

การศึกษาการตรวจสอบสะพานด้วยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ INVESTIGATION OF BRIDGE INSPECTION USING UNMANNED AERIAL VEHICLE

บวรชนก มณีรัตน์^{1,*} วิทิต ปานสุข² และ พชร เครือวิทย์^{3*}

^{1,2} ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัด กรุงเทพฯ

³ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ จังหวัด กรุงเทพฯ

*Corresponding author; E-mail address: 6372067421@student.chula.ac.th¹

บทคัดย่อ

การตรวจสอบโครงสร้างสะพานนั้นเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญที่ช่วยในการเพิ่มอายุการใช้งานของสะพาน โดยวิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่าเป็นขั้นแรกของการตรวจสอบ ที่จะต้องใช้กำลังคนในการเข้าถึงพื้นที่เพื่อตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นหน้าที่วิศวกรหรือผู้ตรวจสอบที่จะต้องมีความรู้ ความเข้าใจวิธีการและพฤติกรรมของสะพานเพื่อทำการประเมินความเสียหายโครงสร้างสะพาน ซึ่งจะต้องใช้เวลา ค่าใช้จ่ายที่สูง รวมไปถึงความซับซ้อนของข้อมูล โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและนำเสนอเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ที่มีประสิทธิภาพในการเข้าถึง ลดอุบัติเหตุ รวมไปถึงความสามารถในการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอหลักการโฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) ในการสร้างแบบจำลองจุดก้อนเมฆ (Point Cloud) เพื่อประมวลผลสร้างภาพออร์โธโกราฟี (Orthophoto) ที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบความเสียหายของสะพาน กำหนดค่าความละเอียดจุดพิกเซล (Ground Sample Distance: GSD) เท่ากับ 0.5 cm/pix การซ้อนทับส่วนทับซ้อน (Overlap) และ ส่วนเกย (Sidelap) 80 และ 80 ตามลำดับ รวมไปถึง การกำหนดจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบทั้งหมด 29 จุด โดยผลลัพธ์ที่ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของระยะแต่ละจุดแบบจำลองที่ได้กับพื้นที่จริง 38 จุด รวมไปถึงรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองกับพื้นที่จริง 26จุด พบว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่สามารถทดแทนการตรวจสอบแบบดั้งเดิม ช่วยในการเข้าถึง และ ลดความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ตรวจสอบ โดยระยะแต่ละจุดของภาพออร์โธโกราฟีมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.14 % และการตรวจสอบความเสียหายมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 12.37 % เปรียบเทียบกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงบนสะพาน

คำสำคัญ: เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ, โฟโตแกรมเมตรี, แบบจำลองจุดก้อนเมฆ, แบบจำลองสามมิติ, จุดควบคุมภาพถ่าย, ความละเอียดจุดภาพ

Abstract

Inspecting the bridge structure is one of the important steps in increasing the service life of the bridge. Visual inspection is the first step of the inspection that requires manpower to access the area to check for damages. As a duty of an engineer or an inspector, it has been required for them to have knowledge and Understanding bridge methods and behaviors to assess structural damages to bridges. Time-consuming, high-cost

and individual have been taken into account for consideration, including the concealment of information. This research studies have presented Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology that has the capability to reach and reduce accidents, as well as the ability to create 3D models. In this research, the principle of Photogrammetry has been presented to create a point cloud model (Point Cloud) to process Orthophotos that are effective in detecting bridge damages. The Ground Sample Distance (GSD) has been Configured resolution for 0.5 cm/pix, Overlap and Sidelap 80 and 80 are also respectively configured, including all 29 Ground Control Point (GCP) and Check Point (CP) assignments. The results have been validated for distances at each replicated point with 38 real areas, meanwhile damage patterns occur on the model versus 26 actual locations. The results have shown another alternative outcome that could replace traditional audits. It increases opportunity to access information and reduce the risks that may cause harm to the speculators. Each point of the Orthophotos have had an average percentage discrepancy of 1.14%, and the damaged inspection have an average percentage discrepancy of 12.37%, compared to the actual damages on the bridge

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Photogrammetry, Point Cloud, 3D modeling, Ground Control Point, Ground Sample Distance

1. บทนำ

โครงสร้างสะพานนับเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจในประเทศไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่สะพานในประเทศไทยจะเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงทำให้การตรวจสอบและบำรุงรักษาเป็นประจำเพื่อช่วยป้องกันความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อในภายภาคหน้า อีกทั้งเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของสะพาน โดยทั่วไปวิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) เป็นวิธีการประเมินขั้นแรกของการตรวจสอบโครงสร้าง [1] ซึ่งต้องอาศัยกำลังคนในการเข้าถึง เพื่อตรวจสอบสภาพความเสียหายจึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรที่ต้องเป็นผู้ตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์ และ ประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม [2] โดยวิธีการดังกล่าวอาจเป็นความอันตรายต่อผู้ตรวจสอบ ต้นทุนสูง และใช้เวลานาน [3]

รวมถึงความซับซ้อนในการรวบรวมข้อมูลหากเป็นสะพานขนาดใหญ่ ด้วยความสามารถในการเข้าถึงของอากาศยานไร้คนขับหรือโดรน ในการตรวจสอบความเสียหายเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่จะเพิ่มความปลอดภัย ลดระยะเวลาในการตรวจสอบ และลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเมื่อเทียบกับวิธีแบบดั้งเดิม [4] ดังนั้นการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้เป็นเครื่องมือเป็นอีกหนึ่งวิธีในการตรวจสอบสะพานที่เหมาะสม

โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการตรวจสอบความเสียหายของสะพาน โดยใช้อากาศยานไร้คนขับทดแทนวิธีการตรวจสอบดั้งเดิมไม่จำเป็นที่จะต้องทำการเข้าถึงพื้นที่ในการตรวจสอบความเสียหาย [5] ที่อาจก่อให้เกิดความอันตรายต่อผู้ตรวจสอบ ซึ่งอากาศยานไร้คนขับถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่นิยมอย่างแพร่หลายในด้านการตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบเขื่อน [6] การตรวจสอบอาคาร [7] การตรวจสอบถนน [8] และการตรวจสอบสะพาน ด้วยความสามารถของอากาศยานไร้คนขับในการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยวิธี Photogrammetry ช่วยในการสำรวจและประมวลผลเป็นแบบจำลองจุดก้อนเมฆ (Point Cloud) เพื่อสร้างภาพออร์โธ (Orthophoto) ที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งความแม่นยำและความถูกต้องของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นความสูงในการบิน การทับซ้อนของภาพถ่าย ข้อมูลที่ครบถ้วนของภาพถ่าย รวมถึงจุดควบคุมภาพถ่าย [9] ทั้งนี้จุดควบคุมภาพถ่ายจะช่วยให้การปรับแก้ค่าพิกัดภาพถ่ายให้แบบจำลองสะพานแม่นยำยิ่งขึ้น [10]

เพื่อศึกษาคุณภาพของแบบจำลองสามมิติจากอากาศยานไร้คนขับ ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับเข้ามาประยุกต์ใช้ในการสำรวจและตรวจสอบสะพานธนรัชต์ นำแบบจำลองสามมิติมาประมวลผลภาพออร์โธส่วนบน ส่วนข้าง และเสาตอม่อของสะพาน เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาแสดงผลในซอฟต์แวร์ GIS (Geographic Information System) ในการเปรียบเทียบความเสียหายและระยะแต่ละชั้นส่วนจากภาพออร์โธและระยะจริงที่เข้าถึงได้ ทดแทนการเข้าถึงการตรวจสอบแบบดั้งเดิม ที่มีประสิทธิภาพ ลดอุบัติเหตุแก่ผู้ตรวจสอบ ลดกำลังคนและลดความซับซ้อนในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2. ความสำคัญและหลักการตรวจสอบสะพาน

การตรวจสอบโครงสร้างสะพานเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการดูแลบำรุงรักษาสะพาน เพื่อประเมินความเสียหายก่อนทำการซ่อมแซมของสะพาน การวางแผนการตรวจสอบสะพานในแต่ละหน่วยงานมีความแตกต่างกันไม่มากนักขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของสะพาน สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ปริมาณและลักษณะของการจราจรที่สะพานต้องแบกรับ รวมถึงความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ ตลอดจนข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและบุคลากร เป็นต้น การวางแผนการตรวจสอบสามารถทำได้ในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับนโยบายโดยผู้บริหาร ของหน่วยงาน ไปจนถึงระดับปฏิบัติการโดยทีมงานตรวจสอบ ซึ่งมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาและมาตรการการดำเนินการต่าง ๆ แตกต่างกันในแต่ละระดับ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของสะพานจึงต้องทำการตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบประจำ (Routine Inspection) หรือ การตรวจสอบฉุกเฉิน (Emergency Inspection) [11] เนื่องจากการตรวจสอบจำเป็นที่จะต้องใช้เวลา บุคลากรและเครื่องมือซึ่งในบางครั้งอาจจะมีจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนในการเข้าพื้นที่สำรวจ โดยต้องคำนึงถึงชนิดของโครงสร้าง กำลังคน ระยะเวลา และความสามารถในการเข้าถึง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2.1 การตรวจสอบประจำ (Routine Inspection)

การตรวจสอบประจำ (Routine Inspection) เป็นการตรวจสอบตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด เช่น การตรวจสอบประจำเดือน หรือการตรวจสอบประจำปี เป็นต้น เพื่อเฝ้าระวังถึงสภาพโครงสร้างของสะพานในแต่ละช่วงเวลาหากสะพานเริ่มเกิดความเสียหาย [11] โดยเป้าหมายหลักของการตรวจสอบประจำ เป็นการเก็บบันทึกข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ในการประเมินและวัดระดับความเสียหายของสะพาน โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) เป็นส่วนใหญ่

2.2 การตรวจสอบฉุกเฉิน (Emergency Inspection)

การตรวจสอบฉุกเฉินเป็นการตรวจสอบเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน ที่เกิดจากภัยพิบัติต่าง ๆ หรืออุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น เช่น อุบัติเหตุรถยนต์ แผ่นดินไหว และเพลิงไหม้ เป็นต้น เพื่อเฝ้าระวังถึงความสามารถในการใช้งานของสะพาน สามารถกำหนดการบำรุงรักษาและวางแผนการซ่อมแซมเมื่อเกิดความเสียหายได้ในทันที [11] โดยความถี่ในการตรวจสอบสำหรับโครงสร้างทุกส่วน และสวนประกอบขึ้นกับความเสียหายที่เกิดขึ้น [12] โดยวิธีการตรวจสอบนั้นอาศัยวิธีเดียวกันกับการตรวจสอบประจำ

2.3 การตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection)

การตรวจสอบด้วยตาเปล่านั้นเป็นวิธีการประเมินขั้นแรกของการตรวจสอบโครงสร้างแต่ถือได้ว่ามีความสำคัญมากที่สุดในตอนหนึ่งก่อนที่จะทำการประเมินเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำยิ่งขึ้น โดยประสิทธิภาพในการตรวจสอบจะขึ้นอยู่กับดุลพินิจความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบเพื่อบ่งบอกถึงความเสียหายของโครงสร้างโดยภาพรวม [1] อย่างไรก็ตามการตรวจสอบด้วยตาเปล่าสามารถตรวจสอบวัสดุหรือพื้นผิวที่สามารถเข้าถึงและมองเห็นได้ เช่น รอยแตกร้าว การหลุดล่อน คราบสนิม และอื่น ๆ

โดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าของสะพานนั้นจะต้องอาศัยกำลังคนในการเข้าถึงหากต้องวัดความเสียหายที่เกิดขึ้น เช่น การโรยตัว การใช้รถกระเช้า การใช้นั่งร้าน การนั่งเรือ เป็นต้น [2] ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ตรวจสอบ โดยผู้ตรวจสอบจะต้องสังเกตเห็นถึงความเสียหายขนาดใหญ่จนถึงความเสียหายเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดการลื่นไถลได้ง่ายหากเข้าถึงได้ยากและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ตรวจสอบ



รูปที่ 1 แสดงการตรวจสอบโครงสร้างสะพานโดยการใช้รถกระเช้าพิเศษ [2]

3. การตรวจสอบอากาศยานไร้คนขับ

ด้วยความสามารถในการเข้าถึงรวมถึงความสามารถในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบของอากาศยานไร้คนขับ สามารถแก้ไขปัญหาในอันตรายที่อาจก่อให้เกิดกับผู้ตรวจสอบรวมถึงความซับซ้อนในการตรวจสอบ

3.1 การวางแผนการบิน

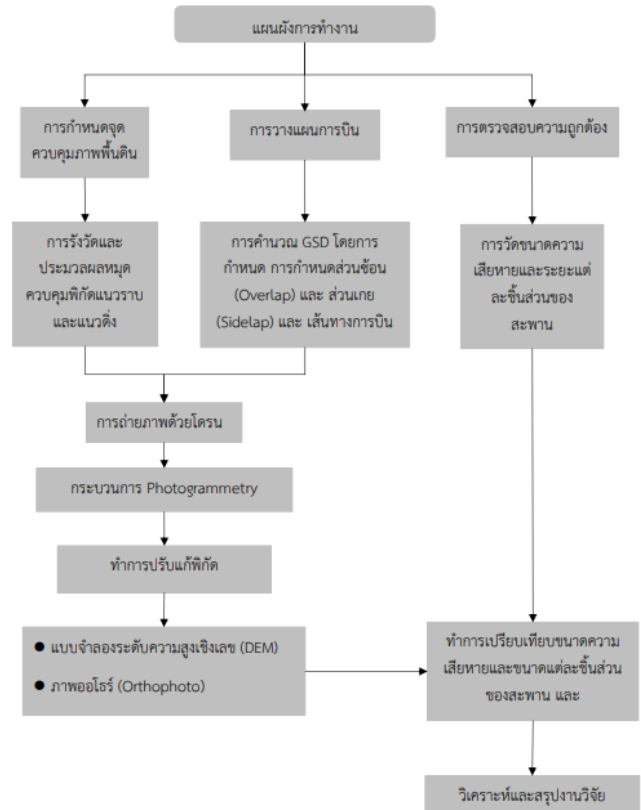
การวางแผนการบินเพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการตรวจสอบสะพาน ควรคำนึงถึงความละเอียดและความถูกต้องของข้อมูลที่ต้องการ โดยสามารถวางแผนการบินโดยโปรแกรมวางแผนการบิน DJI GS Pro เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ คุณภาพของแบบจำลองขึ้นอยู่กับความละเอียดจุด (Ground Sample Distance: GSD) ที่เป็นตัวบ่งบอกถึงความละเอียดของแบบจำลอง หากความสูงในการบินต่ำความละเอียดจุดก็จะสูง ทำให้จำนวนภาพที่ถ่ายและระยะเวลาในการบินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งต้องทำการกำหนดความสูงที่เหมาะสมกับความละเอียดที่ต้องการสำหรับการตรวจสอบสะพาน อีกทั้งการกำหนดส่วนทับซ้อนไม่ว่าจะเป็น ส่วนซ้อน (Overlap) และส่วนเกย (Sidelap) เพื่อที่จะไม่ให้เกิดช่องโหว่ระหว่างการบินและครอบคลุมพื้นที่ทับซ้อนในการจับคู่รูปภาพในการประมวลผลสร้างแบบจำลองสามมิติ

3.2 จุดควบคุมภาพถ่าย

การกำหนดจุดควบคุมภาพถ่ายมีความสำคัญต่อคุณภาพเชิงตำแหน่งที่ช่วยในการประมวลผลปรับแก้ ค่าความคลาดเคลื่อนภายนอกของภาพและค่าการวางตัวของภาพถ่าย ซึ่งต้องมีลักษณะเห็นได้เด่นชัดบนภาพ มีการกระจายตัวอย่างที่เพียงพอครอบคลุมบริเวณที่ตรวจสอบ อีกทั้งตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายต้องเป็นไปตามการแบ่งประเภทกล้องถ่ายภาพและความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพิกัดจุดถ่ายภาพ [9] ซึ่งตำแหน่งและความถูกต้องของพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายระบบนำทางด้วยดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อแสดงผลหรือพิกัดตำแหน่งที่ตัวรับสัญญาณตั้งอยู่ ซึ่ง GPS (Global positioning system) เป็นระบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาของ GNSS โดยค่าพิกัดในระบบพิกัดภูมิประเทศเป็นศูนย์กลางที่ทำให้สามารถจัดภาพให้มีความสัมพันธ์อ้างอิงกับพื้นที่ภูมิประเทศ

4. วิธีการดำเนินงาน

ภาพรวมของงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการตรวจสอบสะพานโดยใช้อากาศยานไร้คนขับเริ่มจากการวางแผนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติของสะพานชนิดที่ 3 การเปรียบเทียบขนาดหรือระยะต่างๆ ในส่วนบนของสะพานของแบบจำลองกับพื้นที่จริงที่วัดได้ ความเสียหายที่วัดได้ในพื้นที่จริงกับแบบจำลอง ซึ่งผังการทำงานมีขั้นตอนการดำเนินงานและรายละเอียดดังต่อไปนี้

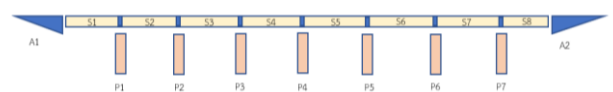


รูปที่ 2 วิธีการดำเนินงาน

4.1 การตรวจสอบสะพาน

4.1.1 การกำหนดทิศทางและชั้นส่วนของสะพาน

สะพานจะถูกแบ่งออกเป็นชั้นส่วนต่างๆ ที่เล็กลง เพื่อให้ง่ายต่อการอ้างอิงตำแหน่งต่างๆ ในสะพาน เช่น การระบุตำแหน่งความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนของสะพาน ซึ่งสะพานชนิดนี้เป็นสะพานย่อยประกอบไปด้วยบริเวณต่างๆ เรียงต่อกันประกอบไปด้วย บริเวณเชิงลาดสะพาน (Approach: A) บริเวณช่วงสะพาน (Span: S) และ บริเวณตอม่อ (Pier: P) แสดงดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของสะพานชนิดที่ 3



รูปที่ 4 การกำหนดรหัสส่วนประกอบด้านบนของสะพาน

4.1.2 การวัดระยะความยาวและความกว้างสะพาน

เนื่องจากความยากในการเข้าถึงพื้นที่เพื่อวัดระยะของสะพาน จึงทำให้ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่มีอย่างจำกัด ทำการวัดระยะความยาวและความกว้างชั้นส่วนบนของสะพานด้วยเทปวัดระยะทั้งหมด 38 จุด แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งระยะที่การวัดระยะเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

4.1.3 การวัดขนาดความเสียหาย

เนื่องจากความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่นั้นมียกจำกัด ทำการวัดขนาดความเสียหายที่สามารถเข้าถึงเพื่อเปรียบเทียบความเสียหายที่วัดได้จากแบบจำลองกับพื้นที่จริง จึงสามารถทำการวัดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ในบริเวณ ทางเท้าและเสาดม่อลำดับที่1 เป็นต้น



รูปที่ 6 การหลุหล่อนบริเวณทางเท้า



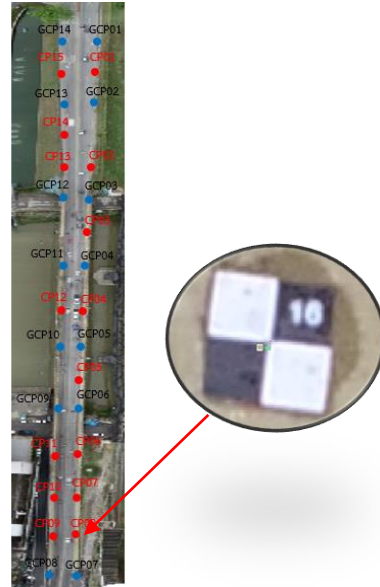
รูปที่ 7 การแตกร้าวบริเวณเสาดม่อ

4.2 การตรวจสอบสะพานโดยอากาศยานไร้คนขับ

4.2.1 การรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ในขั้นตอนนี้จะทำการวางจุดควบคุมภาพถ่ายโดยมีขนาด 30x30 เซนติเมตร วางบริเวณกึ่งกลางทางเดินเท้า ประกอบไปด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) และ จุดตรวจสอบ (Check Point: CP) รวมทั้งสิ้น 29 จุด มีจุดควบคุมภาพถ่าย 14 จุด และ จุด

ตรวจสอบ 15 จุด โดยจุดควบคุมภาพถ่ายจะมีการกระจายสม่ำเสมอเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่การศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน

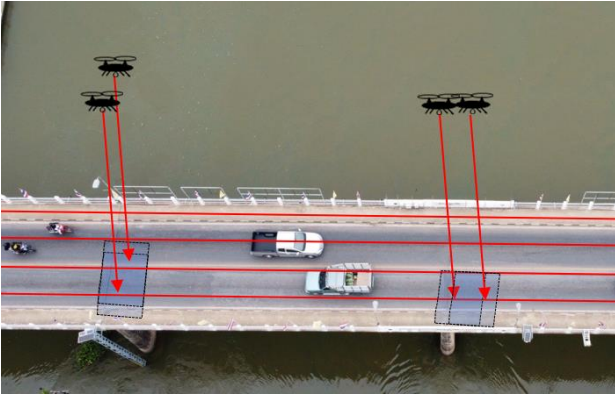
การรังวัดค่าพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ด้วยวิธี RTK โดยสถานีฐานจะถูกยึดไว้โดยพิกัดแนวราบจะถูกอ้างอิงตำแหน่งจากหมุดกรมแผนที่ทหาร และพิกัดแนวตั้งจะถูกอ้างอิงที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง



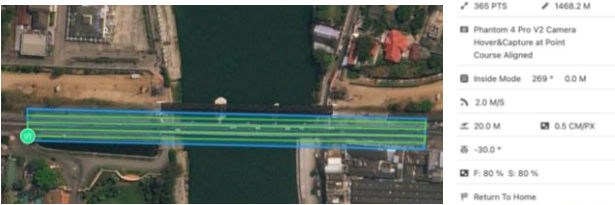
รูปที่ 9 การรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินด้วยวิธีการ RTK

4.2.2 การวางแผนการบินส่วนบนของสะพาน

ใช้โปรแกรม DJI GS Pro เพื่อประมาณจำนวนเส้นทางการบินเบื้องต้น เนื่องจากสะพานระยะรัศมี โดยปรับค่า Front Overlap Ratio : 80 % , Side Overlap Ratio : 80 % , Height : 20 m , Resolution : 0.5 cm/px , Camera model : Phantom 4 Pro V2 Camera



รูปที่ 10 ตัวอย่างการทับซ้อนและเส้นทางการบินส่วนบนของสะพาน



รูปที่ 11 การปรับค่า DJI GS Pro

4.2.3 การวางแผนการบินส่วนล่างของสะพาน

เมื่อสำรวจสะพานหน้างานจริงพบว่าอากาศยานไร้คนขับไม่สามารถทำการบินแบบอัตโนมัติได้ ผู้สำรวจต้องคอยควบคุมการบิน โดยในส่วนของด้านข้างสะพานจะแบ่งเส้นการบิน 6 เส้น แสดงในรูปที่ 11 โดยระยะห่างระหว่างกล่องกับตัวสะพาน 8 เมตร ทำการบินด้วยความเร็วครั้งที่ 2 เมตรต่อวินาที ทำการถ่ายรูปอัตโนมัติทุก ๆ 1 รูปต่อวินาที ระยะห่างแต่ละเส้นการบินอยู่ที่ 2.5 เมตร ซึ่ง 2 เส้นบนทำการปรับมุมกล้องลง 45 องศา กับระนาบพื้น 2 เส้นล่างทำการปรับมุมกล้องขึ้น 10 องศา กับระนาบพื้น เนื่องจากหากปรับองศาขึ้นมากกว่า 10 องศา ใบพัดอาจตบบังภาพได้ในส่วนของเสาตอม่อของสะพานเพื่อสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องบิน 2 ด้านของเสาโดยแต่ละด้านมีเส้นการบิน 5 เส้น ไม่สามารถบินอัตโนมัติเช่นกัน ตัวอย่างการทับซ้อนและเส้นทางการบินส่วนข้างและเสาตอม่อของสะพานแสดงในรูปที่ 12 และ 13



รูปที่ 12 ตัวอย่างการทับซ้อนและเส้นทางการบินส่วนข้างของสะพาน

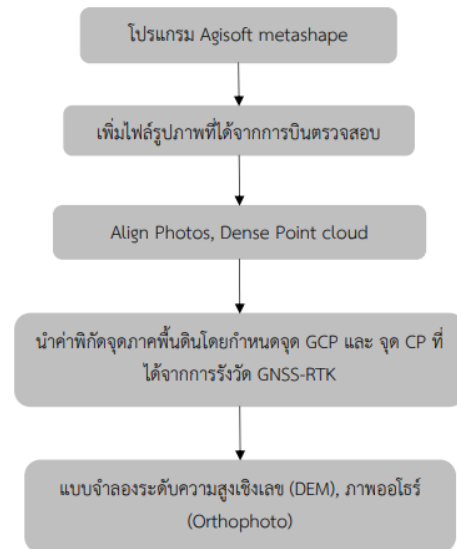


รูปที่ 13 ตัวอย่างการทับซ้อนและเส้นทางการบินส่วนเสาตอม่อของสะพาน

4.2.4 การประมวลผล

การสร้างแบบจำลองสามมิติของสะพานในงานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ Agisoft Meta Shape Professional ประมวลผลภาพจากการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้หลักการ Photogrammetry ในการจับคู่รูปภาพ Tie point เป็นรูปภาพที่มีความทับซ้อนในแนวตั้ง และ ความทับซ้อนในแนวราบ อยู่ที่ 80% และ 80% ตามลำดับ ซึ่งจะได้อัปเดตพิกัดจุดในรูปแบบจุดแบบก้อนเมฆสามมิติ (3D Point Cloud) จากนั้นทำการประมวลผลข้อมูลเชิงลึกของแต่ละรูปภาพที่มีจุดเมฆหนาแน่นมากขึ้น (Dense point Cloud) โดยในขั้นตอนนี้สามารถช่วยในการทราบถึงตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานได้ จากนั้นทำการใส่ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) และ จุดตรวจสอบ (Check Point: CP) เพื่อตั้งแบบจำลองให้มีขนาดและพิกัดใกล้เคียงกับความเป็นจริง

จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) เพื่อสร้างภาพออร์โธ (Orthophoto) โดยส่วนบนและส่วนข้างของสะพานมีความละเอียดเท่ากับ 4.57 mm/pix และ ส่วน เสาตอม่อที่ 1 มีความละเอียดสูงเท่ากับ 2.49 mm/pix ใช้ในการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) โดยสามารถหาความกว้างหรือปริมาณความเสียหาย โดยเลือกใช้โปรแกรม QGIS เป็นโปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) โดยเครื่องมือ Measure เพื่อวัดขนาดความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยอิงตำแหน่งพิกัด GIS ในภาพ และความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้พิจารณาในการตรวจสอบ

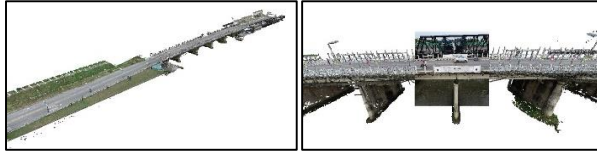


รูปที่ 14 การประมวลผล Agisoft Meta Shape Professional

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองจุดเมฆหนาแน่นสามารถใช้ในการสำรวจความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวสะพานด้วยคำสั่ง Show Images ดังแสดงในรูปที่ 15 ในส่วนบนและส่วนข้างของสะพาน มีค่า Root Mean Square Error (RMSE) ในแนวราบและแนวตั้ง เท่ากับ 0.851 และ 0.992 cm ตามลำดับ



มุมมองที่ 1

มุมมองที่ 2



มุมมองที่ 3

มุมมองที่ 4

รูปที่ 15 แบบจำลองจุดเมฆหนาแน่น (Dense Point Cloud)

ภาพออร์โธส่วนบนและข้างของสะพานมีความละเอียดสูงถึง 4.57 mm/pix ซึ่งสามารถตรวจสอบความเสียหายไม่ว่าจะเป็น การหลุดหล่อนของคอนกรีต การสึกกร่อนของคอนกรีต การสูญเสียหน้าตัดผิวทางแอสฟัลต์ ระยะรอยต่อเคลื่อนขยาย โดยในรูปที่ 16 และ ตารางที่ 1 แสดงถึงตำแหน่งและรายละเอียดความเสียหายของส่วนบนของสะพาน



ฝั่งค่ายภาณุรังสี

ฝั่งตลาดราชบุรี

รูปที่ 16 ตัวอย่างตำแหน่งความเสียหายแต่ละรูปแบบส่วนบนของสะพาน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างรายละเอียดความเสียหายของส่วนบนของสะพาน

ลำดับ	ตำแหน่ง	รูปความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย
1	A1-EJ1		มีรอยแตกบนกะเทาะกว้างเฉลี่ย 22 มิลลิเมตรตามคู่มือการตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง [13] มีระดับความรุนแรงสูง ควรทำการซ่อม
2	P5-EJ1		รอยต่อเมื่อขยาย The Strip Seal เป็นรอยต่อขนาดกลางสามารถขยายตัวได้สูงสุด 125 มิลลิเมตร [14] เป็นโดยสามารถวัดได้การขยายตัวสูงสุด 14 มิลลิเมตร
3	S7-WS2		เกิดการหลุดล่อนเล็กน้อยไม่เห็นเหล็กเสริมขนาด 0.11 และ 0.173 ตารางเมตร อยู่ในเกณฑ์พอใช้ทำการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาตามคู่มือการตรวจสอบสะพาน [2]
4	AP2-SW1		มีการสูญเสียหน้าตัดคิดเป็น 13 % ของหน้าตัดทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์พอใช้ทำการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาตามคู่มือการตรวจสอบสะพาน [2]

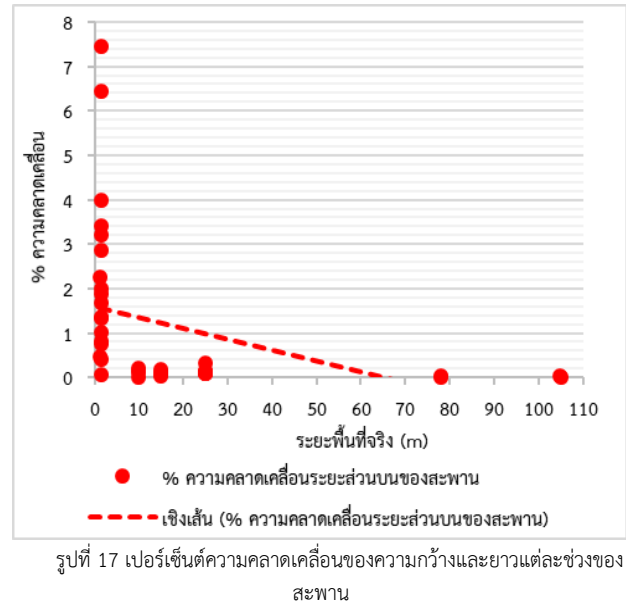
18	24.996	25.033	0.037	0.148
19	1.291	1.285	0.006	0.464
20	1.326	1.296	0.030	2.262
21	24.964	24.986	0.022	0.088
22	24.954	24.987	0.033	0.132
23	1.463	1.513	0.050	3.417
24	1.509	1.412	0.097	6.428
25	24.936	24.958	0.022	0.088
26	24.91	24.94	0.030	0.120
27	1.458	1.47	0.012	0.823
28	1.501	1.389	0.112	7.461
29	15.02	15.045	0.025	0.166
30	15.02	15.038	0.018	0.119
31	1.487	1.459	0.028	1.882
32	1.498	1.478	0.020	1.335
33	9.972	9.984	0.012	0.120
34	9.984	10	0.016	0.160
35	1.485	1.47	0.015	1.010
36	1.502	1.454	0.048	3.195
37	78.072	78.095	0.023	0.029
38	78.066	78.073	0.007	0.008
Max				7.461
Min				0.008
Average				1.143

5.2 ความคลาดเคลื่อนการวัดระยะแต่ละจุดของส่วนบน

จากการวัดระยะในโปรแกรม QGIS เทียบกับระยะพื้นที่จริงวัดด้วยเทปวัดระยะ โดยมีทั้งหมด 38 จุด มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 7.461% เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนน้อยสุดเท่ากับ 0.008 % และมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.143 % โดยค่าความเคลื่อนที่วัดได้จากโปรแกรม QGIS กับระยะพื้นที่จริงแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างและยาวส่วนบนสะพาน จากโปรแกรม QGIS กับ พื้นที่จริง

ลำดับ	ระยะพื้นที่จริง (m)	UAV-QGIS (m)	Error (m)	%Error
1	104.95	104.98	0.030	0.028
2	105.1	105.119	0.019	0.018
3	1.498	1.492	0.006	0.400
4	1.478	1.503	0.025	1.691
5	10.02	9.999	0.021	0.209
6	9.97	9.971	0.001	0.010
7	1.47	1.469	0.001	0.068
8	1.494	1.464	0.030	2.008
9	14.985	14.977	0.008	0.053
10	14.962	14.967	0.005	0.033
11	1.474	1.485	0.011	0.746
12	1.482	1.423	0.059	3.981
13	24.906	24.939	0.033	0.132
14	24.91	24.99	0.080	0.321
15	1.463	1.505	0.042	2.870
16	1.483	1.463	0.020	1.348
17	24.99	25.013	0.023	0.092



5.3 ความคลาดเคลื่อนความเสียหาย

จากการวัดระยะความเสียหายในโปรแกรม QGIS เทียบกับระยะที่เกิดขึ้นจริงด้วยเวอร์เนียร์และตลับเมตร โดยมีความเสียหายทั้งหมด 26 จุด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนเสาตอม่อที่ 1 โดยภาพออร์โธมีความละเอียด 2.49 pix/mm โดยค่าความเคลื่อนที่วัดได้จากโปรแกรม QGIS กับความเสียหายพื้นที่จริงแสดงในตารางที่ 3 และ ความเสียหายที่เกิดขึ้นส่วนบนของสะพานโดยภาพออร์โธมีความละเอียด 4.57 pix/mm โดยค่าความเคลื่อนที่วัดได้จากโปรแกรม QGIS กับความเสียหายพื้นที่จริงแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนความเสียหายส่วนเสาตอม่อที่ 1 ที่วัดได้จากโปรแกรม QGIS กับ พื้นที่จริง

GSD (mm/pix)	ตำแหน่ง	รูปแบบความเสียหาย	ระยะพื้นที่จริง (cm)	UAV-QGIS (cm)	%Error
2.49	P1-BC1(1)	รอยแตก	0.85	0.6	29.41
	P1-BC1(2)	รอยแตก	0.43	0.5	16.28
	P1-BC1(3)	รอยแตก	0.39	0.5	28.21
	P1-BC1(4)	รอยแตก	1.52	1.3	14.47
	P1-BC1(5)	รอยแตก	1.17	1	14.53
	P1-BC1(6)	รอยแตก	0.74	0.6	18.92
Max					29.41
Min					14.47
Average					20.30

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนความเสียหายส่วนบนของสะพานที่วัดได้จากโปรแกรม QGIS กับ พื้นที่จริง

GSD (mm/pix)	ตำแหน่ง	รูปแบบความเสียหาย	ระยะพื้นที่จริง (cm)	UAV-QGIS (cm)	%Error
4.57	S8-WS2(L)	หลุดหล่อน	54.7	54.2	0.91
	S8-WS2(W)	หลุดหล่อน	29.5	27.9	5.42
	S8-WS2(L)	หลุดหล่อน	104	104.8	0.77
	S8-WS2(W)	หลุดหล่อน	24.6	22	10.57
	A2-WS2(L)	หลุดหล่อน	44.7	46.5	4.03
	A2-WS2(W)	หลุดหล่อน	24.3	25.4	4.53
	P1-SW1	ระยะห่างรอยต่อ	0.72	0.8	11.11
	P2-SW1	ระยะห่างรอยต่อ	1.13	0.8	29.20
	P3-SW1	ระยะห่างรอยต่อ	2.16	1.9	12.04
	P4-SW1	ระยะห่างรอยต่อ	1.45	1.4	3.45
	P5-SW1	ระยะห่างรอยต่อ	1.62	2.1	29.63
	P6-SW1	ระยะห่างรอยต่อ	1.97	1.6	18.78
	P7-SW1	ระยะห่างรอยต่อ	1.29	1.3	0.78
	P1-SW2	ระยะห่างรอยต่อ	0.475	0.5	5.26
	P2-SW2	ระยะห่างรอยต่อ	1.35	1.4	3.70
	P3-SW2	ระยะห่างรอยต่อ	0.96	1.1	14.58
	P4-SW2	ระยะห่างรอยต่อ	1.74	1.4	19.54
	P5-SW2	ระยะห่างรอยต่อ	2.38	2.2	7.56
	P6-SW2	ระยะห่างรอยต่อ	2.185	1.9	13.04
	P7-SW2	ระยะห่างรอยต่อ	1.62	1.7	4.94
	Max				
Min					0.77
Average					9.99

หมายเหตุ: L หมายถึง ความยาวของความเสียหาย

W หมายถึง ความกว้างของความเสียหาย

พบว่าในการตรวจสอบความเสียหายขนาดใหญ่ในส่วนของกรวดหล่อนของคอนกรีตทั้งหมด 6 จุด มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 10.57% เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนน้อยสุดเท่ากับ 0.77 % และมี

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 % และ ในการตรวจสอบความเสียหายขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็น รอยแตกร้าวของคอนกรีต และ ระยะห่างรอยต่อทางเท้าทั้งหมด 23 จุด มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 29.63 % เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนน้อยสุดเท่ากับ 0.78 % และมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 14.53 % โดยความเสียหายทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 12.37 % เปรียบเทียบกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงบนสะพาน

6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษารตรวจสอบสะพานด้วยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ พบว่า สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติ มีค่า Root Mean Square Error (RMSE) ในแนวราบและแนวตั้ง เท่ากับ 0.851 cm และ 0.992 cm ตามลำดับ ในส่วนของการประเมินความถูกต้องของระยะแต่ละจุดของแบบจำลองที่วัดจากภาพออร์โธด้วยโปรแกรม QGIS กับพื้นที่จริงพบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.14 % โดยในรูปที่ 17 แสดงถึงแนวโน้มของระยะของสะพานที่วัดจากภาพออร์โธกับพื้นที่จริงหาระยะยิ่งมากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนยิ่งน้อย ในส่วนของการประเมินความถูกต้องของความเสียหายของสะพานที่วัดจากภาพออร์โธด้วยโปรแกรม QGIS กับความเสียหายพื้นที่จริง พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นบนเสาตอม่อที่ 1 โดยภาพออร์โธความละเอียด 2.49 pix/mm มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 20.30 % และ ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนของสะพานโดยภาพออร์โธความละเอียด 4.57 pix/mm มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.99 % พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการตรวจสอบความเสียหายนั้นมีความสัมพันธ์กับขนาดความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง สามารถวัดความเสียหายที่มีขนาดใหญ่ได้ใกล้เคียงกับพื้นที่จริง โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเสียหายขนาดใหญ่เฉลี่ยอยู่ที่ 4.37 % ซึ่งความเสียหายขนาดเล็กไม่ว่าจะเป็น รอยแตกร้าวของคอนกรีตและระยะห่างรอยต่อ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเสียหายขนาดเล็กเฉลี่ยอยู่ที่ 14.53 % โดยความเสียหายทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 12.37 % เปรียบเทียบกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงบนสะพาน ดังนั้นการตรวจสอบสะพานด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถตอบโจทย์ในการเข้าถึงพื้นที่ที่ยากจะเข้าถึงและการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ช่วยในการตรวจสอบอีกทั้งการสร้างภาพออร์โธของส่วนบนของสะพาน ส่วนข้างของสะพาน และเสาตอม่อของสะพาน ที่สามารถวัดขนาดความเสียหายทดแทนการใช้กำลังคนในการเข้าถึง แต่อย่างไรก็ตามการวัดความเสียหายขนาดเล็กอาจมีความคลาดเคลื่อนที่สูงเนื่องจากหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็นการไม่กำหนดจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) ในส่วนล่างของสะพาน ข้อจำกัดความสูงในการบินเนื่องจากมีการจราจรบนถนนตลอดเวลา แสงสว่างในพื้นที่ไม่เพียงพอ ส่งผลให้ขนาดความละเอียดจุด (Ground Sample Distance: GSD) มีขนาดสูงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการตรวจสอบ หากทำการแก้ไขปัจจัยดังกล่าวสามารถเพิ่มคุณภาพของแบบจำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบให้ความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่สละเวลาและช่วยเหลือให้คำปรึกษาสำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้และผู้ที่เกี่ยวข้องหลายท่านที่ช่วยในการลงพื้นที่และให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์

ขอขอบคุณแขวงทางหลวงราชบุรี กรมทางหลวงที่ให้ความ
อนุเคราะห์สถานที่ในการบินอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจสอบ
สะพาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. (2551). มาตรฐาน
การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบ
ไม่ทำลาย มยผ. 1501-51, หน้า 1-6.
- [2] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2555). คู่มือการสำรวจและตรวจสอบ
สะพานโครงการศึกษาและพัฒนาาระบบการบริหารงานบำรุงรักษา
สะพาน, หน้า 41-288.
- [3] Ayele, Y.Z., et al.. (2020). Automatic crack segmentation
for UAV-assisted bridge inspection. *Energies*, 13(23): p.
6250.
- [4] Seo, J., L. Duque, and J. Wacker. (2020). *Drone-enabled
bridge inspection methodology and application*.
Automation in Construction, 94: p. 112-126.
- [5] อนุกรรมการพัฒนาระบบประกันคุณภาพของกรมทางหลวงชนบท
ด้านบำรุงรักษาและอำนวยความสะดวกภัย. (2560). คู่มือระบบ
ประกันคุณภาพ (*Quality Assurance*) ของกรมทางหลวงชนบท
ด้านบำรุงรักษาและอำนวยความสะดวกภัย, หน้า 3-43.
- [6] Zhao, S., et al.. (2021). Structural health monitoring and
inspection of dams based on UAV photogrammetry with
image 3D reconstruction. *Automation in Construction*, 130:
p. 103832.
- [7] Rakha, T. and A. Gorodetsky. (2020). Review of Unmanned
Aerial System (UAS) applications in the built environment:
Towards automated building inspection procedures using
drones. *Automation in Construction*, 93: p. 252-264.
- [8] Varbla, S., A. Ellmann, and R. Puust. (2021). *Centimetre-
range deformations of built environment revealed by
drone-based photogrammetry*. *Automation in
Construction*, 128: p. 103787.
- [9] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2561).
มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม, หน้า
55-72.
- [10] Mandirola, M., et al.. (2022). *Use of UAS for damage
inspection and assessment of bridge infrastructures*.
International Journal of Disaster Risk Reduction, 72: p.
102824.
- [11] กรมทางหลวง. (2549). คู่มือการตรวจสอบ วิเคราะห์และประเมิน
กำลังรับน้ำหนักของสะพาน (*Bridge Inspection Analysis and
Evaluation Manual*), หน้า 6-8.
- [12] กระทรวงมหาดไทย. (2549). มาตรฐานสะพาน กรมส่งเสริมการ
ปกครองท้องถิ่น, หน้า 109-132.
- [13] กรมทางหลวง, คู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของ
ผิวทาง (*Pavement distress identification manual*), หน้า 6-37.
- [14] Limited, S.I. *Strip Seal (Single Seal) Joints*. Available from:
<https://sanfieldindia.in/browse/page/SingleSealjoints>.