

การประยุกต์ใช้ระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียงบนอากาศยานไร้คนขับเพื่อรังวัดวัดรอยพิมพ์ฐานอาคาร Application of Multi-Head Oblique Cameras on UAV to Delineate of Building Footprint

จเด็จ ไพบูลย์สิทธิกันต์¹ ไพบูลย์ สันติธรรมนนท์²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: chadet.p@numap.co.th¹, phisan.s@chula.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายเฉียงที่ได้จากระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียงติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับชนิด VTOL (Vertical Take-off and Landing) เพื่อรังวัดวัดรอยพิมพ์ฐานอาคารสำหรับงานออกแบบทางด้านวิศวกรรมโยธาและการวางผังเมือง โดยระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียงประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพจำนวน 2 กล้องวางตัวเฉียงกับแนวตั้งและแนวบินถ่ายภาพ กล้องทั้งสองถูกโยยยึดไว้ด้วยอุปกรณ์แท่นยึดกล้อง (Camera-Rig) โดยมีความสัมพันธ์ในเชิงการเลื่อนที่ (Translation) และการหมุน (Rotation) ที่สัมพันธ์ต่อกัน ทำการบินถ่ายภาพแบบกริดตามหลักการทางโฟโตแกรมเมตรีโดยมีส่วนซ้อนด้านหน้า (Front Overlap) 80% และส่วนซ้อนด้านข้าง (Side Overlap) 60% และบันทึกภาพทั้งสองกล้องพร้อมกัน ผลการวิจัยพบว่า การรังวัดวัดรอยพิมพ์ฐานอาคารจากภาพถ่ายเฉียงที่ได้ มีความถูกต้องใกล้เคียงกับวิธีรังวัดภาคพื้นดินด้วยกล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม (Total Station) และมีความถูกต้องเพียงพอที่จะแสดงผลบนแผนที่มาตราส่วน 1:1,000 ไปจนถึงแผนที่มาตราส่วนที่เล็กกว่า

คำสำคัญ: ภาพถ่ายเฉียง, รอยพิมพ์ฐานอาคาร, แท่นยึดกล้อง

Abstract

This article discusses the application of using oblique images from multi-head oblique cameras which are installed on a VTOL (Vertical Take-off and Landing) Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to survey building footprints for civil engineering design and urban planning. The system consists of two cameras which align obliquely with the nadir and the flight direction. The two cameras are tied on camera-rig equipment and are positioned by using relative translation and relative rotation. The image acquisition is designed to be a single grid flight path with 80% front overlap and 60% side overlap, while the two cameras take pictures simultaneously. The result shows that the accuracy of building footprints from oblique images surveying is comparable

to that of ground survey methods and is sufficient to display on 1:1,000 scale map and smaller.

Keywords: Oblique Image, Building Footprint, Camera-Rig

1. คำนำ

รอยพิมพ์ฐานอาคาร (Building Footprint) ถือได้ว่าเป็นความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับงานออกแบบทางด้านวิศวกรรมโยธาและการวางผังเมือง การให้ได้มาซึ่งรอยพิมพ์ฐานที่มีความถูกต้องใกล้เคียงสภาพจริงนั้น มักจะใช้วิธีการสำรวจทางภาคพื้นดินแบบดั้งเดิม (Conventional Survey) ด้วยกล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม (Total Station) หรือเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) ด้วยวิธี RTK (Real Time Kinematic) เป็นหลัก ซึ่งวิธีการดังกล่าวถือว่าใช้เวลาและต้นทุนค่อนข้างมากและในบางครั้งก็มีอุปสรรคในการเข้าถึงสิ่งที่จะรังวัด ดังนั้นจึงมีความพยายามอันหลากหลายที่จะให้ได้มาซึ่งข้อมูลของรอยพิมพ์ฐานอาคารที่มีความถูกต้องแต่ประหยัดต้นทุนและเวลา เช่น การสังเคราะห์จากข้อมูลไลดาร์ [1] หรือจากภาพถ่ายดาวเทียม [2] เป็นต้น ในช่วงทศวรรษที่ 2010 เป็นต้นมา ภาพถ่ายเฉียงได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการนำมาใช้สร้างรูป 3D เสมือนจริงของอาคาร [3] และใช้ในการตรวจสอบรูปร่าง 2D ของอาคาร [4] เนื่องจากสามารถมองเห็นพื้นผิวด้านข้างของอาคารได้ดีกว่าภาพถ่ายตั้ง

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายเฉียงบนอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) เริ่มมีขึ้นหลังจากที่ UAV ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เช่น การทดสอบติดตั้งระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียงแบบ Maltese Cross บน UAV [5] การศึกษาการสร้างพื้นผิวจำลอง 3 มิติของอาคารด้วยกล้องถ่ายภาพเฉียงที่ติดตั้งบน UAV [6] การศึกษาหาพื้นที่และปริมาตรของอาคารจากภาพถ่ายเฉียงจาก UAV [7] และการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายเฉียงจาก UAV ราคาประหยัดอย่าง DJI Mavic Pro เพื่อหารูปร่างและขนาดของอาคารสำหรับงานผังเมืองในจากดาร์ [8]

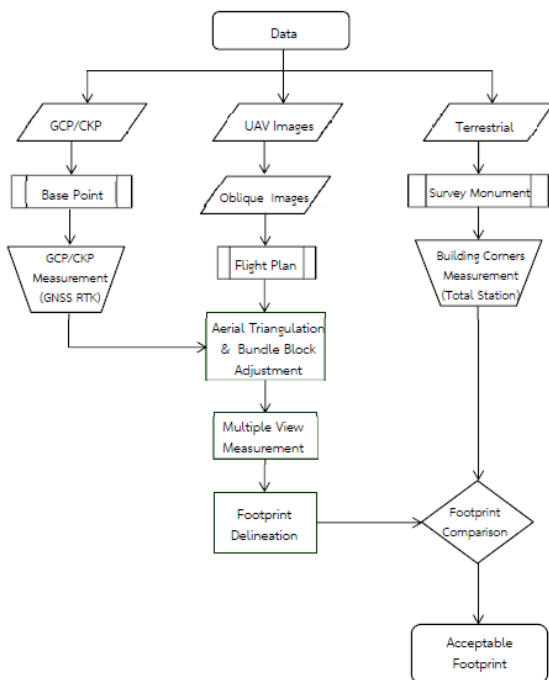
งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียงจำนวน 2 กล้องซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยอุปกรณ์แท่นยึดกล้อง (Camera-Rig) ติดตั้งระบบกล้องบน UAV ชนิด VTOL (Vertical Take-off and Landing) ทำการบินถ่ายภาพแบบกริดตามหลักการทางโฟโตแกรมเมตรี (Front Overlap 80%, Side Overlap 60%) และบันทึกภาพทั้งสอง

กล้องพร้อมกัน โดยมีความคาดหวังว่าภาพถ่ายเฉียงที่ได้ จะช่วยเพิ่มศักยภาพการมองเห็นบริเวณด้านข้างของอาคารได้ดีกว่าภาพถ่ายตั้ง เพื่อให้การรังวัดตำแหน่งของมุมอาคารมีความแม่นยำ สามารถนำมาสร้างรอยพิมพ์ฐานอาคารที่มีความถูกต้อง และใกล้เคียงกับที่สามารถรังวัดได้ด้วยเครื่องมือสำรวจภาคพื้นดิน

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ขั้นตอนการวิจัย

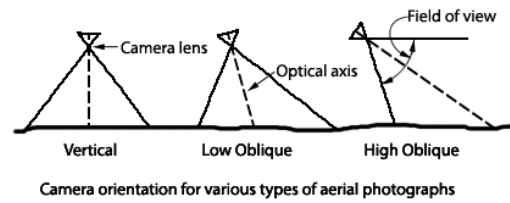
เพื่อให้สามารถเข้าใจกระบวนการวิจัยได้โดยง่าย จึงขอแนะนำภาพรวมของกระบวนการวิจัยด้วยผังการทำงานก่อนแล้วจึงตามด้วยหัวข้อการอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการวิจัย โดยจะเริ่มทำการอธิบายในเรื่องของภาพถ่ายเฉียง (แนวตั้งที่ 2 ของผังงาน) ก่อนแล้วตามด้วยการรังวัด GNSS (แนวตั้งที่ 1 ของผังงาน) และท้ายสุดด้วยการรังวัดด้วยกล้อง Total Station (แนวตั้งที่ 3 ของผังงาน) ซึ่งผังงานแสดงกระบวนการวิจัยมีลำดับและขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย

2.2 ข้อมูลภาพถ่ายเฉียงที่ใช้ในการวิจัย

ภาพถ่ายเฉียงคือภาพที่ถูกถ่ายขึ้นโดยให้แกนของกล้องเอียงออกจากแนวตั้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ภาพเฉียงต่ำ (Low oblique photograph) ที่เห็นเส้นขอบฟ้าปรากฏบนภาพ และภาพเฉียงสูง (High oblique photograph) ที่เห็นเส้นขอบฟ้าปรากฏบนภาพ ปัจจุบันการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายเฉียงเพื่อการรังวัดจะเป็นการใช้ภาพถ่ายชนิดเฉียงต่ำ ซึ่งมีมุมมองมุมเอียงไม่เกิน 45 องศาเท่านั้น [9]



Camera orientation for various types of aerial photographs



รูปที่ 2 การถ่ายภาพแนวตั้ง ภาพเฉียงต่ำและภาพเฉียงสูง [10]

ข้อมูลภาพถ่ายเฉียงที่ใช้ในการรังวัดหารอยพิมพ์ฐานอาคารในครั้งนี้ เป็นภาพถ่ายเฉียงต่ำของอาคารหลายประเภท เช่น อาคารพาณิชย์ อาคารที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน และโกดังสินค้า เป็นต้น โดยอาคารดังกล่าวมีความสูงตั้งแต่ 1-4 ชั้น ทำการบินถ่ายภาพบริเวณถนนบางขุนเทียน-ชายทะเลช่วงระหว่างซอยเทียนทะเล 26 ถึงซอยเทียนทะเล 28 ด้วยอากาศยานไร้คนขับชนิด VTOL รุ่น Foxtech Nimbus V2 ติดตั้งระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียง ซึ่งประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพจำนวน 2 กล้อง รุ่น Foxtech Map-02 มีความละเอียด 24.3 ล้านจุดภาพ โดยกล้องถ่ายภาพทั้งสองถูกยึดติดไว้ทางด้านซ้ายและด้านขวาของอุปกรณ์แทนยึดกล้อง (Camera-Rig) กล้องทั้งสองมีลักษณะการวางตัวให้ทำมุมเอียงกับทิศทางการบินประมาณ 45 องศา และทำมุมเอียงกับแนวตั้งประมาณ 30 องศา โดยจำนวนภาพถ่ายเฉียงที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 430 ภาพ



รูปที่ 3 ภาพแนวเฉียงที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4 อากาศยานไร้คนขับและระบบกล้องชุดถ่ายภาพเดี่ยวที่ใช้ในงานวิจัย [11]

2.3 การวางแผนบินถ่ายภาพ

กระทำการวางแผนบินถ่ายภาพด้วยซอฟต์แวร์ ARDUPILOT [12] โดยใช้วิธีการบินถ่ายภาพแบบกริดตามหลักการทางโตะแกรมเมตรีที่ระดับความสูงบินเฉลี่ย 215 เมตร กำหนดให้มีส่วนซ้อนด้านหน้า (Front Overlap) 80% และส่วนซ้อนด้านข้างระหว่างแนวนบิน (Side Overlap) 60% ประกอบด้วยแนวนบินจำนวน 6 แนวน (นำมาใช้ประมวลผลเพียง 5 แนวนบินเนื่องจากมี 1 แนวนบินที่มีจำนวนภาพไม่เต็มแนวนบิน)

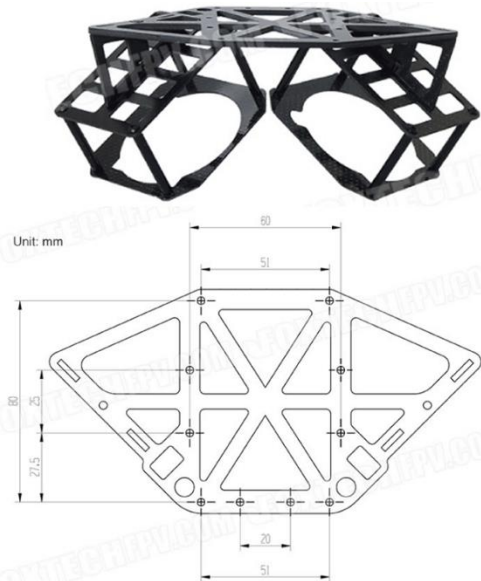


รูปที่ 5 การวางแผนบินถ่ายภาพสำหรับระบบกล้องชุดถ่ายภาพเดี่ยว

2.4 การประมวลผลภาพถ่ายเดี่ยว

ใช้ซอฟต์แวร์ Pix4D [13] ในการประมวลผลภาพถ่ายเดี่ยว ทั้งนี้เนื่องจากซอฟต์แวร์ดังกล่าวมีความสามารถในการประมวลผลระบบ Camera-Rig [14] ที่ทำการโยยัดหลายกล้องถ่ายภาพเข้าไว้ด้วยกัน ในการประมวลผล Camera-Rig นั้น จะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 2 ชนิดคือ พารามิเตอร์ของการเคลื่อนที่ (Translation) ในทิศทาง XYZ ของกล้องถ่ายภาพรองสัมพันธ์กับกล้องถ่ายภาพหลัก และพารามิเตอร์การหมุน (Rotation) รอบแกน XYZ ของกล้องถ่ายภาพรองสัมพันธ์กับกล้องถ่ายภาพหลัก โดย Camera-Rig ที่ใช้สำหรับการโยยัดระบบกล้องถ่ายภาพเดี่ยวในการวิจัยครั้งนี้ สามารถตรวจวัดค่าการเคลื่อนตำแหน่งทางแกน XYZ แบบสัมพันธ์ได้อย่างแน่ชัด ในขณะที่ค่าการหมุนรอบแกน XYZ แบบสัมพันธ์ไม่

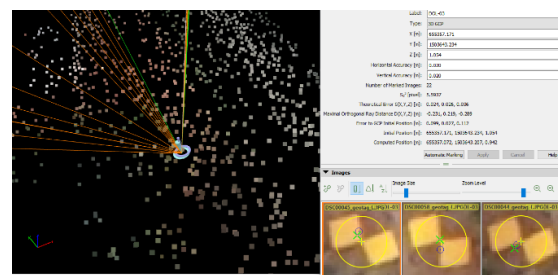
สามารถทราบค่าที่แน่ชัดได้ จึงใช้วิธีการวัดค่าโดยประมาณแล้วให้ซอฟต์แวร์คำนวณปรับปรุงค่าด้วยวิธีการเชิงเลข



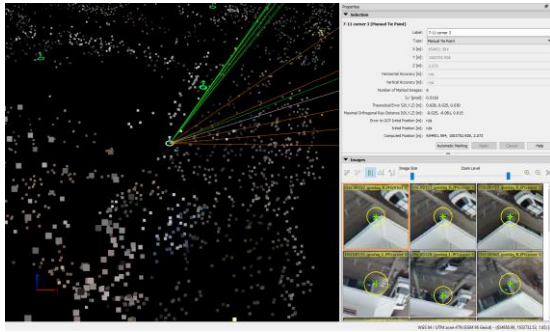
รูปที่ 6 อุปกรณ์ Camera-Rig ที่ใช้โยยัดกล้องถ่ายภาพเดี่ยว [15]

2.5 การรังวัดแบบหลายมุมมอง

การรังวัดแบบหลายมุมมองบน rayCloud Editor [16] นับเป็นคุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของซอฟต์แวร์ Pix4D เนื่องจากยินยอมให้ผู้ใช้รังวัดสามารถทำการรังวัดตำแหน่งของจุดที่สนใจจากมุมมองต่าง ๆ ที่ปรากฏบนภาพถ่ายหลายๆภาพได้ภายในเวลาเดียวกัน และยังสามารถแสดงค่าความแปรปรวนและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานทางตำแหน่งของจุดรังวัดได้ทันทีในขณะที่ทำการรังวัด ทำให้ผู้รังวัดสามารถคัดกรองจุดบังคับภาพถ่ายพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) หรือจุดโยยัดภาพ (Tie Point) ที่มีคุณภาพดีที่ปรากฏอยู่บนภาพถ่ายได้ ซึ่งวิธีการนี้นอกจากจะใช้ในการรังวัดจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดินและจุดโยยัดภาพแล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการรังวัดตำแหน่งของมุมอาคารเพื่อนำค่าพิกัด XY ของมุมอาคารมาวาดรอยพิมพ์ฐานได้



รูปที่ 7 การรังวัดจุด GCP แบบหลายมุมมองบน rayCloud Editor



รูปที่ 8 การรังวัดตำแหน่งมูมาอาคารแบบหลายมุมมองบน rayCloud Editor

2.6 การรังวัดค่าพิกัดจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดิน

ใช้จุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ใช้ในการคำนวณปรับแก้กล้องภาพถ่ายจำนวน 10 จุด โดยแต่ละจุดจะมีระยะห่างกันไม่เกิน 250 เมตร การกำหนดจุดบังคับภาพถ่ายจะพิจารณาจากจุดที่มีความเด่นชัดในพื้นที่ เช่น เครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง ฝาป้อพักชนิดกลม เป็นต้น ส่วนพื้นที่ที่ไม่ปรากฏสิ่งเด่นชัดในพื้นที่ ได้มีการสร้างจุดบังคับภาพถ่ายแบบ Pre-Marking โดยการทาสีเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40x40 เซนติเมตรสองรูปให้มุมชนกัน ทำการรังวัดค่าพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ด้วยวิธี RTK ใช้เวลาในการรังวัดค่าพิกัดต่อจุดไม่น้อยกว่า 3 นาที (180 epoch) โดยอ้างอิงค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานแผนที่ของสำนักผังเมืองกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 9 การรังวัดค่าพิกัดจุด GCP ด้วยวิธีการ RTK

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดิน (GCP)

Point ID	Easting	Northing	Ortho Hgt.	Point Class
DOL-02	655,155.374	1,503,706.269	0.914	Fixed
DOL-03	655,357.171	1,503,643.234	1.054	Fixed
DOL-06	655,311.938	1,503,978.675	1.034	Fixed
DOL-07	655,366.687	1,503,814.071	0.915	Fixed
DOL-09	655,129.315	1,504,161.883	1.191	Fixed
DOL-10	655,326.822	1,504,156.900	0.339	Fixed
DOL-11	655,500.982	1,504,125.499	1.352	Fixed
DOL-14	655,179.639	1,504,409.124	1.393	Fixed

DOL-16	655,368.926	1,504,348.763	0.224	Fixed
DOL-19	655,005.050	1,503,774.511	1.197	Fixed

2.7 การวาดรอยพิมพ์ฐานอาคารจากการรังวัดภาคพื้นดิน

การวาดรอยพิมพ์ฐานอาคารจากการรังวัดภาคพื้นดินนั้น ใช้วิธีการนำค่าพิกัด XY ของมุมอาคารที่ได้จากการรังวัดภาคพื้นดินด้วยกล้อง Total Station มาวาดเป็นรูปฐานของอาคารด้วยซอฟต์แวร์สำหรับงานเขียนแบบ เช่น AutoCAD เป็นต้น ค่าพิกัด XY ของมุมอาคารได้จากการรังวัดด้วยกล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม Leica TCRA 1103 PLUS ซึ่งมีความถูกต้องในการรังวัดระยะ 2 มิลลิเมตร + 2 ppm สำหรับการวัดแบบใช้ปริซึม และมีความถูกต้อง 3 มิลลิเมตร + 3 ppm สำหรับการวัดระยะทางแบบไม่ใช้ปริซึม มีความถูกต้องในการวัดมุม 3 ฟลิปดาตามมาตรฐาน DIN 18723 และมีระบบ Dual Axis Compensator ชดเชยความเอียงชนิดสองแกนที่มีความถูกต้อง 0.3 ฟลิปดา และมีระบบ Dual Axis Compensator ชดเชยความเอียงชนิดสองแกนที่มีความถูกต้อง 0.3 ฟลิปดา กระทำการรังวัดมุมอาคารด้วยกล้องหน้าเดียวเอกเซนการรังวัดเก็บรายละเอียดแผนที่โดยทั่วไป ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเชิงเส้นสูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อคำนวณจากการแพร่กระจายของความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ [17] แล้วมีค่าเท่ากับ ± 0.042 เมตร ซึ่งถือว่ามีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ของแผนที่มาตราส่วน 1:200 Class 1 (ความถูกต้องดีกว่า 5 เซนติเมตร) ตามมาตรฐาน ASPRS [18]

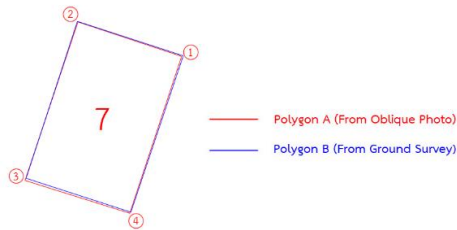


รูปที่ 10 การรังวัดค่าพิกัดของมุมอาคารด้วยกล้อง Total Station

2.8 การเปรียบเทียบรอยพิมพ์ฐานอาคาร

รอยพิมพ์ฐานอาคารที่มาจากกรังวัดทั้งสองวิธีจะถูกนำมาเปรียบเทียบในเบื้องต้นด้วยการซ้อนทับกัน (Overlay) บนซอฟต์แวร์เขียนแบบ AutoCAD (หรือซอฟต์แวร์ด้าน GIS อื่น ๆ) ในส่วนของการเปรียบเทียบแบบละเอียด จะทำการเปรียบเทียบ 2 วิธีคือ การเปรียบเทียบตำแหน่งของมุมอาคารแบบจุดต่อจุดโดยการพิจารณาค่า RMS (Root Mean Square) ของผลต่างค่าพิกัดทางราบของมุมอาคารที่ได้จากการรังวัดบนภาพถ่ายเฉียงและการรังวัดภาคพื้นดินตามมาตรฐาน NSSDA [19]

และการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของรูปปิด (Polygon) ของรอยพิมพ์ฐานอาคาร หรือแม้กระทั่งเส้นฐานของอาคารที่รังวัดได้เพียงบางส่วน ในรูปแบบของ Polyline โดยใช้วิธีการวัดระยะฮาวส์ดอร์ฟ (Hausdorff Distance) [20] ซึ่งความคล้ายคลึงกันนั้นมีไม่เพียงแต่รูปร่างของรอยพิมพ์ฐานอาคาร หากแต่ยังรวมไปถึงทิศทางการวางตัวของรอยพิมพ์ฐานอาคาร ด้วย



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบรอยพิมพ์ฐานอาคาร

3. ผลการวิจัย

3.1 การประมวลผลภาพถ่ายเฉียงจากระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียง

3.1.1 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์การวางตัวของภายนอกของกล้องถ่ายภาพทรงบนอุปกรณ์ Camera-Rig

ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การวางตัวของกล้องถ่ายภาพทรงบนอุปกรณ์ Camera-Rig นั้น ค่าพารามิเตอร์สำหรับการเลื่อนที่ (Translation) สามารถตรวจวัดค่าที่แน่ชัดได้จึงถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ส่วนค่าพารามิเตอร์สำหรับการหมุน (Rotation) ไม่สามารถตรวจวัดค่าที่แน่ชัดได้ แต่สามารถวัดค่าโดยประมาณแล้วนำมาใช้เป็นค่าเริ่มต้น (Initial) เพื่อปรับปรุงหาค่าพารามิเตอร์ที่ละเอียดด้วยวิธีการเชิงเลข (Numerical) ซึ่งผลการคำนวณที่ได้มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการเลื่อนที่ทางแกน X (ทิศทางแนวนอน) = 0.000 เมตร
- ค่าการเลื่อนที่ทางแกน Y (ตั้งฉากแนวนอน) = 0.060 เมตร
- ค่าการเลื่อนที่ทางแกน Z (แนวแกนตั้ง) = 0.000 เมตร
- ค่าการหมุนรอบแกน X = 31.657 องศา
- ค่าการหมุนรอบแกน Y = 31.868 องศา
- ค่าการหมุนรอบแกน Z = -87.561 องศา

3.1.2 ผลการคำนวณช่วยสามเหลี่ยมทางอากาศ

ในการคำนวณช่วยสามเหลี่ยมทางอากาศ ใช้จำนวนจุดบังคับภาพถ่ายภาพพื้นดิน (GCP) ทั้งสิ้นจำนวน 10 จุด ให้มีความถูกต้อง (Accuracy) ที่ได้จากการรังวัดภาคสนามด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS เท่ากับ 0.02 เมตร ทำการคำนวณร่วมกับจุดโยงยึดภาพ (Tie Points) ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ โดยมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE) ในแนวแกน XYZ ของจุดบังคับภาพถ่าย ดังต่อไปนี้

- RMSE ทางแกน X = 0.054 เมตร
- RMSE ทางแกน Y = 0.047 เมตร
- RMSE ทางแกน Z = 0.042 เมตร

3.2 การเปรียบเทียบรอยพิมพ์ฐานอาคาร

3.2.1 การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าพิกัดมุมอาคารแบบจุดต่อจุด

ในการวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวอย่างอาคารที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบรอยพิมพ์ฐานที่ได้จากรังวัดด้วยภาพถ่ายเฉียงและจากการรังวัดภาคพื้นดิน จำนวน 12 อาคารดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ตำแหน่งที่ตั้งอาคารที่ใช้ทดสอบ

ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดมุมอาคารที่รังวัดได้จากภาพถ่ายเฉียงและการรังวัดภาคพื้นดินแบบจุดต่อจุดจำนวน 67 จุด ให้ผลดังต่อไปนี้

- RMS ทางแกน X = 0.164 เมตร
- RMS ทางแกน Y = 0.168 เมตร
- RMS รวม = 0.235 เมตร
- ความถูกต้องทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามมาตรฐานของ NSSDA = 0.407 เมตร

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความแตกต่างแบบจุดต่อจุดระหว่างข้อมูลที่ได้จาก
การรังวัดบนภาพถ่ายเฉียงและการรังวัดภาคพื้นดิน

อาคาร	มุมที่	ΔX	ΔY	ΔX^2	ΔY^2
อาคารทดสอบ 1	1	-0.083	-0.051	0.0069	0.0026
อาคารทดสอบ 1	2	-0.029	-0.100	0.0008	0.0100
อาคารทดสอบ 1	3	-0.018	-0.024	0.0003	0.0006
อาคารทดสอบ 1	4	-0.026	-0.121	0.0007	0.0146
อาคารทดสอบ 1	5	0.066	-0.031	0.0044	0.0010
อาคารทดสอบ 1	6	0.033	-0.067	0.0011	0.0045
อาคารทดสอบ 1	7	0.035	-0.037	0.0012	0.0014
อาคารทดสอบ 1	8	0.015	-0.131	0.0002	0.0172
อาคารทดสอบ 1	9	0.058	-0.013	0.0034	0.0002
อาคารทดสอบ 1	10	0.043	-0.029	0.0018	0.0008
อาคารทดสอบ 1	11	0.037	0.000	0.0014	0.0000
อาคารทดสอบ 1	12	0.032	-0.063	0.0010	0.0040
อาคารทดสอบ 1	13	-0.122	0.025	0.0149	0.0006
อาคารทดสอบ 1	14	0.279	-0.013	0.0778	0.0002
อาคารทดสอบ 2	1	-0.026	-0.002	0.0007	0.0000
อาคารทดสอบ 2	2	0.218	-0.242	0.0475	0.0586
อาคารทดสอบ 2	3	0.087	-0.103	0.0076	0.0106
อาคารทดสอบ 2	4	0.318	-0.275	0.1011	0.0756
อาคารทดสอบ 2	5	0.008	-0.130	0.0001	0.0169
อาคารทดสอบ 3	1	-0.233	0.028	0.0543	0.0008
อาคารทดสอบ 3	2	0.093	0.044	0.0086	0.0019
อาคารทดสอบ 3	3	-0.115	-0.243	0.0132	0.0590
อาคารทดสอบ 4	1	-0.009	0.009	0.0001	0.0001
อาคารทดสอบ 4	2	0.025	0.026	0.0006	0.0007
อาคารทดสอบ 4	3	0.026	0.077	0.0007	0.0059
อาคารทดสอบ 4	4	-0.025	-0.138	0.0006	0.0190
อาคารทดสอบ 5	1	0.043	-0.126	0.0018	0.0159
อาคารทดสอบ 5	2	0.112	-0.010	0.0125	0.0001
อาคารทดสอบ 5	3	0.244	0.403	0.0595	0.1624
อาคารทดสอบ 5	4	0.438	-0.187	0.1918	0.0350
อาคารทดสอบ 5	5	0.318	-0.174	0.1011	0.0303
อาคารทดสอบ 5	6	0.030	-0.057	0.0009	0.0032
อาคารทดสอบ 5	7	0.083	0.573	0.0069	0.3283
อาคารทดสอบ 5	8	-0.339	0.410	0.1149	0.1681
อาคารทดสอบ 5	9	-0.102	-0.198	0.0104	0.0392
อาคารทดสอบ 5	10	0.042	-0.245	0.0018	0.0600
อาคารทดสอบ 5	11	0.199	-0.187	0.0396	0.0350
อาคารทดสอบ 6	1	0.042	0.215	0.0018	0.0462
อาคารทดสอบ 6	2	0.222	0.320	0.0493	0.1024
อาคารทดสอบ 6	3	-0.013	0.146	0.0002	0.0213
อาคารทดสอบ 6	4	0.319	0.194	0.1018	0.0376

อาคาร	มุมที่	ΔX	ΔY	ΔX^2	ΔY^2
อาคารทดสอบ 6	5	0.440	-0.104	0.1936	0.0108
อาคารทดสอบ 6	6	0.317	0.016	0.1005	0.0003
อาคารทดสอบ 7	1	-0.203	-0.089	0.0412	0.0079
อาคารทดสอบ 7	2	0.093	-0.050	0.0086	0.0025
อาคารทดสอบ 7	3	-0.103	-0.315	0.0106	0.0992
อาคารทดสอบ 7	4	-0.142	-0.124	0.0202	0.0154
อาคารทดสอบ 8	1	-0.113	-0.195	0.0128	0.0380
อาคารทดสอบ 8	2	-0.081	0.084	0.0066	0.0071
อาคารทดสอบ 8	3	-0.243	0.096	0.0590	0.0092
อาคารทดสอบ 8	4	-0.222	0.013	0.0493	0.0002
อาคารทดสอบ 9	1	0.264	-0.108	0.0697	0.0117
อาคารทดสอบ 9	2	0.094	-0.121	0.0088	0.0146
อาคารทดสอบ 9	3	-0.039	-0.176	0.0015	0.0310
อาคารทดสอบ 9	4	0.049	-0.080	0.0024	0.0064
อาคารทดสอบ 10	1	-0.222	-0.018	0.0493	0.0003
อาคารทดสอบ 10	2	0.037	-0.204	0.0014	0.0416
อาคารทดสอบ 10	3	0.158	0.131	0.0250	0.0172
อาคารทดสอบ 10	4	-0.040	-0.017	0.0016	0.0003
อาคารทดสอบ 11	1	0.108	-0.040	0.0117	0.0016
อาคารทดสอบ 11	2	-0.175	0.125	0.0306	0.0156
อาคารทดสอบ 11	3	-0.094	-0.269	0.0088	0.0724
อาคารทดสอบ 11	4	0.104	-0.069	0.0108	0.0048
อาคารทดสอบ 12	1	-0.017	-0.158	0.0003	0.0250
อาคารทดสอบ 12	2	-0.105	0.014	0.0110	0.0002
อาคารทดสอบ 12	3	0.038	0.060	0.0014	0.0036
อาคารทดสอบ 12	4	0.122	-0.263	0.0149	0.0692
SUM				1.7971	1.8978
MEAN				0.0268	0.0283
RMS(X)				0.1638	
RMS(Y)					0.1683
RMS				0.2348	
NSSDA Horizontal Accuracy at 95% Confidence Level				0.4067	

3.2.2 ผลการเปรียบเทียบความคล้ยคลึงกันของรอยพิมพ์ฐานอาคาร
การเปรียบเทียบความคล้ยคลึงกันของรอยพิมพ์ฐานอาคารกระทำโดย
วิธีการวัดระยะฮาวส์ดอร์ฟ (Hausdorff Distance : $H(A,B)$) แล้วคำนวณหา
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอาคารแต่ละหลัง (Degree of Mismatch)
ด้วยวิธีการหาความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) ดังสมการ

$$Degree\ of\ Mismatch = \left| \frac{H(A,B) - Acc.Threshold}{Acc.Threshold} \right| \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ $H(A,B)$ คือ ระยะฮาวส์ดอร์ฟระหว่างสมาชิกเซต A และ
สมาชิกเซต B, $Acc.Threshold$ คือ เกณฑ์ความถูกต้องเริ่มต้นหรือ
ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ได้ (Allowable Error) ของแผนที่ Class 1 ที่

มาตราส่วนต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ASPRS [18] ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.25 มิลลิเมตร×มาตราส่วนของแผนที่นั้น ๆ

ตารางที่ 3 สรุปผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของรอยพิมพ์ฐานอาคารของแผนที่มาตราส่วนใหญ่

อาคาร	H(A,B)	Degree of Mismatch (%)		
		1:500	1:1000	1:2000
อาคารทดสอบ 1	0.132	5%	0%	0%
อาคารทดสอบ 2	0.420	100%	68%	0%
อาคารทดสอบ 3	0.269	100%	8%	0%
อาคารทดสอบ 4	0.140	12%	0%	0%
อาคารทดสอบ 5	0.579	100%	100%	16%
อาคารทดสอบ 6	0.452	100%	81%	0%
อาคารทดสอบ 7	0.331	100%	33%	0%
อาคารทดสอบ 8	0.261	100%	5%	0%
อาคารทดสอบ 9	0.285	100%	14%	0%
อาคารทดสอบ 10	0.223	78%	0%	0%
อาคารทดสอบ 11	0.285	100%	14%	0%
อาคารทดสอบ 12	0.290	100%	16%	0%
Average H(A,B)	0.306			

4. สรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาจากค่า RMS ของความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้ของแผนที่ Class 1 ที่มาตราส่วนต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ASPRS [18] ดังต่อไปนี้

- แผนที่มาตราส่วน 1:50 = 0.0125 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:100 = 0.025 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:200 = 0.050 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:500 = 0.125 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:1,000 = 0.25 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:2,000 = 0.50 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:4,000 = 1.00 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:5,000 = 1.25 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:10,000 = 2.50 เมตร
- แผนที่มาตราส่วน 1:20,000 = 5.00 เมตร

ค่าพิคกิ้งของจุดตรวจสอบในการวิจัยครั้งนี้คือค่าพิคกิ้งของมุมอาคารที่ถูกรังวัดภาคพื้นดินด้วยกล้อง Total Station โดยวิธีการรังวัดเก็บรายละเอียดแผนที่ด้วยกล้องหน้าเดียว มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเชิงเส้นสูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งคำนวณมาจากการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ [17] เท่ากับ ±0.042 เมตร ซึ่งถือว่ามีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ของแผนที่มาตราส่วน 1:200 Class 1 ตามมาตรฐาน ASPRS [18] สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับตรวจสอบความถูกต้องที่ได้จากการรังวัด

จากภาพถ่ายเฉียงได้ โดยในการรังวัดค่าพิคกิ้งเปรียบเทียบตำแหน่งของมุมอาคารแบบจุดต่อจุดพบว่าค่า RMS ของผลต่างค่าพิคกิ้งทางราบของมุมอาคารที่ได้จากการรังวัดบนภาพถ่ายเฉียงและการรังวัดภาคพื้นดินมีค่าเท่ากับ 0.235 เมตรและความถูกต้องทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามมาตรฐานของ NSSDA [19] เท่ากับ 0.407 เมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วถือว่ามีความถูกต้องเพียงพอสำหรับการแสดงผลบนแผนที่มาตราส่วน 1:1,000 Class 1 ตามมาตรฐาน ASPRS [18] ไปจนถึงแผนที่มาตราส่วนที่เล็กกว่าอย่างแผนที่มาตราส่วน 1:5,000 Class 1 ซึ่งนิยมใช้ในงานสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นต้น ในขณะที่การเปรียบเทียบความแตกต่างของรอยพิมพ์ฐานอาคารด้วยวิธีการหาระยะฮิวสตันรังวัดแสดงในตารางที่ 3 โดยพิจารณาจากอาคารที่มีความแตกต่างกันน้อยกว่า 20% (ค่า Degree of Mismatch <20%) พบว่า แผนที่มาตราส่วน 1:500 มีความลนรอยกันน้อยที่สุด (ลนรอยกันจำนวน 1 อาคารจากทั้งหมด 12 อาคาร) แผนที่มาตราส่วน 1:1,000 อาคารส่วนใหญ่มีความลนรอยกัน (ลนรอยกันจำนวน 8 อาคารจากทั้งหมด 12 อาคาร) และแผนที่มาตราส่วน 1:2,000 อาคารทั้งหมดมีความลนรอยกัน (ลนรอยกันจำนวน 12 อาคารจากทั้งหมด 12 อาคาร) จึงอาจกล่าวได้ว่าวิธีการรังวัดบนภาพถ่ายเฉียงที่ถ่ายด้วยระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการรังวัดตำแหน่งของมุมอาคารเพื่อสร้างรอยพิมพ์ฐานอาคารสำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่ตั้งแต่มาตราส่วน 1:1000 Class 1 ไปจนถึงแผนที่มาตราส่วนที่เล็กกว่าอย่างแผนที่มาตราส่วน 1:5,000 Class 1 ตามมาตรฐาน ASPRS [18] ได้ ซึ่งจะช่วยให้ประโยชน์ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนและจัดการพื้นที่สำหรับงานผังเมือง [20] รวมถึงสามารถนำไปใช้สำหรับงานออกแบบทางด้านวิศวกรรมโยธาบางประเภทและครอบคลุมไปถึงการจัดการข้อมูลสำหรับงาน GIS ได้ โดยระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียงจะให้ประโยชน์ในด้านความรวดเร็วในการให้ข้อมูลที่ข้อมูลที่ต้องการจะรังวัด การหลีกเลี่ยงการเข้าถึงตำแหน่งของข้อมูลที่อยู่ในจุดเสี่ยงภัยหรือเข้าถึงได้ยาก ซึ่งถือว่าเป็นจุดเด่นที่สำคัญของระบบกล้องชุดถ่ายภาพเฉียงที่จะช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาในการรังวัดจัดทำแผนที่มาตราส่วนใหญ่เมื่อเทียบกับการรังวัดภาคพื้นดิน ส่วนข้อจำกัดของการรังวัดบนภาพถ่ายเฉียงนั้น หลีกเลี่ยงไม่พ้นจากเรื่องของการถูกบดบังจากสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ อาคารที่ทำการรังวัด เช่น ต้นไม้ที่ปลูกไว้ใกล้กับตัวอาคาร หรือแม้กระทั่งการบดบังกันของอาคารที่อยู่ใกล้ชิดกัน เป็นต้น

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้มีการเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยที่คล้ายคลึงกันอย่าง Aicardi et al.,(2016) [6] และงานวิจัยของ Vacca et al.,(2017) [7] แล้วพบว่า งานวิจัยที่กล่าวถึงทั้ง 2 งานนั้นสามารถให้ผลการรังวัดบน DSM ที่สังเคราะห์จากการรังวัดด้วยภาพถ่ายเฉียงได้ถูกต้องถึงระดับเซนติเมตรในขณะที่งานวิจัยนี้ให้ความถูกต้องในระดับเดซิเมตร นอกจากนั้นแล้วยังมีงานวิจัยของ Eu et al.,(2019) [22] ที่ได้ศึกษาความถูกต้องของแบบจำลอง 3D ที่สังเคราะห์ได้จากภาพถ่ายเฉียงจาก UAV ราคาประหยัดอย่าง DJI Phantom 4 Professional และงานวิจัยของ Zhang et al.,(2020) [23] ที่ได้ศึกษาแบบจำลอง 3D ที่สังเคราะห์ได้จากภาพถ่ายเฉียงที่ถูกแปลงมาจากภาพพาโนรามา โดยงานวิจัยทั้ง 2 งานที่ได้กล่าวถึงในลำดับหลังนี้ก็ให้ความถูกต้องของแบบจำลอง 3D ในระดับเซนติเมตรเช่นเดียวกัน

ซึ่งเมื่อได้พิจารณาจากข้อเท็จจริงที่ปรากฏอยู่ในกระบวนการวิจัยแล้วพบว่า งานวิจัยในครั้งนี้มีระเบียบวิธีศึกษาวิจัยที่แตกต่างจากงานวิจัยที่กล่าวถึงทั้ง 4 งานนั้นหลายประการ เช่น ระดับความสูงที่ใช้ในการบินถ่ายภาพ ขนาด GSD (Ground Sample Distance) ของภาพถ่ายเฉียง รูปแบบวิธีของการบินถ่ายภาพ การนำภาพถ่ายตั้ง (Nadir Image) มาประมวลผลร่วมกับภาพถ่ายเฉียง เป็นต้น ซึ่งสิ่งต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานี้จะต้องได้รับการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของงานรังวัดให้ดียิ่งขึ้นรวมถึงต้องมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องจนมีข้อมูลมากเพียงพอให้เกิดความเชื่อมั่นในการนำไปใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Haithcoat, T. L., Wenbo, S. and Hipple, J. D. (2001). Building Footprint Extracting and 3-D Reconstruction from LIDAR Data. *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Area*, Rome, Italy, 8-9 November 2001, pp. 74-78.
- [2] Dini, G. R., Jacobsen, K. and Heipke, C. (2013). Delineation of Building Footprint from High Resolution Satellite Stereo Imagery Using Image Matching and GIS Database. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W1, ISPRS Hannover Workshop 2013*, Hannover, Germany, 21-24 May 2013, pp. 81-85.
- [3] Cavegn, S., Haala, N., Nebiker, S., Rothermel, M. and Tutzauer, P. (2014). Benchmark High Density Image Matching for Oblique Airborne Imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume XL-3, 2014 ISPRS Technical Commission III Symposium*, Zurich, Switzerland, 5-7 September 2014, pp. 45-52.
- [4] Nyaluhuma, A. P., Gerke, M., Voseselman, G. and Mtaló, E. G. (2012). Verification of 2D Building Outline Using Oblique Airborne Images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, July 2012, 71, pp. 62-75.
- [5] Grenzdörffer, G., Niemeyer, F. and Schmidt, F. (2012). Development of Four Vision Camera System for a Micro-UAV. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B1, 2012 XXII ISPRS Congress*, Melbourne, Australia, 25 August – 1 September 2012, pp. 287-291.
- [6] Aicardi, I., Chiabrando, F., Grasso, N., Lingua, A. M., Noardo, F. and Spanò, A. (2016). UAV Photogrammetry with Oblique Images: First Analysis on Data Acquisition and Processing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress*, Prague, Czech Republic, pp. 835-842.
- [7] Vacca, G., Dessi, A. and Sacco A. (2017). The Use of Nadir and Oblique UAV Images for Building Knowledge. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6, 393, pp. 1-26.
- [8] Djimantoro, M. I. and Suhardjanto, G. (2017). The Advantage by Using Low-Altitude UAV for Sustainable Urban Development Control. *The International Conference on Eco Engineering Development 2017, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 109, pp. 1-7.
- [9] ไพศาล สันติธรรมนนท์ (2557). การรังวัดด้วยภาพสมัยใหม่ (Modern Photogrammetry). *เอกสารคำสอนภาควิศวกรรมสำรวจ*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, หน้า 272-276.
- [10] Oblique Aerial Photograph. Available online: <https://www.e-education.psu.edu/geog480/node/444> (accessed on 4 April 2020).
- [11] VTOL UAV and Multi-Head Oblique Cameras. Available online: <https://www.foxtechfpv.com/semidetached-loading-system-for-map-02-mapping-camera.html> (accessed on 4 April 2020).
- [12] ARDUPILOT. Available online: <https://ardupilot.org/> (accessed on 4 April 2020).
- [13] A unique photogrammetry software suite for drone mapping. Available online: <https://www.pix4d.com/> (accessed on 4 April 2020).
- [14] Camera-Rig Processing. Available online: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115005852003-Processing-camera-rigs> (accessed on 4 April 2020).
- [15] Camera-Rig Equipment. Available online: <https://www.foxtechfpv.com/semidetached-loading-system-for-map-02-mapping-camera.html> (accessed on 4 April 2020).
- [16] Using the rayCloud. Available online: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558639-Using-the-rayCloud> (accessed on 4 April 2020)
- [17] วิชัย เยี่ยงวีรชน (2559). *การสำรวจทางวิศวกรรม 2*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 258-285.
- [18] ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps. Available online:

- http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/1990_jul_1068-1070.pdf (accessed on 12 June 2020)
- [19] ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Available online: http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/Draft_ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_PE&RS.pdf
- [20] Hausdorff Distance between convex polygons. Available online: <http://cgm.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/cg-projects/98/normand/main.html> (accessed on 4 April 2020)
- [21] นิรุบล คล่องเวสสะ และ วิลาสินี สุขสว่าง (2549). ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางผังบริเวณ. Available online: http://www.land.arch.chula.ac.th/data/file_20100216095548.pdf (accessed on 12 June 2020)
- [22] Eu, H. J., Razak, M. S. I. A., Darwin, N., Majid, Z., Ariff, M. F. M. and Idris, K. M. (2019). 3D Model By Using Oblique Images From Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *2019 IEEE 9th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, Shah Alam, Malaysia, 7 October 2019, pp. 499-504.
- [23] Zhang, X., Zhao, P., Hu, Q., Ai, M., Hu, D. and Li, J. (2020). A UAV-based panoramic oblique photogrammetry (POP) approach using spherical projection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 159 (2020)*, pp. 198-219.