การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับการตรวจการก่อสร้างอาคาร

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR BUILDING CONSTRUCTION INSPECTION

อินทนนท์ อินทโชติ[1,*] ชินพัฒน์ บัวชาติ[2]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
[*]Corresponding author address: intanon_i@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ หรือ โดรน (Drone) มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในด้านต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ตั้งแต่การ วางแผนการสำรวจ สำรวจงานก่อสร้าง การควบคุมงาน การตรวจสอบ และการส่งมอบงาน ในงานวิจัยนี้ การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับที่มีการติดตั้งกล้องดิจิตัลเพื่อใช้ในการบันทึกกิจกรรมในการตรวจสอบโครงการก่อสร้าง จะทำการศึกษาการเปรียบเทียบการเก็บข้อมูลด้วยตัวเองกับการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อรวบรวมเป็นความรู้ ขั้นตอน และวิธีการตรวจสอบอาคารด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยวิธีการทดสอบจะนำเสนอความละเอียดของภาพกับระยะที่โดรนเข้าใกล้วัตถุในจุดต่าง ๆ เช่น ผนังด้านนอกอาคาร บริเวณรอยเชื่อมหรือจุดต่อของโครงหลังคา การศึกษาในครั้งนี้ได้วิเคราะห์ทั้งข้อดีข้อเสียของการใช้โดรนตรวจงานก่อสร้างอาคาร ลักษณะการตรวจสอบหน้างานโดยใช้คนสำรวจ วิเคราะห์ประโยชน์ที่จะได้รับ สรุปผลและข้อจำกัดของการใช้โดรนตรวจงานในแต่ละจุด พบว่าการใช้อากาศยานไร้คนขับ หรือโดรนในการตรวจสอบงาน มีความสะดวกรวดเร็วกว่าการใช้คนในการตรวจสอบ สามารถตรวจสอบบนที่สูงได้ และลดความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายขึ้นกับผู้ตรวจสอบงานด้วย

***คำสำคัญ**: อากาศยานไร้คนขับ,โดรน,ตรวจสอบงานก่อสร้าง*

Abstract

Currently, Unmanned Aerial Vehicle is extensively used in many state of the construction work. It is use for site surveying, construction and inspection. In this research, an UAV with digital camera was used to record the progress in the building construction project work. Then, the data collected by human versus UAV were compared. The procedures and methods for building inspection by UAV is proposed. The reasonable distance to obtain suitable object resolution is recommended. Several parts of building, such as exterior wall, welded areas or the connection points of the roof frame were investigated using UAV. The pros and cons of using UAV to inspect a building construction versus on-site inspection by human were summarized. The quality of UAV inspection is acceptable and can improve safety in workplace.

***Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle, Drone, Building Inspection*

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ หรือ โดรน (Drone) มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในด้านต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ตั้งแต่การ วางแผนการสำรวจ ออกแบบก่อสร้าง การควบคุมงาน การตรวจสอบ และการส่งมอบงาน

ในการตรวจสอบอาคารโดยการใช้คนสำรวจ มีข้อเสียในการมองภาพในมุมกว้างไม่ได้ดีมาก ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบในบ้างจุดได้ และเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายขึ้นกับผู้ตรวจสอบด้วย เช่นในงานตรวจสอบหลังคา หรือผนังด้านนอกอาคาร ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับที่มีการติดตั้งกล้องดิจิตัลเพื่อใช้ในการบันทึกกิจกรรมในการตรวจสอบโครงการก่อสร้าง จะทำการศึกษาการเปรียบเทียบการเก็บข้อมูลด้วยตัวเองกับการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อรวบรวมเป็นความรู้ ขั้นตอนและวิธีการตรวจสอบอาคารด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยวิธีการทดสอบจะนำเสนอความละเอียดของภาพกับระยะโดรนเข้าใกล้วัตถุในจุดต่าง ๆ

2. ทบทวนวรรณกรรม

ปัจจุบันเทคโนโลยีการบินไร้คนขับขนาดเล็ก (Unmanned Aerial Vehicle) หรือโดรน (Drone) มี ราคาถูกลงและสามารถเข้าถึงได้ง่าย จึงมีคนนำมาประยุกต์เข้ากับงานต่าง ๆ มากมาย อาทิ เช่น การนำไปใช้สำรวจ พฤติกรรมการดำเนินชีวิตของฝูงสัตว์ป่า หรือการเฝ้าระวังการรุกล้ำและการอนุรักษ์สัตว์ป่า[1]ในโครงการก่อสร้าง การตรวจสอบและควบคุมงานก่อสร้างเป็นขั้นตอน ที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งเพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพดี พร้อมทั้งสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยภายในบริเวณโครงการ ในการตรวจสอบบริเวณสถานที่ก่อสร้างที่ กว้าง หรือบริเวณสถานที่ก่อสร้างที่ต้องปีนขึ้นไปบนที่สูง

จะเป็นการเสียเวลา และเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายได้[2]อุปกรณ์อำนวยความสะดวก ทำให้ทำงานในปริมาณมากกว่าแรงงานคนหรือมีความสามารถเข้าไปในที่ ที่มีความซับซ้อนยากต่อการทำงาน จึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานก่อนสร้างเป็นไปได้อย่างสะดวก[3]

การประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ(Drone)เป็นกระบวนการที่สำคัญที่ต้องเข้าใจถึงเทคโนโลยีที่ทันสมัยโดยการใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ ในการถ่ายภาพจากมุมสูงเพื่อให้ได้รูปภาพที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ สภาพปัจจุบัน (Existing Area) ที่มีความละเอียดสูง[4]เพื่อรองรับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการขยายตัวเมืองไปยัง ภูมิภาคต่าง ๆของประเทศในอนาคต สามารถใช้รายงานความก้าวหน้าในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานได้[5]

เทคโนโลยีในการรังวัดพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับ งานด้านการรังวัด เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ให้ภาพถ่ายความละเอียดสูง สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้ทุกสภาพภูมิประเทศ[6]ความง่ายในการบังคับใช้งาน ความสามารถในการบังคับควบคุมการบินด้วยอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อน มีการบันทึกภาพ โดยใช้กล้องดิจิทัลที่สามารถบันทึกภาพระยะไกลได้[7]

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ศึกษาการนำเทคโนโลยีโดรนมาประยุกต์ใช้กับการตรวจการก่อสร้างอาคาร โดยหารูปแบบการบินที่สามารถบินเข้าไปได้ ตามเงื่อนไขข้อจำกัดของอุปกรณ์และข้อจำกัดของสิ่งก่อสร้าง โดนมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1 ศึกษาข้อจำกัดของอุปกรณ์

2 ทดสอบการบินโดยใช้คนบังคับ

3 ทดสอบระบบเซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางของอุปกรณ์

4 เก็บภาพตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

5 สรุปและประเมินผล

3.1. อุปกรณ์

โดรนที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นอุปกรณ์สามารถหาได้ โดยใช้โดรนขนาดเล็กรุ่น DJI MAVIC AIR 2 (รูปที่ 1) เป็นโดรนชนิด 4 ใบพัดที่ได้ทำการติดตั้งกล้องดิจิตัลไว้ด้านหน้าและรักษาเสถียรภาพโดยมี GIMBAL ติดตั้งมาด้วย (รูปที่ 2)

รูปที่ 1 โดรนแบบ 4 ใบพัด รุ่น DJI MAVIC AIR 2

รูปที่ 2 กล้องดิจิตัลรักษาเสถียรภาพ (GIMBAL)

DJI Mavic Air 2 สามารถบินได้นานสูงสุดที่ 34 นาทีต่อแบตเตอรี่ 1 ก้อน มีกล้องที่สามารถถ่ายความละเอียดสูงสุดที่ 48 เมกะพิกเซล และถ่ายวีดีโอที่ความละเอียด 4K ที่ 60 เฟรมต่อวินาที มีเซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวาง 3 ทิศทาง (ด้านหน้า ด้านหลัง และด้านล่าง) การควบคุมปรับกล้องขึ้นลงในระย 0 - 90 องศาในแนวดิ่ง โดยควบคุมผ่านรีโมทบังคับและ Smart Phone การเชื่อมต่อจะเชื่อมต่อระหว่างตัวโดรนกับรีโมท แล้วส่งสัญญาณภาพสู่ Smart Phone ระยะส่งสัญญาณจากตัวโดรนไปที่รีโมทอยู่ที่ 6 กิโลเมตร ซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นระบบปฏิบัติการ IOS 14.2 ใน ipad mini 5

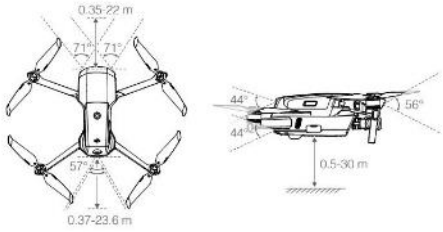
3.2. การทดสอบการบินตรวจสอบงาน

การทดสอบการบิน เป็นขั้นตอนในการศึกษาขอบเขตและข้อจำกัดของการนำโดรนไปประยุกต์ใช้กับการตรวจการก่อสร้างอาคาร โดยจะมีการศึกษารูปแบบการบิน การศึกษาจุดที่ต้องการตรวจสอบ การศึกษาข้อจำกัดเฉพาะโดยทำการทดสอบกับสถานที่ก่อสร้าง 2 แห่ง ได้แก่ (1) บ้านพักข้าราชการ อำเภอแม่อาย ภายใน

บริเวณที่ว่าการอำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ (2) อาคารจอดรถขององค์การบริหารส่วนตำบลแม่นาวาง ตำบลแม่นาวาง อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่

3.3. การทดสอบข้อจำกัดของการบิน

Dji Mavic Air 2 มีระบบเซนเซอร์อินฟราเรด และระบบจับภาพวัตถุ 3 ทิศทาง (รูปที่ 3) ที่มีระยะตรวจจับด้านหน้าระหว่าง 0.35 เมตร ถึง 22 เมตร มุมเลนส์แนวราบที่ 71 องศา กับมุมเลนส์แนวดิ่งที่ 56 องศา ระยะตรวจจับด้านหลังระหว่าง 0.37 เมตร ถึง 23.6 เมตร มุมเลนส์แนวราบที่ 57 องศา กับมุมเลนส์แนวดิ่งที่ 44 องศา และระยะตรวจจับด้านล่างที่สามารถตรวจจับได้ต่ำที่สุด 0.50 เมตร



รูปที่ 3 แสดงระยะการตรวจจับของเซนเซอร์ (ที่มา คู่มือการใช้งาน Dji Mavic Air 2 V1.0)

4. การทดสอบการบิน

การทดสอบได้ทดลองกับงานก่อสร้าง 2 แห่ง (1) บ้านพักข้าราชการ อำเภอแม่อาย ภายในบริเวณที่ว่าการอำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ (2) อาคารจอดรถ ขององค์การบริหารส่วนตำบลแม่นาวาง ตำบลแม่นาวาง อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่
ซึ่งบ้านพักข้าราชการอำเภอแม่อาย ได้ทำการเปลี่ยนหลังคาใหม่แทนที่หลังคาเดิมที่ใช้งานมานาน

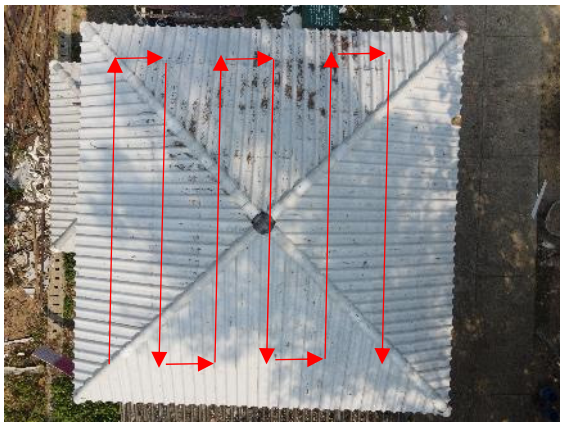
4.1. บ้านพักข้าราชการ อำเภอแม่อาย

การปรับปรุงหลังคาบ้านพักข้าราชการ อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 4) โดยที่อาคารเดิมได้ถูกสร้างมานาน หลังคาเดิมได้มีการผุพัง จึงได้ทำการเปลี่ยนหลังคาใหม่ เพื่อให้ใช้เป็นที่อยู่อาศัยได้เหมือนเดิม

รูปที่ 4 ตำแหน่งบริเวณบ้านพักข้าราชการอำเภอแม่อาย

4.1.1. การทดสอบการใช้โดรนบินสำรวจ

ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ โดยการเข้าถึงสถานที่ก่อสร้างสามารถเข้าถึงได้ ลักษณะของพื้นที่มีต้นไม้โดยรอบเป็นจำนวนมาก และอยู่ใกล้บริเวณอาคาร การใช้งานได้ทดสอบการบิน ได้ทำการถ่ายภาพนิ่ง และถ่ายวิดีโอ ลักษณะการบินตรวจบริเวณหลังคา ได้บินบนความสูงที่ 0.50 เมตรเหนือวัตถุรอบบริเวณ แล้วมีการปรับมุมกล้องหลายรูปแบบเพื่อให้ได้ภาพรวมของตัวอาคาร (รูปที่ 5) และปรับมุมกล้องให้ตั้งฉากกับวัตถุในระยะใกล้เพื่อเก็บรายละเอียดของจุดนั้น ๆ (รูปที่ 6) การบินเข้าใกล้บริเวณอาคารโดยอาศัยการแจ้งเตือนจากระบบอินฟราเรดและระบบจับภาพวัตถุ เป็นตัวกำหนดระยะห่างระหว่างโดรนกับตัวอาคาร



รูปที่ 5 แสดงภาพเส้นทางการบินและภาพรวมของอาคาร

รูปที่ 6 แสดงการเก็บภาพในระยะใกล้ เห็นการเรียงกระเบื้องที่ไม่เรียบร้อย

4.1.2. การประยุกต์และการนำไปใช้

ผลจากการสอบถามกับทางผู้ควบคุมงานก่อสร้าง ได้ข้อเสนอแนะ ในรูปแบบของการบินสำรวจตรวจงาน ได้แก่ การตรวจงานปรับปรุงหลังคา สามารถนำภาพไปใช้ในการทำบันทึกประจำวัน หรือประจำสัปดาห์ เพื่อเสนอภาพรวมของโครงการได้ โดยมุมมองที่ได้จากโดรนจะไม่เหมือนกับการถ่ายภาพจากมุมมองในระดับสายตา (รูปที่ 7) ที่สามารถควบคุมความสูงให้เห็นภาพในมุมที่กว้างขึ้นได้ (รูปที่ 8)

รูปที่ 7 แสดงมุมมองในระดับสายตาที่ใช้คนตรวจสอบ

รูปที่ 8 แสดงมุมมองภาพที่กว้างจากการถ่ายภาพด้วยโดรน

4.1.3. ปัญหาและอุปสรรคที่พบเจอ

บริเวณสถานที่ก่อสร้างมีต้นไม้เยอะ อยู่โดยรอบบริเวณ ผู้ควบคุมโดรนต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจากกิ่งไม้หรือสายไฟที่มีขนาดเล็ก ทำให้เซนเซอร์ไม่สามารถทำงานได้ดี (รูปที่ 9)

รูปที่ 9 แสดงลักษณะของต้นไม้ที่อยู่โดยรอบบริเวณ

4.2. อาคารจอดรถ ขององค์การบริหารส่วนตำบลแม่นาวาง ตำบลแม่นาวาง อำเภอแม่อาย

อาคารจอดรถ ขององค์การบริหารส่วนตำบลแม่นาวาง (รูปที่ 10) เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดกว้าง 8.00 เมตร ยาว 24.00 เมตร และความสูงของอาคารจากพื้นถึงบริเวณหัวเสาที่ 4.00 เมตร โครงหลังคาเป็นโครงถัก (Truss) (รูปที่ 11)มีจุดต่อของอาคารกับโครงหลังคาโดยการเชื่อม

รูปที่ 10 อาคารจอดรถขององค์การบริหารส่วนตำบลแม่นาวาง

รูปที่ 11 แสดงโครงหลังคาโครงถักของอาคาร

4.2.1. การทดสอบการใช้โดรนบินสำรวจ

การทดสอบได้นำโดรนขึ้นบินสำรวจบริเวณตามจุดต่อต่าง ๆ และความเรียบร้อยบริเวณผนังด้านนอกอาคาร แล้วถ่ายภาพในระยะห่างประมาณ 2 เมตร (รูปที่ 12) เพื่อตรวจสอบความเรียบร้อยสำหรับการเตรียมดำเนินงานในขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 12 แสดงการถ่ายภาพในระยะห่างประมาณ 2 เมตร

4.2.2. การประยุกต์และการนำไปใช้

ผลจากการสอบถามกับทางผู้ควบคุมงานก่อสร้าง ได้ข้อเสนอแนะ ในรูปแบบของการบินสำรวจตรวจสอบ ได้แก่ การตรวจสอบสภาพหน้างานทั่วไปสามารถนำภาพไปใช้ในการทำบันทึกประจำวัน หรือประจำสัปดาห์ และตรวจสอบความเรียบร้อยในจุดต่าง ๆ ได้บางจุด เพราะโดรนมีมุมกล้องต่ำสุดที่ 0 องศาไม่สามารถปรับเพื่อถ่ายภาพในมุมเงยได้ (รูปที่ 13) การถ่ายวิดีโอไม่ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมกับการใช้งานมากนัก เนื่องจากสีของอาคารสว่าง ความละเอียดของกล้องวิดีโอมีน้อยกว่าการถ่ายภาพนิ่งที่ปรับความละเอียดสูงสุด

รูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายรอยเชื่อมของโครงถัก ในมุม 0 องศา

4.2.3. ปัญหาและอุปสรรคที่พบเจอ

กล้องของโดรนไม่สามารถปรับมุมเงยได้ ไม่สามารถทำการถ่ายที่อยู่สูงกว่าโดรนได้ เช่น มุมมองภาพใต้หลังคา หรือจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นหลังคา Metal Sheet กับโครงหลังคาได้ จึงดูความเรียบร้อยของงานส่วนนั้นไม่ได้

5. การกำหนดข้อจำกัดของการบิน

เมื่อทดสอบการบินโดยใช้มนุษย์บังคับ สามารถกำหนดข้อจำกัดสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจการก่อสร้างอาคารได้ โดยแบ่งข้อจำกัดไว้ 3 คือ ข้อจำกัดของการกีดขวางการบิน ข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลในจุดที่สนใจ และข้อจำกัดของตัวโดรน

5.1. ข้อจำกัดของการกีดขวางทางบิน

ข้อจำกัดของการกีดขวางทางบิน สิ่งก่อสร้างโดยรอบอาคาร ทั้งต้นไม้ และสายไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก เซนเซอร์ของโดรนไม่สามารถตรวจจับได้ ผู้บังคับต้องมองตามโดรนตลอดเวลาเพื่อป้องกันการชนที่จะเกิดขึ้น ต้องทำการวางแผนกำหนดจุดขึ้น-ลง ในกรณีที่แบตเตอรี่ของโดรนใกล้หมด โดรนจะกลับมาที่จุดบินขึ้น โดยการบินกลับมานั้นโดรนจะบินสูงขึ้นไปในความสูงที่กำหนด แล้วบินกลับมา

ยังจุดบินขึ้น แล้วทำการบินลงจอดในแนวดิ่ง ถ้าหากบินขึ้นในจุดที่ไม่เหมาะสมจะเกิดความเสียหายขึ้นได้

5.2. ข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลในจุดที่สนใจ

ในการเก็บข้อมูลนั้น มีข้อจำกัดจะขึ้นอยู่ความสามารถต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ติดตั้งมากับตัวโดรน (1) ความสามารถในการปรับมุมของ Gimbal ที่ไม่สามารถปรับมุมที่ต่ำกว่า 0 องศาได้ (2) ความละเอียดของกล้องที่บันทึกได้ ถึงแม้ว่าจะบันทึกภาพนิ่งที่ความละเอียดสูงสุดแล้ว แต่ปัญหาเรื่องของแสงในบริเวณจุดที่สนใจนั้นไม่พอก็เป็นปัญหาในการถ่ายภาพเช่นกัน

5.3. ข้อจำกัดของตัวโดรน

ข้อจำกัดของโดรนจากการทดสอบ ตามคู่มือได้กล่าวว่าสามารถบินได้นาน 34 นาที แต่ในการทดสอบการบินจริงจะอยู่ที่ประมาณ 25-30 นาที เนื่องจากสภาพการบินมีลมพัดตลอดจึงส่งผลให้มอเตอร์ใบพัดทำงานหนัก เพื่อดึงให้โดรนอยู่ในตำแหน่งที่ยึดไว้กับดาวเทียม การบินไม่สามารถทำได้ในสภาพอากาศที่ไม่ดี เช่น ฝนตก หรือลมแรง ถึงแม้ว่าโดรนจะอยู่ในอาคารก็ตาม

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. บทสรุป

โดรนที่นำมาใช้ในการทำการทดสอบ โดยทดลองทั้ง 2 สถานที่ที่ลักษณะงานแตกต่างกัน ได้เห็นทั้งข้อดีและข้อจำกัดของการใช้งาน จากการพูดคุยกับทางผู้ควบคุมงาน จะเห็นได้ว่าข้อดีของการใช้งานคือความสะดวกรวดเร็วในการตรวจสอบอาคาร และตรวจสอบงานบนที่สูงได้ ในขณะเดียวกันข้อจำกัดของโดรน คือการเข้าถึงที่แคบไม่ได้ มุมมองของโดรนมีจำกัด และการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กที่มีผลต่อการหลบหลีก

ผลที่ได้จากการทดสอบ ได้ถูกนำมาหาข้อจำกัดของการบินโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ข้อจำกัดของการกีดขวางทางบิน ที่โดรนไม่สามารถตรวจจับวัตถุขนาดเล็กได้ ข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลในจุดที่สนใจที่เป็นข้อจำกัดในการเก็บภาพในมุมเงย และข้อจำกัดของตัวโดรนที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศด้วย

7. การอ้างอิง

[1] ณัฐวุฒิ เอื้อศักดิ์สุภา. (2557). *ระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรน*. วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] มานพ แก้วโมราเจริญ ณัฐพงศ์ พุ่มงาม ชัชวาล วรศรีหิรัญ และพรพจน์ นุเสน. (2558). *การประเมินรูปแบบการบินที่เหมาะสมในการนำเทคโนโลยีโดรน มาใช้ในการติดตามและควบคุมโครงการก่อสร้าง*. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 8-10 กรกฎาคม 2558 ชลบุรี.

[3] นัฐดนัย ครุฑหนู. (2560). *การจัดการค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรในงานก่อสร้างอาคารในจังหวัดเชียงใหม่*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[4] ธราวุฒิ บุญเหลือ. (2561). การประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติเพื่อสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมือง กรณีศึกษา อ.ธาตุพนม จ.นครพนม. สาขาสถาปัตยกรรมเมืองและชุมชน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมืองและนฤมิตศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[5] วรพจน์ สินสวัสดิ์. (2561). *แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อช่วยติดตามงานดินขุดและถม ในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[6] รัฐภูมิ ตั้งภูมิจิต สราวุธ ส่งแสง อภิสิทธิ์ ภาสดา คมศิลป์ วังยาว และธีระ ลาภิศชยางกูล. (2563). *การศึกษารูปแบบของจุดควบคุมภาพที่มีผลต่อความถูกต้องของแผนที่ จากการรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ*. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563 ชลบุรี.

[7] รจณา คูณพูล พรนรายณ์ บุญราศรี สมใจ หมื่นจร ปวิตร ฏิระวณิชยกุล์ และจิรวัฒน์ จันทองพูน. (2563). *การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากการสำรวจ ด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมในการสร้างแบบจำลองสิ่งปลูกสร้าง*. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563 ชลบุรี.

[8] Dji,Mavic Air 2 User Manual version 1.0, 2020.