบ UAV นั้นสามารถนำมาประยุกต์เพื่อจัดทำรูปถ่ายทางอากาศได้ แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมขนาดของพื้นที่ที่ต้องการสำรวจ และหากนำมาผสมผสานกับการบินถ่ายภาพในปัจจุบัน จะทำให้เกิดความสมบูรณ์และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดครบทุกมิติ เพื่อการวางแผนพัฒนาประเทศต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 2.1 เพื่อจัดทำรูปถ่ายทางอากาศโดยใช้เทคโนโลยีการใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone)
- 2.2 เพื่อศึกษาวิธีการและกระบวนการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ ในพื้นที่กรณีศึกษา
- 2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อใช้สำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมือง

3. วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ในการศึกษา

อำเภอธาตุพนมในปัจจุบัน เดิมชื่อว่า “ภูกำพร้าว” เป็นที่อยู่อาศัยของชนเผ่าชนหนึ่งซึ่งมีศิลปวัฒนธรรมเป็นของตนเอง ตามประวัติบริเวณองค์พระธาตุพนมเป็นที่ตั้งเมืองหลวงของอาณาจักรศรีโคตรบูรณ์ ต่อมาเมืองศรีโคตรบูรณ์ได้ย้ายไปตั้งที่อื่น ตามประวัติศาสตร์พระธาตุพนมสร้างขึ้น พ.ศ. 8 โดยมีผู้สร้าง คือ พระกัศสปเถระ และพระอรหันต์ 500 องค์ โดยได้นำพระอัฐิธาตุ หรือกระดูกส่วนหัวอกของสมเด็จพระสัมมาสัมพุทธเจ้านำมาบรรจุในองค์พระธาตุพนมผู้ที่ร่วมช่วยสร้างคือท้าวพญาทั้ง 5 พระองค์ หรือพญาศรีโคตรบูรณ์ ยกโยธามาสร้างองค์พระธาตุพนมจนเสร็จ

ต่อมาในปี พ.ศ. 2233 ถึง พ.ศ. 2245 เจ้าราชครูหลวงโพธิ์สะเม็ก หรือ “ยาครูชีหอม” เป็นมหาเถระที่มีพลังจิตสูงและเป็นที่เคารพศรัทธาของประชาชน ตั้งแต่ราชครูลงมาสามัญชนคนธรรมดา ทั้งนี้ท่านได้มีความเลื่อมใสองค์พระธาตุพนมเป็นอันมาก จึงเดินทางมาจากนครเวียงจันทน์ เจ้าราชครูองค์นี้ ได้นำมหัสขันธ์มีค่าเข้ามาประจุมากที่สุด เพราะมีญาติโยมเชื่อถือและศรัทธามาก ได้แก่ พระพุทธรูปเก่าแก่หลายสมัย นอกจากนี้ ท่านได้จัดสร้างยอดพระธาตุหล่อด้วยโลหะสำริดพร้อมทั้งฉัตรทองคำ 7 ชั้นที่ประดับด้วยอัญมณีล้ำค่ามีลวดลายเฉพาะตัว ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ “ศิลปล้านช้าง” ผูกสร้างองค์เดิมที่บรรจุองค์พระธาตุพนมเป็นต้น

ในรัชกาลที่ 5 ได้มีการจัดระเบียบการปกครองขึ้นใหม่ ชุมชนธาตุพนมได้จัดเป็นบริเวณรอบพระธาตุพนมขึ้นกับมณฑลลาวพวน มีหน้าที่ปกครองดูแลจากมุกดาหารถึงนครพนม ท่าอุเทน และเมืองไชยบุรี รวมทั้งเขตเรณูนครด้วย ต่อมา พ.ศ. 2440 ได้มีการจัดตั้ง จังหวัด อำเภอบ้านบรีเขตธาตุพนม เดิมขึ้นอยู่กับอำเภอเรณูนครได้จัดตั้งเป็นอำเภอธาตุพนมขึ้นมาใหม่เมื่อปี พ.ศ. 2450 เป็นต้นมา จนเวลาผ่านไปหลายร้อยปี เจ้าอาวาสวัดพระธาตุพนมไม่มีชื่อปรากฏมาช้านาน จนกระทั่งล่วงเวลาผ่านไปสิ่งที่ผู้คนไม่คาดฝันก็คือ อุบัติขึ้นมีลม ผ่น พัดกระหน่ำกะโชกแรงต่อกันมาหลายวันหลายคืน ณ วันจันทร์ ที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2518 ขึ้น 4 ค่ำ เดือน 9 ปีเถาะ เวลา 19.18 นาฬิกา พระธาตุพนมอันเป็นเจดีย์คู่บ้านคู่เมืองล้มพังทลายไปทางทิศตะวันออกทั้งองค์ ต่อมาก็ได้ทำการรื้อและได้สร้างขึ้นใหม่จนสำเร็จสมบูรณ์ ได้จัดพระราชพิธีบรรจุพระอัฐิธาตุระหว่าง วันที่ 21-23 มีนาคม พ.ศ. 2522 โดยพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช สมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ และสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวมหาวชิราลงกรณบดินทรเทพยวรางกูร..เสด็จมาเป็นประธานและทรงบรรจุพระอัฐิธาตุ

ในพื้นที่ศึกษาจะอยู่บริเวณวัดพระธาตุพนมวรวิหาร ตามรูปที่ 1 ในเขตเทศบาลตำบลธาตุพนม ตั้งอยู่บริเวณที่ราบสูงภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน อยู่ด้านทิศใต้ของจังหวัดนครพนม มีเนื้อที่ประมาณ 357.76 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 223,600 ไร่ เป็นอำเภอชายแดน มีอาณาเขตติดกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มีลักษณะเป็นแนวเลียบไปตามแม่น้ำโขง ยาวประมาณ 40 กิโลเมตร ห่างจากจังหวัดนครพนม ประมาณ 52 กิโลเมตร ห่างจากจังหวัดสกลนคร ประมาณ 75 กิโลเมตร ห่างจากกรุงเทพมหานคร ประมาณ 707 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ใกล้เคียง (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2559) ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับบ้านเหล่าทุ่ง หมู่ที่ 9 ต.พระกลางทุ่ง อ.ธาตุพนม จ.นครพนม
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับแม่น้ำโขง และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับบ้านดอนกลาง หมู่ที่ 9 ต.ธาตุพนม อ.ธาตุพนม จ.นครพนม
ทิศใต้	ติดต่อกับบ้านโพธิ์ทอง หมู่ที่ 4 ต.ธาตุพนม อ.ธาตุพนม จ.นครพนม



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาวัดพระธาตุพนมวรมหาวิหาร และพื้นที่โดยรอบ อ.ธาตุพนม จ.นครพนม
ที่มา: ธรรมชาติ บุญเหลือ (2560)

3.2 เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) เพื่อการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศ

การพัฒนาเมืองโดยอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยด้วยการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) หรือในอีกชื่อว่า “โดรน” (Drone) มาใช้สำรวจและศึกษาข้อมูลทางภูมิประเทศเพื่อการวางแผนและการแก้ไขปัญหาและพัฒนาเมือง เพื่อให้เข้าถึงพื้นที่ได้มากขึ้นและได้ข้อมูลที่ครบถ้วน โดยรายละเอียดของข้อมูลที่ได้จะมีทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ การใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติมาทำรูปถ่ายทางอากาศและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การสำรวจพื้นที่ที่มนุษย์เข้าไม่ถึง การตรวจสอบทางด้านสภาพแวดล้อมในด้านการพัฒนาเมือง ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากเครื่องบินบังคับอัตโนมัติจึงสามารถเรียกได้ว่า ทำให้ได้เมืองเสมือนจริงมาใช้ในการศึกษา ไม่ใช่ข้อมูลแบบเก่าที่เป็นเพียง 2 มิติ ช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญหลากหลายสาขาสามารถทำงานบนฐานข้อมูลเดียวกัน และออกแบบเรื่องการใช้ประโยชน์ที่ดินให้มีความสอดคล้องกันเป็นระบบ ไม่ต้องแยกกันปฏิบัติเช่นในอดีตจึงไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อน เครื่องบินบังคับอัตโนมัติในปัจจุบันมีราคาลดลงอย่างมากและสามารถจัดหามาใช้ได้โดยง่าย จึงมีการนำเครื่องบินบังคับอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ในการกิจต่างๆ ได้ดี เช่น การถ่ายภาพทางอากาศ มากขึ้นตามลำดับ (กิตติศักดิ์ ศรีกลาง, 2558)

การบินบังคับเครื่องบินบังคับอัตโนมัตินั้นอาจทำได้ทั้งวิธีใช้วิทยุบังคับและบังคับกึ่งอัตโนมัติ (Autonomous) โดยการกำหนดโปรแกรมการบิน (Flight Plan) ก่อนล่วงหน้าตามตำแหน่งและทิศทาง (Global Positioning System: GPS) โดยหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดให้ภารกิจในการบิน ทำให้ภาระกิจการบินประหยัดพลังงานและเวลาในการปฏิบัติการบิน (Fahlstrom and Gleason, 2012) นอกจากนี้ระบบนำร่องจะใช้ GPS คือ ระบบที่ระบุตำแหน่งทุกแห่งบนโลกจากกลุ่มดาวเทียม 24 ดวง ที่โคจรรอบโลกในระดับสูงที่พ้นจากคลื่นวิทยุรบกวน และวิธีการที่สามารถให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะใช้ระบุตำแหน่งได้ทุกแห่งบนโลกตลอดเวลา 24 ชั่วโมง โดยที่ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งทางราบต่ำกว่า 50 เมตร ตัวรับตำแหน่งพิกัดดาวเทียม (GPS) แต่ละเครื่องจะทำการรับสัญญาณ อย่างน้อย 3 ถึง 4 ดวงในเวลาเดียวกัน เครื่องจะใช้ดาวเทียม 3 ดวง ในการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดเพียงอย่างเดียว โดยเมื่อทราบระยะทาง จาก GPS Receiver ถึงดาวเทียม 3 ดวง เครื่องจะสามารถคำนวณจุดตำแหน่งพิกัดของตนเองได้ เมื่อกำหนดให้ความสูงคงที่และถ้ารับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 4 ดวง เครื่องจะใช้ดาวเทียม 4 ดวง ในการคำนวณตำแหน่งพิกัดและความสูงได้ (Ahmad, 2011; ธรรมชาติ บุญเหลือ, 2557) จึงทำให้รูปถ่ายที่ได้นั้นมีค่าพิกัดในภาพ (Georeference) สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมผังเมืองได้

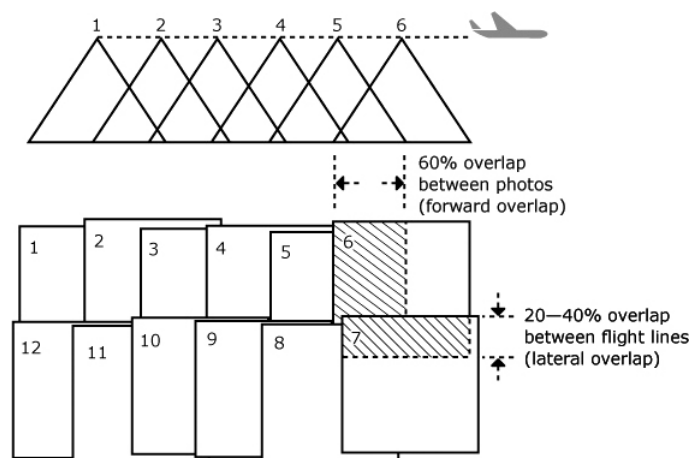
อุปกรณ์ในการบินเครื่องบินบังคับอัตโนมัติเบื้องต้น ประกอบด้วย เครื่องบินบังคับชนิดปีกหมุน วิทยุ กล้อง ชุดรับส่งสัญญาณภาพ และเสียง (VTX & VRX) จอรับภาพ ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการบินประกอบด้วย Copilot + OSD + Autopilot + GPS ซึ่ง OSD (On-Screen Display) คือ ข้อมูลตัวเลขหรือตัวหนังสือที่แสดงขึ้นหน้าจอเพื่อบอกสภาพการบิน เช่น ความเร็ว ความสูง ระยะทาง แบตเตอรี่ นอกจากนี้การบินอัตโนมัติ (Autopilot) จะใช้ในกรณีที่เราบินจนหลุดสัญญาณวิทยุ เครื่องจะบินกลับสู่จุดปล่อยเอง ตัวที่ใช้บอกพิกัดบนโลก (Global Positioning System: GPS) จะใช้งานร่วมกับ OSD และ Autopilot เครื่องบันทึกสัญญาณภาพที่ส่งลงมา เช่น กล้อง ดิจิตอลที่มี AV-In เครื่องแยกสัญญาณ AV (Av splitter) เพื่อแบ่งสัญญาณภาพเป็นสองหรือสามทาง เช่น สัญญาณภาพ เข้า TV และเครื่องบันทึกภาพ Upgrade วิทยุ ใช้คลื่นย่าน UHF จะสามารถควบคุมได้ไกลมากกว่า 10 Km เป็นต้น

การจัดทำรูปถ่ายทางอากาศในครั้งนี้ได้เลือกใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) รุ่น DJI Phantom 3 Professional เนื่องจากเป็นเครื่องบินบังคับอัตโนมัติที่ได้รับความนิยมสูงและมีโปรแกรมสำเร็จรูป (Applications) มีคุณสมบัติที่ดีของ DJI GO ซึ่งการส่งสัญญาณในลักษณะปัจจุบัน (Real time) จากกล้องที่ความละเอียด 720p และความสามารถในการแก้ไขภาพหรือวิดีโอจากภายในโปรแกรมสำเร็จรูปได้เลย รวมถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทางการถ่ายภาพทางอากาศ คือ มีกล้องบันทึกวิดีโอขนาด 4K และสามารถบันทึกได้ถึง 30 เฟรมต่อวินาที ซึ่งถือว่าจะได้ภาพที่มีคุณภาพสามารถนำไปใช้ในการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศได้ดี นอกจากนี้ วิดีโอขนาด 4K ของกล้องที่มีบิตเรตสูงสุดอยู่ที่ 60 Mbps นอกจากความละเอียดของกล้องดี โดยหน้ากล้องขนาด f2.8 สามารถถ่ายภาพในบริเวณที่มีแสงน้อยได้ดี และมีความละเอียด 1080p หรือ 720p และบันทึกที่ความเร็ว 60 เฟรมต่อวินาที ที่ความเร็ว 120 fps สามารถถ่ายภาพหนึ่งขนาด 12 ล้านพิกเซลได้ และสามารถถ่ายในโหมด RAW ได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่เลือกรุ่นนี้ยังสามารถบินในอาคารได้โดยใช้ระบบ GPS และ GLONASS (GPS ของรัสเซีย) ในการตรวจสอบตำแหน่งของตัวเอง เหมาะอย่างยิ่งสำหรับเป็นเครื่องมือในการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศ โดยรวมเครื่องบินบังคับอัตโนมัติ รุ่น DJI Phantom 3 Professional ถือเป็นเครื่องบินบังคับอัตโนมัติ คุณสมบัติที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับหลายชนิด และมีขนาดไม่ใหญ่เกินไป สามารถพกพาไปใช้ในสถานที่ศึกษาได้ง่าย โดยมีคุณสมบัติโดยรวมคือ ความสามารถในการคงตำแหน่งด้วย GPS (GPS Position Hold) มีระบบตามตัวคนขับ (Follow me) จุดสนใจ (Point of Interest) บินวน และจุดเด่นโดยมีลักษณะที่เหมาะสมที่สุดในการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศ คือ การกำหนดแผนการบิน (Flight Plan or Waypoint, Course Lock, Home Lock และ Return to Home) นอกจากนี้มีการวัดกำลังไฟฟ้าแบบ Real-Time พร้อมประมาณการเวลาบินที่เหลือ ระบบคงความนิ่งของภาพและวิดีโอ การปรับหน้ากล้องในการถ่ายภาพ เป็นต้น จึงถือว่าเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับภารกิจในครั้งนี้

เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) เป็นที่แพร่หลายในปัจจุบัน สามารถจัดหามาใช้ในการกิจต่างๆ ได้ง่าย โดยมีระบบต่างๆ ที่ทันสมัย ตัวอย่างเช่น มีระบบความปลอดภัย (Fail Safe) โดยใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) ระบบกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (Home) ตอนที่เริ่มบิน (Take off) เพื่อสามารถบินกลับมาลงจอด (Landing) ได้เองหากหลุดการเชื่อมสัญญาณวิทยุบังคับ ซึ่งทำให้ผู้ที่ควบคุมเครื่องบินบังคับอัตโนมัติมีความมั่นใจในการบินมากขึ้น และถ้าหากเกิดการหลุดสัญญาณบังคับวิทยุ (Disconnected) กับเครื่องบินบังคับ ซึ่งระบบต่างๆ ในการควบคุมนี้สามารถทำให้ผู้ที่ควบคุมเครื่องบินบังคับอัตโนมัติมีความสะดวกมากขึ้น และไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์ในการบินสูงมากเหมือนในอดีต นอกจากนี้ระบบของเครื่องบินบังคับอัตโนมัตินี้ได้รวมระบบของการถ่ายภาพที่ทันสมัยอีกด้วย โดยมีระบบในการส่งสัญญาณภาพ (Down Link) มาที่จอภาพ (Device) แบบสถานะปัจจุบัน (Real Time) และยังมีเครื่องมือในการส่งภาพ (Range Extender) สามารถส่งภาพได้ไกลประมาณ 1,000 เมตร โดยเครื่องบินบังคับอัตโนมัติสามารถบินได้ไกลประมาณ 1,000 เมตร การพัฒนาของเครื่องบินบังคับอัตโนมัติในปัจจุบัน อย่างเช่น DJI มีระบบรับส่งภาพ (Down Link) ที่ทันสมัยที่มีชื่อว่า Lightbridge สามารถส่งภาพระดับ HD 720p ได้ไกลถึง 2000 เมตร ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพสูงมากในปัจจุบัน

3.3 การวางแผนการบิน (Flight Plan)

การเตรียมการบินเครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) ต้องมีการเตรียมความพร้อม และต้องเข้าใจในกระบวนการบิน ตั้งแต่การเตรียมพร้อมในการชาร์ตแบตเตอรี่ให้เพียงพอต่อการบิน การศึกษาพื้นที่การบินอย่างละเอียดให้เข้าใจถึง ภูมิประเทศ เพื่อจัดเตรียมข้อมูลการบินตามแผนการบิน การตรวจสอบความพร้อมทางด้านกายภาพของเครื่องบินบังคับอัตโนมัติให้พร้อมกับการบิน การเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ทุกชนิดที่ใช้ร่วมกับการบิน รวมถึงการเตรียมความพร้อมของร่างกายผู้บังคับเครื่องบิน เนื่องจากต้องใช้สมาธิที่สูงมากสำหรับการบิน นอกจากนี้ควรศึกษาสภาพอากาศเบื้องต้นก่อนวันที่จะบิน เพราะในเรื่อง ลม ฟา อากาศ แสง มีผลต่อการถ่ายภาพทางอากาศทั้งสิ้น การกำหนดแผนการบินในปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูป (Application on Device) ที่ชื่อว่า Pix 4D Capture on iOS ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ Ipad Mini ในการดำเนินการ แต่ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงหลักการในการถ่ายภาพทางอากาศ ในการถ่ายภาพนั้นต้องแสดงให้เห็นถึงวิธีการบินบันทึกภาพ เพื่อการนำรูปถ่ายทางอากาศ โดยในแต่ละแนวมินจะมีส่วนซ้อนในแนวมิน (Overlap) $p = 60\%$ และในการบินวนซ้ำกลับมาในแนวมินข้างเคียงจะมีส่วนซ้อนด้านข้าง (Sidelay) $q=20\%-40\%$ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่า ทั้งภาพและส่วนของภาพที่มีส่วนซ้อนกันนี้จะต้องใช้ในการรังวัดและค่าพิกัดในสามมิติ ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตแผนที่ที่สมบูรณ์ทั้งพื้นที่ การวางแผนการบินนั้นต้องคำนึงถึงความละเอียด และความถูกต้องของข้อมูลที่ต้องการ โดยการบันทึกภาพเมื่อทำการขึ้นบินในแต่ละครั้งต้องพิจารณาลักษณะภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่เพื่อกำหนดความสูงในการบินที่เหมาะสม พร้อมทั้งกำหนดส่วนซ้อนระหว่างภาพ (Overlap) และส่วนซ้อนระหว่างแนวมิน (Sidelay) ตามรูปที่ 2 เส้นทางการบินต้องไม่อยู่ในเขตหวงห้าม การปฏิบัติงานของเครื่องบินอัตโนมัติ (Drone) ต้องรักษาระยะจากสถานีควบคุมภาคพื้นดินให้ไม่เกินระยะการสื่อสาร และต้องคำนวณเวลาปฏิบัติงานของเครื่องบินอัตโนมัติ (Drone) ให้สอดคล้องกับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ (อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล และคณะ, 2558)



รูปที่ 2 การวางแผนการบิน (Flight Plan) แสดงส่วนซ้อนในแนวมิน และส่วนซ้อนระหว่างแนวมิน
ที่มา: Canada.ca (2016)

สำหรับการประยุกต์ใช้ในการบันทึกภาพด้วยเครื่องบินบังคับอัตโนมัตินั้น การบันทึกภาพจะได้ภาพเป็นจำนวนมาก ปริมาณภาพมีได้หลายร้อยภาพนับว่าเป็นเรื่องปกติ ดังนั้นคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลต้องการความสามารถสูงมาก อีกทั้งการหาจุดที่เหมือนกันบนคู่ภาพใดที่พิจารณาที่เรียกว่าการจับคู่ภาพ แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างชายสามเหลี่ยมทางอากาศอัตโนมัติ และในตอนท้ายจะมีการรังวัดจุดพิกัดในสามมิติจากการจับคู่ภาพที่หนาแน่น (Dense Image Matching) จึงจำเป็นต้องมีภาพส่วนที่ซ้อนในแนวมิน สูงถึง 60% หรือมากกว่า และภาพส่วนซ้อนด้านข้าง สูงถึง 20-40% หรือมากกว่า (ไพศาล สันติธรรมนนท์, ภาณุ อุทัยศรี และ ชีรภัทร ชื่นชม, 2554) แต่ในปัจจุบันโปรแกรมสำเร็จรูปในการศึกษาครั้งนี้มีความสะดวกขึ้นมาก สามารถดำเนินการจัดทำแผนการบินที่เครื่องบินบังคับวิทยุแบบมีหน้าจอ (Device and Monitor) ได้ และสามารถปรับเปลี่ยน

ขนาดเนื้อที่ที่ต้องการพร้อมกันความสูงของการบินได้สะดวก ทำให้การจัดเตรียมเรื่องการวางแผนการบินมีความสะดวกมากขึ้น และสามารถดำเนินการได้รวดเร็วและสามารถปรับเปลี่ยนในพื้นที่กรณีศึกษาได้เลย ในการบินในครั้งนี้ใช้ความสูงประมาณ 150 เมตร ในการถ่ายภาพครั้งนี้ ตามรูปที่ 3



แผนการบินที่ 1



แผนการบินที่ 2



แผนการบินที่ 3



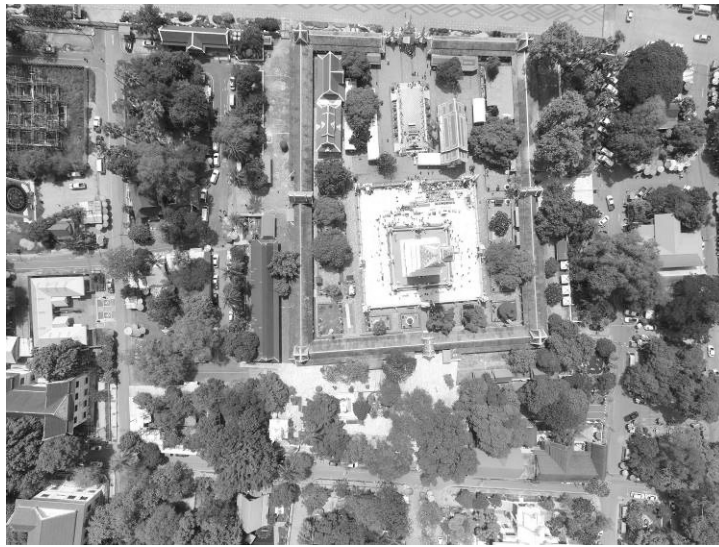
แผนการบินที่ 4

รูปที่ 3 การวางแผนการบิน (Flight Plan) ในพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ 1 ตร.กม. จำนวน 4 ครั้ง (Flights) ที่มา: ธาราธิ บุญเหลือ (2560)

4. ผลการศึกษา

4.1 รูปถ่ายทางอากาศ (Aerial Photography) ในกรณีศึกษา

รูปถ่ายทางอากาศ แบ่งเป็นสองส่วนหลัก คือ การบันทึกภาพโดยใช้หน้ากล้องขนาด f2.8 ใช้ถ่ายภาพนิ่งขนาด 12 ล้านพิกเซล ตามเส้นทางการบิน โดยจะได้รูปถ่ายเป็นชุดต่อเนื่องจำนวนมากโดยการบินแต่ละครั้งจะได้รูปถ่ายประมาณ 160 ภาพ บินทั้งหมด 4 ครั้ง (Flights) โดยเป็น JPG File (JPG) ขนาดแต่ละภาพประมาณ 4.83 MB (5,070,164 bytes) ตามรูปที่ 4 ซึ่งถูกถ่ายให้มีการเหลื่อมของภาพตามโปรแกรม Pix4D Capture มีจุดอ้างอิงร่วมกันในแต่ละภาพ การจัดการรูปถ่ายในส่วนของการบันทึกภาพ จัดเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญ โดยอุปกรณ์ช่วยลดความสั่นไหว (Image Stabilizer) หรืออุปกรณ์ช่วยรักษาระดับ (Gyro Mount) ทำให้กล้องอยู่ในแนวระดับมากที่สุด เพื่อให้ได้รูปถ่ายที่ตั้งฉากกับพื้นดิน (Ortho Image) ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ความสูงของเครื่องบินบังคับอัตโนมัติก็ส่งผลต่อการครอบคลุมพื้นที่ในการถ่ายภาพ ยิ่งบินสูงก็ยิ่งสามารถถ่ายได้ครอบคลุมพื้นที่กว้างมากกว่าการบินต่ำ แต่สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ งบประมาณการรับภาพของเลนส์ที่ใช้ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันจึงควรคำนวณงบประมาณการรับภาพของเลนส์กับขอบเขตการครอบคลุมพื้นที่ โดยใช้หลักการทางตรีโกณมิติ (Joanne, 1999; James, Aber, Irene and Johannes, 2010) เบื้องต้นโดยการบินในครั้งนี้ใช้ความสูงประมาณ 150 เมตร



รูปที่ 4 ตัวอย่างรูปถ่ายที่ได้เป็น JPG File (JPG) ขนาดแต่ละภาพประมาณ 4.83 MB (5,070,164 bytes)
ที่สามารถนำไปจัดทำรูปถ่ายทางอากาศ
ที่มา: ธารวุฒิ บุญเหลือ (2560)

การจัดการรูปถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ในการต่อรูปถ่ายทางอากาศจำนวนมาก ให้เป็นภาพทางอากาศขนาดใหญ่ประมาณ 1 ตร.กม.ตามแผนการบิน และทำการวิเคราะห์พื้นที่ภาพเบื้องต้น ในการจัดการรูปถ่ายทางอากาศด้วยคอมพิวเตอร์พื้นฐาน จะเป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมการจัดการรูปถ่าย คือ โปรแกรม Agisoft Photoscan Professional ตามรูปที่ 5 ซึ่งจะมีการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน ทำให้บุคคลทั่วไปที่มีความสนใจในการถ่ายภาพทางอากาศสามารถเรียนรู้และฝึกฝนได้เอง เมื่อได้รูปถ่ายทางอากาศมาแล้ว ขั้นตอนในการจัดการรูปถ่ายทางอากาศ ซึ่งมีกระบวนการในการดำเนินการต้องใช้เวลาในการจัดทำหลายขั้นตอน (Workflow) เช่น Align Photos, Build Dense clouds, Build Mesh, Build Texture, Build tiled model, Build DEM and Orthomosaic เป็นต้น จึงเป็นกระบวนการที่มีหลายขั้นตอน และสามารถดำเนินการให้ได้ไฟล์ในลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

จากการวิเคราะห์ความละเอียดของข้อมูลภาพ ข้อมูลภาพที่ได้จากเครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) มีความละเอียดสูง (High Resolution) เนื่องจากเครื่องบินบังคับอัตโนมัติสามารถบินได้ต่ำและมีความถูกต้องของข้อมูลภาพ ความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลภาพถูกจำกัดด้วยอุปกรณ์การสำรวจที่ใช้ ได้แก่ อุปกรณ์บันทึกภาพ อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง (POS) รวมไปถึงจำนวนจุดบังคับรูปถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลด้วย ถึงแม้ว่าข้อมูลภาพที่ได้จะมีความละเอียดสูงเนื่องจากเพดานบินที่ไม่สูงมาก แต่อุปกรณ์บันทึกภาพและอุปกรณ์ระบุตำแหน่งนั้นจะมีคุณภาพด้อยกว่า ระบบบันทึกภาพทางอากาศที่มีคนขับ ทำให้ความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลผลลัพธ์นั้นยังอยู่ในช่วง 1-2 เมตร นอกจากนี้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากข้อจำกัดของแบตเตอรี่ด้านเวลาบินปฏิบัติงาน อีกทั้งจำนวนภาพที่บันทึกได้นั้นจะมีจำนวนภาพที่มากกว่าระบบบันทึกภาพทางอากาศ เพื่อการทำแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ จึงมีผลกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและเวลาที่ใช้ในการบินบันทึกภาพ

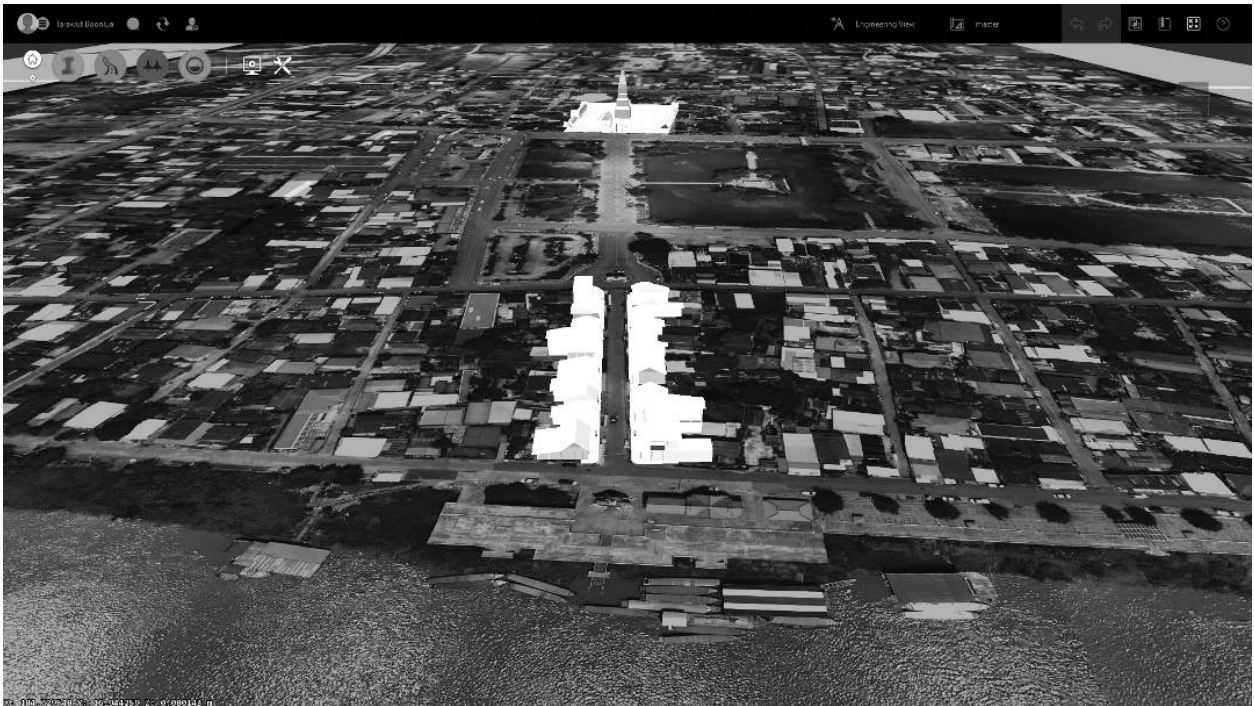


รูปที่ 5 โปรแกรม Agisoft Photoscan Professional ที่ใช้ในการดำเนินการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศ
ที่มา: ธาราธิ นุญเหลือ (2560)

4.2 การนำไปใช้ในโปรแกรม Autodesk InfraWorks ทางสถาปัตยกรรมผังเมือง

ในการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศในครั้งนี้นอกจากนำข้อมูลรูปถ่ายไปใช้ในการดำเนินการด้านโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ได้แล้ว ยังสามารถนำข้อมูลที่ทำเนิการทางด้านสถาปัตยกรรมผังเมืองได้อีก โดยเฉพาะในการดำเนินการจัดทำผังแม่บทโครงการต่างๆ เพื่อการวิเคราะห์และจัดทำโครงการและการวางแผนงานต่างๆ ในครั้งนี้ได้เลือกใช้รูปถ่ายนี้เพื่อใช้ในโปรแกรม Autodesk InfraWorks ซึ่งเป็นโปรแกรมทางด้าน Building Information Modeling (BIM) ในด้านสถาปัตยกรรมผังเมืองโดยตรง สามารถนำข้อมูลทางด้านออกแบบสถาปัตยกรรมต่างๆ เช่น Autocad, SketchUp, Revit และ Achicad ถือว่าเป็นข้อมูลทางด้านออกแบบสถาปัตยกรรมทุกรูปแบบมาใช้ได้ และนอกจากนี้ยังนำข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เช่น ArcInfo, MapInfo และ Global Mapper มาใช้ร่วมกับโปรแกรมทางด้านออกแบบสถาปัตยกรรมได้เป็นอย่างดี ทำให้เข้าใจถึงลักษณะงานออกแบบสถาปัตยกรรมผังเมือง ร่วมกับการจัดทำผังบริเวณที่มีข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

ในการดำเนินการนั้นสามารถสร้างรูปแบบโครงสร้างเมือง (Model Builder) ได้โดยการกำหนดค่าพิกัดต่างๆ ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลที่มีความละเอียดถูกต้องที่รับได้ในระดับของสถาปัตยกรรมและผังเมือง แต่ในงานศึกษานี้ได้นำภาพจากเครื่องบินบังคับอัตโนมัติ นำใส่ในโปรแกรม Autodesk InfraWorks ตามรูปที่ 6 โดยการนำเสนอข้อมูลด้านต่างๆ (Data Sources) ในลักษณะของ Raster จากการประยุกต์ใช้ในครั้งนี้ได้ทดลองนำภาพดังกล่าวที่ถูกต้องชัดเจน และถูกต้องตามค่าพิกัดเมื่อเทียบกับรูปถ่ายดาวเทียมมาตรฐานของ Bing Map และมีรายละเอียดที่คมชัดมาก สามารถดำเนินการในกระบวนการออกแบบชุมชนเมืองหรือทางผังเมืองได้เลย รวมถึงสามารถติดตั้งข้อมูลทางด้านออกแบบสถาปัตยกรรมทุกรูปแบบ ตามรูปที่ 6 ได้นำรูปแบบสถาปัตยกรรมขององค์พระธาตุพนม และการปรับปรุงอาคารบริเวณพื้นที่ริมแม่น้ำโขงเข้ามาในการดำเนินการผลที่ได้สามารถนำไฟล์ที่ได้ไปใช้งานต่อทางด้านการวิเคราะห์พื้นที่ การออกแบบโครงสร้างเมืองใหม่ เช่น ถนน รวมถึงการจำลองภาพการเดินทางภายในเมือง ซึ่งเป็นรูปถ่ายทางอากาศที่ได้จากเครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) ถือได้ว่าเป็นการต่อยอดและเป็นการรวมข้อมูลกลุ่มใหญ่ๆ ทางด้าน GIS และข้อมูลออกแบบสถาปัตยกรรมผังเมืองได้เป็นอย่างดี ถือได้ว่าเป็นกระบวนการประยุกต์ใช้ที่สามารถต่อยอดได้อีกมากในงานศึกษา



รูปที่ 6 โปรแกรม Autodesk Infracore ของพื้นที่ศึกษา วัดพระธาตุพนมวรวิหาร อ.ธาตุพนม จ.นครพนม
ที่มา: ธาราธิ บุญเหลือ (2560)

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ผลการดำเนินการในการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศได้รูปถ่ายทางอากาศที่มีคุณภาพ มีความคมชัดเห็น สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ การออกแบบสถาปัตยกรรมและผังเมือง ในพื้นที่ศึกษา โดยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1 ตร.กม. ตามรูปที่ 7 ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือ และโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมในการจัดทำ ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมบนเครื่อง PC เช่น Agisoft Photoscan Professional และ Autodesk Infracore และยังมีโปรแกรมสำเร็จรูปบน iOS Device เช่น DJI GO และ Pix 4D Capture P2V ในการดำเนินการครั้งนี้ ผู้ศึกษาต้องใช้ความรู้หลายด้านไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการบังคับเครื่องบินบังคับอัตโนมัติ (Drone) ด้วยความเชี่ยวชาญ ถึงแม้ว่าปัจจุบันจะมีระบบอัตโนมัติ แต่ในบางครั้งอาจเกิดข้อผิดพลาดยังสามารถควบคุมเครื่องบินบังคับอัตโนมัติได้ นอกจากความเชี่ยวชาญด้านการบินแล้ว ต้องมีความรู้เรื่องการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศต้องเรียนรู้ในเรื่องโปรแกรมสำเร็จรูป Agisoft Photoscan Professional ซึ่งเป็นโปรแกรมทางด้านการจัดทำรูปถ่ายอัตโนมัติ โดยผ่านขั้นตอนต่างๆ จนได้รูปถ่ายทางอากาศที่ชัดเจน โดยลักษณะของไฟล์ที่ได้ดำเนินการนั้นมีค่าพิกัด Georeference อีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นรูปถ่ายดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้ในโปรแกรมเพื่อการออกแบบทางผังเมืองที่ชื่อว่า Autodesk Infracore ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ในการบริหารจัดการพื้นที่ โดยได้ความละเอียดที่คมชัด และยังสามารถนำไปใช้ในการจัดทำผังแม่บท รวมถึงการออกแบบจัดทำตัวอย่างการพัฒนา (Design Guideline) เป็นข้อมูลทางกายภาพที่เป็นปัจจุบันและสามารถไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ถือว่าเป็นการศึกษาที่ประสบความสำเร็จไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้รูปถ่ายที่มีความชัดเห็น มีการทดลองเรื่องการต่อรูปถ่ายทางอากาศ และยังสามารถนำมาใช้ได้ ในโปรแกรมทางสถาปัตยกรรมผังเมืองที่ทันสมัยในลักษณะของ Building Information Modeling (BIM) ยังต่อยอดในกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรมผังเมืองได้เป็นอย่างดี ถือว่าเป็นกระบวนการที่ค้นพบและสามารถต่อยอดเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการออกแบบสถาปัตยกรรมผังเมืองต่อไป



รูปที่ 7 รูปถ่ายทางอากาศที่ได้ดำเนินการจากเครื่องบินบังคับอัตโนมัติ ขนาด 1 ตร.กม.
ที่มา: ธารวุฒิ บุญเหลือ (2560)

5.2 ข้อเสนอแนะงานศึกษาขั้นต่อไป

5.2.1 ศึกษาความถูกต้องทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geography Information System) โดยตรวจสอบความถูกต้องโดยการกำหนด Ground Control Station (GCS) ในพื้นที่ศึกษา เพื่อตรวจสอบค่าพิกัดอย่างละเอียด

5.2.2 ศึกษาเรื่องความคมชัดของภาพ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องให้ได้มากที่สุดโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้าน Photogrammetry

5.2.3 ควรศึกษาต่อยอดในเชิงลึกด้านวิศวกรรมสำรวจ และกระบวนการจัดทำรูปถ่ายทางอากาศโดยใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ

5.2.4 ควรศึกษาข้อจำกัดต่างๆ เช่น ทัศนวิสัยในการบิน ข้อกำหนด รวมถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อความปลอดภัยทางการบิน

5.2.5 ควรต่อยอดการนำไปใช้ในโปรแกรม Autodesk InfraWorks เพื่อเป็นเครื่องมือใหม่ที่ทันสมัยทางด้าน Building Information Modeling (BIM) ทางสถาปัตยกรรมและผังเมือง

เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ ศรีกลาง. (2558). อากาศยานไร้คนขับ กับ งานโฟโตแกรมเมตรี. กรุงเทพฯ: โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร.
- กรมแผนที่ทหาร. (2556). ระบบให้บริการข้อมูลของหน่วยงานกรมแผนที่ทหาร. เข้าถึงได้จาก: <http://www.rtsd.mi.th/>.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2559). โครงการศึกษาออกแบบวางผังพื้นที่เฉพาะ ชุมชนชายแดนบ้านธาตุพนมสามัคคี จังหวัดนครพนม. กรุงเทพฯ: สำนักผังเมืองรวมและผังเมืองเฉพาะ.
- ธราวุฒิ บุญเหลือ. (2557). การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) เพื่อจัดทำรูปถ่ายทางอากาศ กรณีศึกษาพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม วิทยาเขตขามเรียง. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2557(63), 55-68.
- ไพศาล สันติธรรมนนท์, ภาณุ อุทัยศรี และธีระภัทร ชื่นชม. (2554). เอกสารประกอบการประชุมสนามทดสอบการทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ. กรุงเทพฯ: กรมที่ดินร่วมกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2555). ผลิตภัณฑ์และการบริการ. เข้าถึงได้จาก: http://www.gistda.or.th/gistda_n/index.php/service.
- วิชัย เที่ยงวีรชน. (2555) การสำรวจจริงวัด: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล และคณะ (2558). อากาศยานไร้คนขับกับงานโฟโตแกรมเมตรี. เอกสารสรุปผลการศึกษาค้นคว้ารายกลุ่มรายวิชาโฟโตแกรมเมตรี. โรงเรียนแผนที่. กรมแผนที่ทหาร หน้า 24-25.
- Ahmad, A. (2011). Digital Mapping Using Low Altitude UAV. **Journal of Science and Technology**, 19(1), 51-58.
- Canada.ca (2016). **Concepts of Aerial Photography**. Retrieved from <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/air-photos/about-aerial-photography/9687>.
- Fahlstrom, P. and Gleason, T. (2012). **Introduction to UAV System**. West Sussex: John Wiley and Son.
- James, S. Aber, J.S., Irene, M. and Johannes, B.R. (2010). **Format Aerial Photography, Principles Techniques and Geoscience Applications**. Oxford: Elsevier Publisher.
- Joanne, B. (1999). **Aerial Photography**. Wollongong: Five Islands Press.
- World Heritage. (2011). **Preparing World Heritage Nominations (Second Edition)**. New York: The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.