

การหาปริมาตรด้วยความสูงของอาคารจาก ข้อมูลภาพถ่ายเพื่อใช้ประเมินความเสียหายจากภัยพิบัติ

ธีรไนย ศรีธรรมรงค์^{1*} สุริยะเวช บุญธรรารัตน์² และ สมสฤกษ์ สิ้นหน่ง³

วันที่รับ 20 มีนาคม 2563 วันที่แก้ไข 20 มีนาคม 2563 วันตอบรับ 1 มีนาคม 2563

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกต่างต้องเผชิญเหตุการณ์ภัยพิบัติเพิ่มมากขึ้น โดยได้สร้างความเสียหายและส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชากรโลกเป็นจำนวนมาก ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่ได้รับ ความเสียหายจากเหตุการณ์ภัยพิบัติเช่นกัน ดังนั้นคณะวิจัยจึงเกิดแนวคิดในการบูรณาการองค์ความรู้ระหว่างเทคโนโลยียานไร้คนขับร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหาปริมาตรความสูงของอาคารจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจาก UVS และเพื่อนำวิธีการหาปริมาตรความสูงของอาคารไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและประเมินความเสียหายด้านภัยพิบัติ พื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่อาคารเรียน มหาวิทยาลัยพะเยา ขั้นตอนการศึกษานำอากาศยานไร้คนขับ eBee Plus บินสำรวจและผลิตภาพถ่ายทางอากาศ ผลผลิตที่ได้รับ ได้แก่ ภาพออร์โธโมเสค แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DTM) จากนั้นนำผลผลิตที่ได้รับไปใช้ในการหาปริมาตรความสูงของอาคาร โดยทำการตัดความสูงของ DTM ออกจาก DSM ให้เหลือเพียงค่าความสูงของวัตถุนั้นบนพื้นโลก (DSM) เท่านั้น และแสดงผลร่วมกับฐานข้อมูลอาคารที่ทำการจำแนกจากภาพออร์โธโมเสค ผลการศึกษาพบว่า ความสูงของอาคารที่ได้จากการศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 6-14 เมตร จากการศึกษาทำให้ได้รับองค์ความรู้ในเรื่องการหาปริมาตรความสูงของอาคารจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและประเมินความเสียหายด้านภัยพิบัติได้ในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ : ภาพออร์โธ, การประเมินความเสียหาย, ระบบยานไร้คนขับ, ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

^{1, 3} ส่วนบัณฑิตศึกษา (Academic Cooperation Division - TAC), สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

² ส่วนบริหารองค์ความรู้ (Knowledge Management Division - TKM), สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: Teeranai.s@dti.or.th

Determining building volumes with heights extracted from aerial imagery data for natural disaster damage assessment

Teeranai Srithamarong ^{1*} Suriyawate Boonthalarath ² and Somsarit Sinnung ³

Received 20 March 2020, Revised 20 March 2020, Accepted 1 March 2020

Abstract

Nowadays many countries around the world are facing more and more with natural disasters that have caused damages and effected the lives and property of a large number of the world's population. Thailand is also one of the countries that have been damaged by various natural disasters. Therefore, the research team came up with the idea of integrating the knowledge of an unmanned vehicle system and Geographic Information Systems. The objective of this study is to determine the volume from building heights extracted from aerial imagery data. The aerial images were acquired by an eBee Plus drone. The calculation was applied to gain the volume of the buildings. The result data will be used later on in a disaster damage assessment process. University of Phayao, a university in the northern part of Thailand, was selected as the study area. The study process started with the eBee image acquisition to produce orthoimages. DSM and DTM were then obtained and used to determine the volume and height of the building. The technique of cutting the height of the DTM from the DSM was applied to come up with the height of the bear terrain of the campus. The result was incorporated with the GIS building vector layer that was classified from the produced orthoimages. The findings show that the heights of the buildings in the study campus are between 6 - 14 meters. The knowledge gained from this study is the technique of determining the volume from the building height extracted from aerial imagery data. Further studies will cover topics of applying the result data for natural disaster damage assessment.

Keywords : Orthoimage, damage assessment, unmanned vehicle system, GIS

^{1,3} Academic Cooperation Division - TAC, Defence Technology Institute

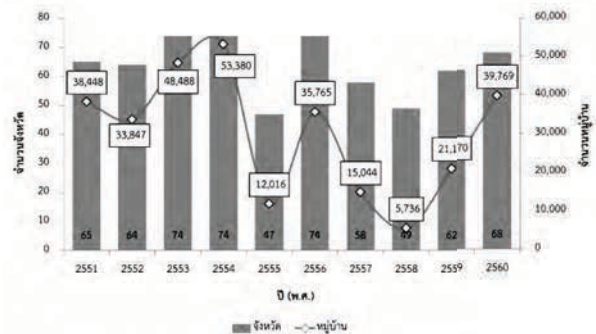
² Knowledge Management Division - TKM, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: Teeranai.s@dti.or.th

1. บทนำ

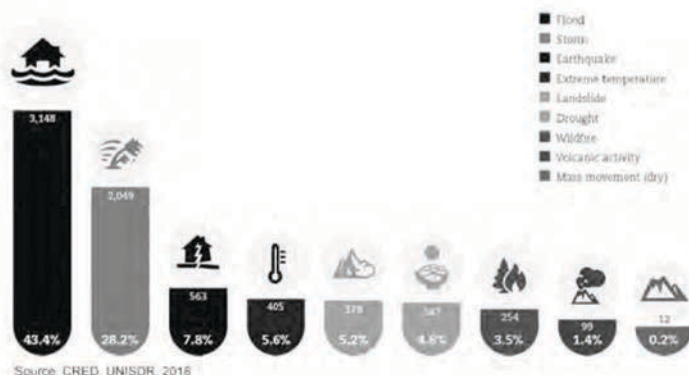
ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาหลายประเทศทั่วโลกต่างต้องเผชิญเหตุการณ์ภัยพิบัติในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น ไฟป่า พายุ น้ำท่วม ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ได้สร้างความเสียหายและส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชากรโลกจนไม่อาจนับมูลค่าได้ ปัจจุบันองค์กรภาครัฐและเอกชนในประเทศต่าง ๆ ได้มีการจัดทำมาตรการในการป้องกัน ช่วยเหลือ และลดผลกระทบจากภัยพิบัติอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน สำนักงานเพื่อการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติแห่งสหประชาชาติ (United Nations Office for Disaster Risk Reduction: UNISDR) (2018) [1] ได้แบ่งประเภทของภัยพิบัติออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ อุทกภัย วาตภัย แผ่นดินไหว ดินถล่ม ภัยแล้ง ไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว และการเคลื่อนย้ายมวล จากข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทั่วโลกในช่วงปี พ.ศ. 2541-2560 แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าเหตุการณ์ภัยพิบัติประเภท อุทกภัย มีอัตราการเกิดสูงสุดจำนวน 3,148 ครั้ง คิดเป็น 43.4% ของเหตุการณ์ทั้งหมด

จากการรวบรวมข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติของประเทศไทยในช่วง 10 ปี (พ.ศ. 2551-2560) พบว่าเหตุการณ์ภัยพิบัติประเภทอุทกภัยมีอัตราการเกิดสูงสุด โดยมีพื้นที่ประสบเหตุสูงสุด 74 จังหวัด 30,366 หมู่บ้าน [2] แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเกิดภัยพิบัติในประเทศไทย [2]

จะเห็นได้ว่าเหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นนั้นสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมากและเป็นสิ่งที่ไม่อาจควบคุมได้ เพราะฉะนั้นการเตรียมความพร้อมในการบริหารจัดการรับมือทั้งก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้สามารถวางแผนเพื่อรับมือกับภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นได้ รวมไปถึงการเตรียมความพร้อมในการฟื้นฟูและช่วยเหลือผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ภัยพิบัติได้



รูปที่ 1 การเกิดภัยพิบัติทั่วโลกปี พ.ศ. 2541-2560 [1]

ดังนั้นคณะวิจัยจึงเกิดแนวคิดในการบูรณาการองค์ความรู้ระหว่างระบบยานไร้คนขับ (Unmanned Vehicle System: UVS) ร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) โดยมีวัตถุประสงค์ คือ

1) เพื่อศึกษาการหาปริมาณความสูงของอาคารจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจาก UVS

2) เพื่อนำวิธีการหาปริมาณความสูงของอาคารไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและประเมินความเสียหายด้านภัยพิบัติ

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 พื้นที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ คือ พื้นที่อาคารเรียนมหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา มีพื้นที่ประมาณ 1.18 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นพื้นที่เนินเขาสลับพื้นที่ราบแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 พื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1) คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows 10 64-bit core i7 RAM 8 GB

2) อากาศยานไร้คนขับ รุ่น eBee Plus กล้อง Sensor Optimised for Drone Applications (S.O.D.A.)

3) ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ Pix4D mapper 4.4.12

4) ซอฟต์แวร์วางแผนการบิน eMotion3

5) ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ArcMap 10.5

2.3 ระบบยานไร้คนขับ (UVS) และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS)

ปัจจุบัน UVS เข้ามามีบทบาทในงานสำรวจและงานแผนที่เป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถลดงบประมาณและระยะเวลาการทำงาน ลดความเสี่ยงในการเข้าพื้นที่ที่ยากลำบากและอันตราย อีกทั้งผลลัพธ์ของข้อมูล เช่น ภาพถ่ายออร์โธโมเสค (Orthomosaic) แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM) แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Terrain Model: DTM) และ จุดความสูงหนาแน่น (Point Cloud) [3] ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ ร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) คือ ข้อมูลแสดงตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ และข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) คือ ข้อมูลที่อธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น ชื่อสถานที่ ความสูง และคำอธิบายอื่น ๆ เป็นต้น

2.4 ทบทวนวรรณกรรม

Binard, Devriendt, Cornet, and Donnay (2006) [4] ทำการวิเคราะห์ความสูงอาคารจากภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ที่มีความละเอียดสูง (VHR satellite) พื้นที่ศึกษาวรรณเทือกเขา Liège ประเทศเบลเยียม โดยใช้ภาพ DSM จากดาวเทียม (DSM_{sat}) และภาพ DSM ที่คณะวิจัยจัดทำเป็นตัวอย่าง (DSM_{ref}) จากนั้นทำการตัดพื้นที่ฐานของอาคาร (Building footprint) ออกจากภาพ DSM ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพแบบ Erosion (การทำให้ความหนาหรือขนาดของวัตถุในภาพลดลง) ขนาด 7×7 พิกเซล ($m7 \times 7$) เพื่อประมาณความสูงของพื้นที่นั้นด้วยค่าความสูงของพื้นดินในบริเวณ

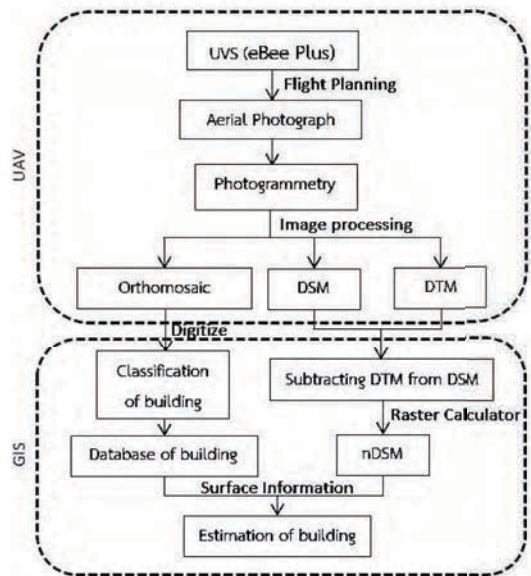
รอบ ๆ อาคาร (3 เมตร) จากนั้นคำนวณหาความสูงของอาคาร จากสมการ ดังนี้ $\text{Building height} = \text{Mean DSM} - \text{Min DSM}_{m7 \times 7}$ และคำนวณความคลาดเคลื่อนจากผลของความสูงอาคารระหว่างค่า Building height ของภาพถ่ายเทียม และภาพที่คณะวิจัยจัดทำเป็นตัวอ้างอิง ผลการศึกษาพบว่า ความสูงเฉลี่ยของอาคารประมาณ 4.07 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) 6.37 กล่าวคือ ค่าความสูงจากการศึกษานั้นมีค่าความถูกต้องต่ำ

Lim et al. (2015) [5] ทำการคำนวณความสูงและขนาดเรือนยอดของต้นไม้จากภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้โดรน มีขั้นตอนการศึกษา คือ นำข้อมูล DTM มาลบออกจาก DSM เพื่อให้ได้ความสูงของพื้นผิวปกติ (Normalized Digital Surface Model: nDSM) และนำภาพออร์โธโมเสคมาทำการแบ่งจำแนกพื้นที่ต้นไม้ในรูปแบบ shapefiles จากนั้นคำนวณความสูงของต้นไม้จากค่าของ nDSM ที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่ต้นไม้ที่จำแนกไว้ และทำการตรวจสอบความถูกต้องของค่าความสูงโดยนำกล้องสำรวจประมวลผลรวม (Total station: TS) มาตรวจวัดความสูงต้นไม้เปรียบเทียบกับค่าความสูงต้นไม้ที่คำนวณได้จากภาพถ่าย ผลการตรวจสอบความถูกต้องพบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงของสองวิธีมีความแตกต่างกันที่ 0.5 เมตร และมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง 0.84 กล่าวคือ ทั้งสองวิธีแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

3. การดำเนินการวิจัย

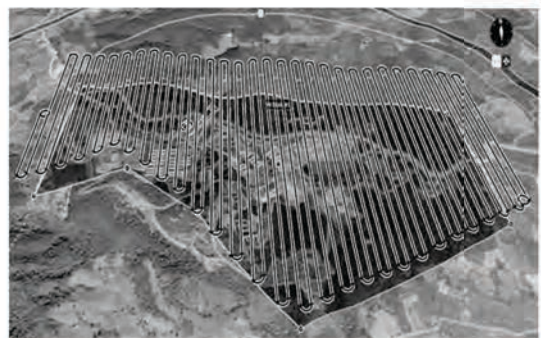
กรอบแนวความคิดของการวิจัยครั้งนี้ คือการนำระบบยานไร้คนขับและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาวิเคราะห์หาปริมาณความสูงของอาคาร แสดงดังรูปที่ 4 โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

3.1 การผลิตถ่ายภาพทางอากาศจาก UAV รุ่น eBee Plus กล้อง S.O.D.A. วางแผนการบิน (Flight Planning) ด้วยซอฟต์แวร์ eMotion3 โดยกำหนดค่าส่วนซ้อน (Overlap) 75% และส่วนเกย (Sidlap) 70% ความสูงการบิน 170 เมตร ความละเอียดจุดภาพ



รูปที่ 4 กรอบแนวความคิด

(Ground sampling distance: GSD) 4 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5 จากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเข้าสู่การประเมินผล (Image processing) ด้วยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ Pix4D mapper 4.4.12 เพื่อประมวลผลข้อมูลภาพ Orthomosaic, DSM และ DTM [6]



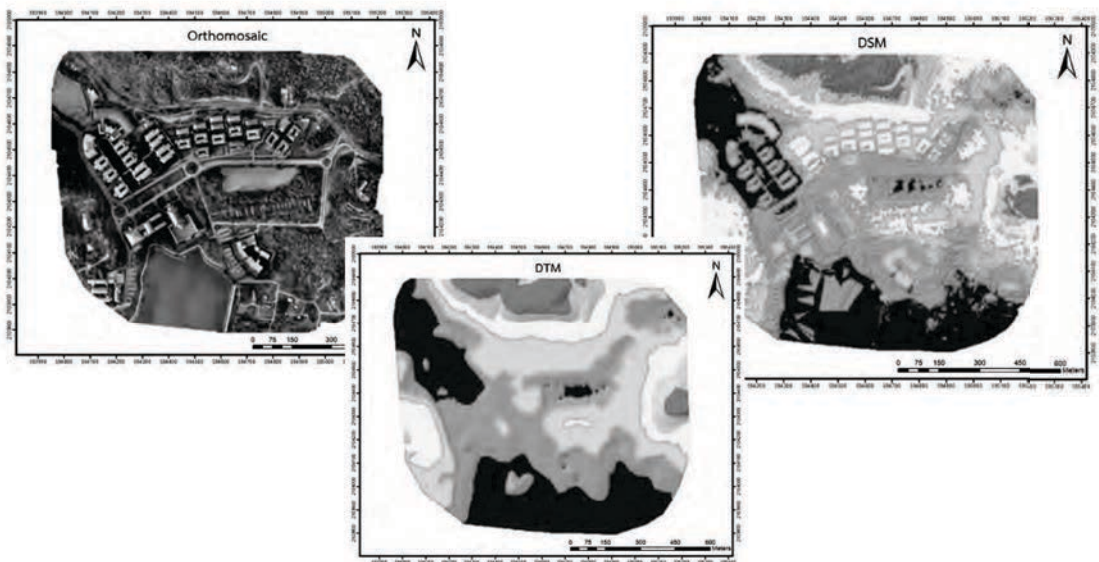
รูปที่ 5 การวางแผนการบิน

3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณความสูงของอาคาร ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การสร้างฐานข้อมูลอาคารในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยจำแนกพื้นที่อาคาร (Classification of building) ในข้อมูลภาพออร์โธโมเสคให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Digitize) [7] เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูล (Database of building) สำหรับคำนวณปริมาณความสูงของอาคาร และส่วนที่ 2 การคำนวณความสูงของพื้นที่ศึกษาโดยทำการตัดความสูงของภูมิประเทศออกให้เหลือเพียงค่าความสูงของวัตถุบนพื้นโลกเท่านั้น (Subtracting DTM from DSM) โดยใช้เครื่องมือ Raster Calculator ขั้นตอนสุดท้ายนำข้อมูลความสูงของวัตถุนบนพื้นโลก (nDSM) แสดงผลร่วมกับฐานข้อมูลอาคารโดยใช้เครื่องมือ Surface Information [8]

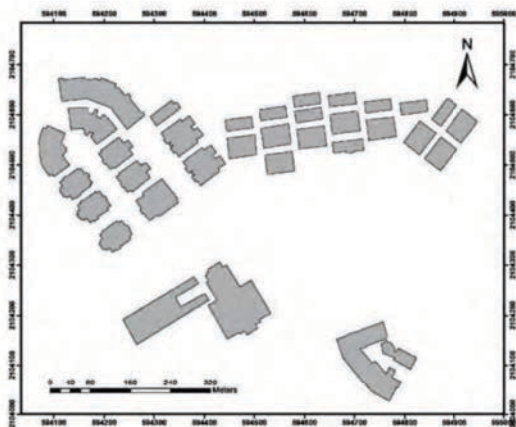
4. ผลการศึกษา

4.1 การผลิตถ่ายภาพทางอากาศ ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ ประกอบด้วย ข้อมูลภาพออร์โธโมเสค แบบจำลองพื้นผิวดิจิตอล และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข แสดงดังรูปที่ 6

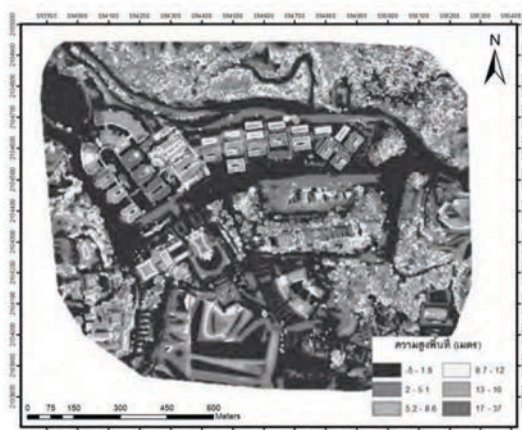
4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณความสูงของอาคาร ส่วนที่ 1 การสร้างฐานข้อมูลอาคารในรูปแบบเวกเตอร์ แสดงดังภาพที่ 7 ส่วนที่ 2 การคำนวณความสูงของวัตถุนบนพื้นโลกในพื้นที่ศึกษา พบว่า หลังจากทำการตัดความสูงของภูมิประเทศออกมีความสูงอยู่ระหว่าง -5 ถึง 37 เมตร แสดงดังรูปที่ 8 และเมื่อแสดงผลร่วมกับฐานข้อมูลอาคาร พบว่า อาคารมีความสูงอยู่ระหว่าง 6 ถึง 14 เมตร แสดงดังรูปที่ 9 และตารางที่ 1



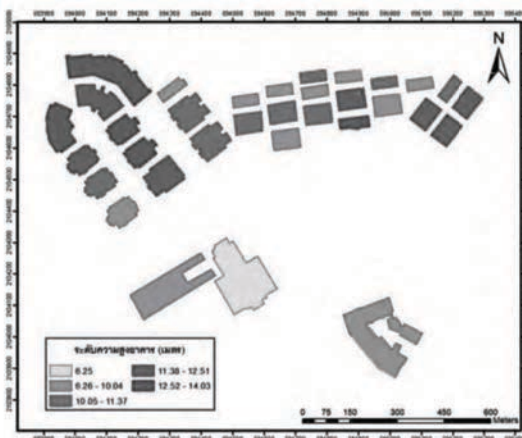
รูปที่ 6 ข้อมูลจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ



รูปที่ 7 ฐานข้อมูลอาคารในรูปแบบเวกเตอร์



รูปที่ 8 ความสูงของวัตถุบนพื้นโลก



รูปที่ 9 ความสูงอาคารจากการคำนวณ

ตารางที่ 1 ความสูงอาคารจากการคำนวณ

FID	Height (m)	FID	Height (m)
1	11.09	18	9.33
2	10.61	19	11.09
3	9.51	20	11.31
4	8.61	21	10.04
5	11.81	22	9.70
6	10.64	23	11.58
7	9.36	24	14.03
8	11.87	25	9.59
9	13.12	26	11.30
10	13.62	27	9.67
11	13.52	28	10.68
12	12.51	29	12.10
13	13.50	30	12.10
14	9.69	31	12.04
15	10.79	32	9.96
16	11.37	33	6.25
17	9.85		

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การผลิตภาพถ่ายทางอากาศจาก UVS รุ่น eBee Plus เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล Orthomosaic, DSM และ DTM ที่มีประสิทธิภาพนั้นควรให้ความสำคัญเรื่องความถูกต้องเชิงตำแหน่งโดยการรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบ RTK (Real time kinetics) [9] และการวางแผนการบิน ควรเลือกตำแหน่งของการบินที่สามารถขึ้นบินและลงจอดได้สะดวก อยู่ในบริเวณกลางแนวบิน ระยะการติดต่อระหว่างรีโมตกับอากาศยานจะต้องไม่ถูกบดบังด้วยอาคารหรือต้นไม้ที่หนาแน่นหรือสั่นไหว

การนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศไปใช้ในการศึกษาหาปริมาตรความสูงของอาคารนั้น เนื่องด้วยข้อจำกัดของงานวิจัยในครั้งนี้อย่างงานวิจัยไม่มีข้อมูล Point Cloud ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำในการหาปริมาตรความสูงมากกว่า ทำให้การหาปริมาตร

ความสูงที่ได้จากการศึกษานี้ เป็นเพียงการประมาณค่า ความสูงเฉลี่ยของอาคารเท่านั้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอาจ จะไม่ถูกต้องและแม่นยำมากนัก ดังนั้นการจะนำขั้นตอน ของการวิจัยในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและ ประเมินความเสียหายด้านภัยพิบัติ จึงจำเป็นต้องมี การใช้ข้อมูล Point Cloud ที่มีความถูกต้องและแม่นยำ ควบคู่ไปกับการตรวจสอบความสูงอาคารโดยใช้เครื่องมือ วัดสำรวจตามมาตรฐานสากลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ความถูกต้องของการวิเคราะห์ต่อไป

รายงานผลการศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนา องค์ความรู้โครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วม เพื่อจำลองภารกิจการช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ ฉุกเฉิน ภายใต้กิจกรรมการประชุมเตรียมการร่วมภาควิชา นกวิจัยโครงการ เพื่อการเผยแพร่ผลงานโครงการ รหัสงบประมาณ 113.0200163 C2 TKP

6. เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 2018. Disaster Data & Statistics. Available from: www.preventionweb.net/knowledgebase/disaster-statistics [Accessed 12 March 2020]

[2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2559. ข้อมูลตัวชี้วัด “จำนวนพื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติทางธรรมชาติ”. ข้อมูลจาก www.onep.go.th/env_data/2016/01_77 [ค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2563]

[3] Eversmann B., 2013, Digital Elevation Models and Relief Shading. Royal University of Agriculture, Faculty of Land Management and Land Administration

[4] Lim YS, La PH, Park JS, Lee MH, Pyeon MW, Kim JI. 2015. Calculation of Tree Height and Canopy Crown from Drone Images Using Segmentation, Journal of the Korean Society

of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 33, No. 6, 605-613, 2015.

[5] Marc, B., Dennis, D., Yves, C. & Jean-Paul, D. 2006. Analysis of buildings height computed on a DSM generated from a VHR satellite stereopair. 1st EARSeL workshop of the SIG Urban Remote Sensing Humboldt Universität zu Berlin, 2-3 March 2006.

[6] ชำนาญ ชุมทรัพย์ (2562) การถ่ายทอด เทคโนโลยีของโครงการวิจัยและพัฒนาสู่ภาคการศึกษา และภาคอุตสาหกรรม (The Technology Transfer of Research and Development Project to Academic and Industrial Sectors). วารสารสถาบันวิชาการ ป้องกันประเทศ (National Defence Studies Institute Journal) ฉบับที่ 2 ปีที่ 10 พฤษภาคม – สิงหาคม 2562, น. 12-25.

[7] รศ.สุเพชร จิรจรกุล. 2552. เรียนรู้ระบบ ภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3.1. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท เอส.อาร์.พรินต์ติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.

[8] Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). 2020. Add Surface Information. Available from: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/add-surface-information.htm> [Accessed 12 March 2020]

[9] อีรศักดิ์ อุปการ และชำนาญ ชุมทรัพย์. 2561. การบินถ่ายภาพด้วย UVS เพื่อวัตถุประสงค์การผลิต แผนที่ภาพถ่ายมาตราส่วนใหญ่. วารสารเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ. ปีที่ 3 ฉบับที่ 23. กรกฎาคม-กันยายน. น. 88-90.