การพัฒนาแฝดดิจิทัลในการประเมินสภาพของสะพานจากแบบจำลองสารสนเทศด้วยอากาศยานไร้คนขับสำหรับการดูแลรักษาทรัพย์สินของกรมทางหลวง

Development of Digital Twin in Bridge Assessment Using Unmanned Aerial Vehicles for Maintaining the Property of the Department of Highways

ภัทธิยะ พึ่งวงศ์[1,*] วิทิต ปานสุข[2] และ พชร เครือวิทย์[3]

[1,2] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร*
[3] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร*
** Corresponding author; E-mail address: withit.p@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

แบบจำลองเสมือนในโลกดิจิทัลเป็นแนวคิดของอุตสาหกรรม 4.0 ที่สามารถนำไปประยุกต์ในงานหลายๆด้าน หนึ่งในนั้นคือการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ตรวจสอบและประเมินสภาพของโครงสร้างพื้นฐานโดยเฉพาะสะพาน แบบจำลองช่วยให้ผู้ใช้สามารถคาดการณ์และวางแผนสำหรับตรวจสอบและประเมินเพื่อการบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีของการดูแลรักษาสะพานนั้น การใช้เทคนิคโฟโตแกรมเมทรีโดยการเก็บภาพจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำแบบจำลองดิจิทัล ด้วยกระบวนการ 3D-Reconstruction งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอขั้นตอนสำหรับการพัฒนาแบบจำลองฝาแฝดดิจิทัลสำหรับการตรวจสอบและประเมินสะพานที่ใช้ข้อมูลจากเทคนิคโฟโตแกรมเมทรีโดยการเก็บภาพจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งได้ดำเนินการกับโครงสร้างจริงที่สะพานธนะรัชต์ ในจังหวัดราชบุรี โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บภาพจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อสร้างโมเดลดิจิทัล 3 มิติในรูปแบบแบบจำลองจุดก้อนเมฆ จากนั้นผสานเข้ากับแบบจำลองสารสนเทศ เพื่อสร้างแบบจำลองแฝดเสมือนของสะพาน ที่ประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐานของโครงสร้างและลักษณะพื้นผิว ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบบจำลองแฝดดิจิทัลจากการใช้เทคนิคโฟโตแกรมเมทรีโดยการเก็บภาพจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อพัฒนากระบวนการตรวจสอบและประเมินสะพาน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆในอนาคต

คำสำคัญ: แฝดดิจิทัล, อากาศยานไร้คนขับ, การตรวจสอบสะพาน

Abstract

Digital twin (DT) is a key concept of industry 4.0 that can be applied in many fields, one of them is established for detailed virtual inspections and assessments of infrastructure assets, especially bridges. a digital twin model can be enabling users to monitor bridge also assessment to predictive maintenance, In the case of bridge, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is the most common advanced technologies that hold the potential to collect data and provide digital models by 3D-reconstruction process. This paper proposes the framework for developing a DT for bridge inspection and assessment that collect data from UAV-based photogrammetry ,a proof of concept case study based on the Thanarach Bridge in Ratchaburi, Data acquisition based on unmanned aerial vehicle (UAV) images and data storage from DOH, UAV-Based photogrammetry created 3D digital model as point cloud and then merge in to 3D bridge model to created digital twin model that consisted of information and surface model. The results of this research demonstrate the advantage of point cloud convert into 3D-Model process that applied in Digital Twin platforms with collecting data from UAV-based methodology for improve process of bridge inspection and assessment.

Keywords: Digital twin, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), 3D-reconstruction, Bridge inspection

1. บทนำ

ปัจจุบันสะพานในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงมีอยู่จำนวนมาก ซึ่งต้องได้รับการดูแลรักษาอยู่เป็นประจำ เพื่อให้สามารถดำรงประสิทธิภาพการใช้งานได้อยู่เสมอ ปี พ.ศ.2564 ที่ผ่านมา กรมทางหลวงใช้งบประมาณไปกว่า 526 ล้านบาทสำหรับงานดูแลรักษาสะพาน [1] เหตุผลสำคัญของการใช้งบประมาณดังกล่าว เนื่องจากจำนวนของสะพาน ความยากง่ายในการตรวจสอบ รวมไปถึงการบริหารจัดการข้อมูลที่จำเป็น สำหรับการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบริหารและการ

ตัดสินใจในการใช้งบประมาณ วิธีการขั้นต้นของการตรวจสอบสะพาน คือ การตรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) [2] ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านต่างๆ เช่น บุคลากรที่ใช้ในการตรวจสอบ อุปกรณ์ ระยะเวลา ความปลอดภัยของการปฏิบัติงาน รวมไปถึงการบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มที่กำหนด แต่เนื่องด้วยปัจจุบันมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีในด้านต่างๆอย่างก้าวกระโดด ซึ่งมีงานวิจัยได้พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่า การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในการทดแทนการตรวจด้วยตาเปล่า สามารถลดข้อจำกัดของการตรวจสอบแบบดั้งเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] เช่น ลดอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการใช้บุคลากร ลดระยะเวลาในการตรวจสอบ ลดต้นทุนในด้านต่างๆ รวมไปถึง สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้รับจากอากาศยานไร้คนขับไปต่อยอดในระบบดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในห้วงเวลาที่ผ่านมา ยุคของอุตสาหกรรม 4.0 ถูกนำมาเป็นกรอบในการพัฒนาองค์กรในด้านต่างๆ แนวคิดของ แฝดดิจิทัล หรือ Digital Twin ถือเป็นหนึ่งในแนวคิดที่แพร่หลายที่จะมาทดแทนกระบวนการในรูปแบบเดิมอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ ซึ่งปัจจุบันแนวคิดของแฝดดิจิทัลถูกนำมาเป็นเครื่องมือในการดูแลรักษาสะพาน เช่นการตรวจสอบประสิทธิภาพสลิงของสะพานขึงแบบอัตโนมัติ [4] หรือแม้กระทั่งการประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบและประเมินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาทางรถไฟ [5] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประโยชน์และประสิทธิภาพของแนวคิดดังกล่าว ที่จะทำให้การตรวจสอบและดูแลรักษาสะพานรวมถึงโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญและวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบสะพานด้วยตาเปล่า

การตรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) เป็นวิธีการขั้นต้นของการตรวจสอบสะพาน [2] การตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานให้มีระดับการให้บริการที่ดีอยู่อย่างสม่ำเสมอ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสะพาน และจะเป็นการยืดอายุการใช้งานของสะพาน รวมถึงเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานให้กับประชาชนอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบสะพานคือเพื่อให้แน่ใจว่าสะพานยังคงใช้งานได้ ภายใต้เงื่อนไขด้านความปลอดภัยที่ยอมรับได้และมีค่าบำรุงรักษาที่ต่ำที่สุด

- ตรวจสอบให้แน่ใจว่าสถานภาพโครงสร้างยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดในด้านการบริการและความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้รถใช้ถนน
- บันทึกสภาพทางกายภาพของสะพานในปัจจุบัน
- เพื่อตรวจสอบยืนยันถึงการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมก่อนหน้า
- ให้ข้อมูลกับวิศวกรออกแบบ ก่อสร้าง และบำรุงรักษาเพื่อระบุความจำเป็นในบำรุงรักษาและระบุปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

2.2 การตรวจสอบสะพานด้วยอากาศยานไร้คนขับ

2.2.1 การวางแผนการบิน

การวางแผนการบินและการบินถ่ายภาพ [6] เป็นขั้นตอนที่กำหนดความละเอียดของภาพ คุณภาพของภาพ พอยท์คลาวด์ และความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการวางแผนการบินดังนี้

- ขนาด GSD
- ความสูงในการบิน
- ส่วนซ้อนและส่วนเกย
- รูปแบบการบิน

ซึ่งสามารถวางแผนการบินให้เหมาะสมกับงานโดยคำนึงถึงปัจจัยข้างต้นได้ด้วยโปรแกรม DJI GS PRO โดยจะกำหนดความสูงให้เหมาะกับคุณภาพที่ต้องการ รวมถึงส่วนทับซ้อนเพื่อลดช่องโหว่ที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการประมวลผลภาพถ่าย

2.2.2 จุดควบคุมภาพถ่าย

จุดควบคุมภาพถ่าย [6] มีความสำคัญต่อคุณภาพการผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งให้ถูกต้อง ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องเข้าใจหลักการและทฤษฎีในการสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย ได้แก่ การสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายให้เห็นได้เด่นชัดบนภาพ การรังวัดค่าพิกัดที่สามารถนำมายึดโยงภาพถ่ายได้ถูกต้องตามแผนที่วางไว้ และการกำหนดตำแหน่งเพื่อให้จุดควบคุมภาพถ่ายมีจำนวนและการกระจายตัวที่เหมาะสมครอบคลุมทั้งโครงการ ซึ่งตำแหน่งและความถูกต้องของพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายระบบนำทางด้วยดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) จะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนระบบ GPS (Global poisoning system)

2.2.3 การประมวลผลภาพถ่าย

ในการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นกระบวนการที่สำคัญต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการประมวลผลจะบ่งชี้ถึงคุณภาพของชุดข้อมูลภาพถ่าย ดังนั้นจึงทำให้ต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

- การจับคู่เพื่อสร้าง Tie Point
- การยึดโยงค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย
- การสร้างแบบจำลองจุดก้อนเมฆ
- การสร้าง Mesh Model

2.3 แฝดดิจิทัล

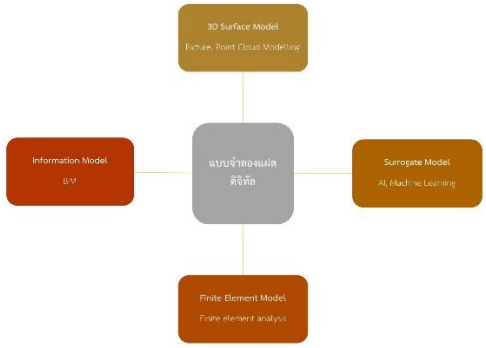
แฝดดิจิทัลคือแบบจำลองดิจิทัลของสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งไม่มีชีวิต โดยการรวมโลกทางกายภาพและโลกเสมือนจริงเข้าด้วยกัน [7] ซึ่งปัจจุบันงานวิจัยจากฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แนวคิดแฝดดิจิทัลเข้ากับงานวิศวกรรมสะพานแบ่งออกเป็น 3 แนวทาง [8] ได้แก่

- การอัพเดทแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนท์ [9]
- แบบจำลองพื้นผิว 3 มิติ [10]
- การรวมข้อมูลและอัพเดทบนแบบจำลองสารสนเทศน์ [11]

ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติของแฝดดิจิทัลได้ดังต่อไปนี้ [8]

- ระบบตรวจจับรอบทิศทาง ในแบบจำลองโลกเสมือนจริง การได้รับข้อมูลอย่างครบถ้วนจากการรับข้อมูลโลกแห่งความเป็นจริงทางการภาพ เช่น การมองเห็น การสัมผัส
- การโต้ตอบแบบตามเวลาจริง เป้าหมายสูงสุดของเทคโนโลยีแฝดดิจิทัล คือการสร้างโลกทางกายภาพจริงขึ้นมาใหม่ทั้งหมด ดังนั้น การโต้ตอบแบบเรียลไทม์ระหว่างโลกธรรมชาติและโลกแฝดจึงมีความสำคัญ จำเป็นต้องมีการดำเนินการโต้ตอบและการเชื่อมต่อสองทางระหว่างชิ้นส่วนกายภาพจริง และโมเดลเสมือน
- การผสานรวมอย่างสมบูรณ์ จำเป็นต้องมีกระบวนการทั้งหมด องค์ประกอบทั้งหมด และการรวมบริการเต็มรูปแบบเพื่อให้กระบวนการ DT เป็นจริง
- มีการแสดงแบบจำลองที่มีคุณภาพสูง
- ฟังก์ชัน AI สำหรับขับเคลื่อนข้อมูล เพื่อให้ได้การตัดสินใจที่ชาญฉลาด การทำนาย และการเตือนภัยล่วงหน้า เครื่องจักรที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล การเรียนรู้ การเรียนรู้เชิงลึก และเทคโนโลยีอื่นๆ จำเป็นต้องทำถูกฝังอยู่ในแบบจำลองแฝดดิจิทัล
- การส่งออกข้อมูล และการประสานข้อมูลระหว่างกัน

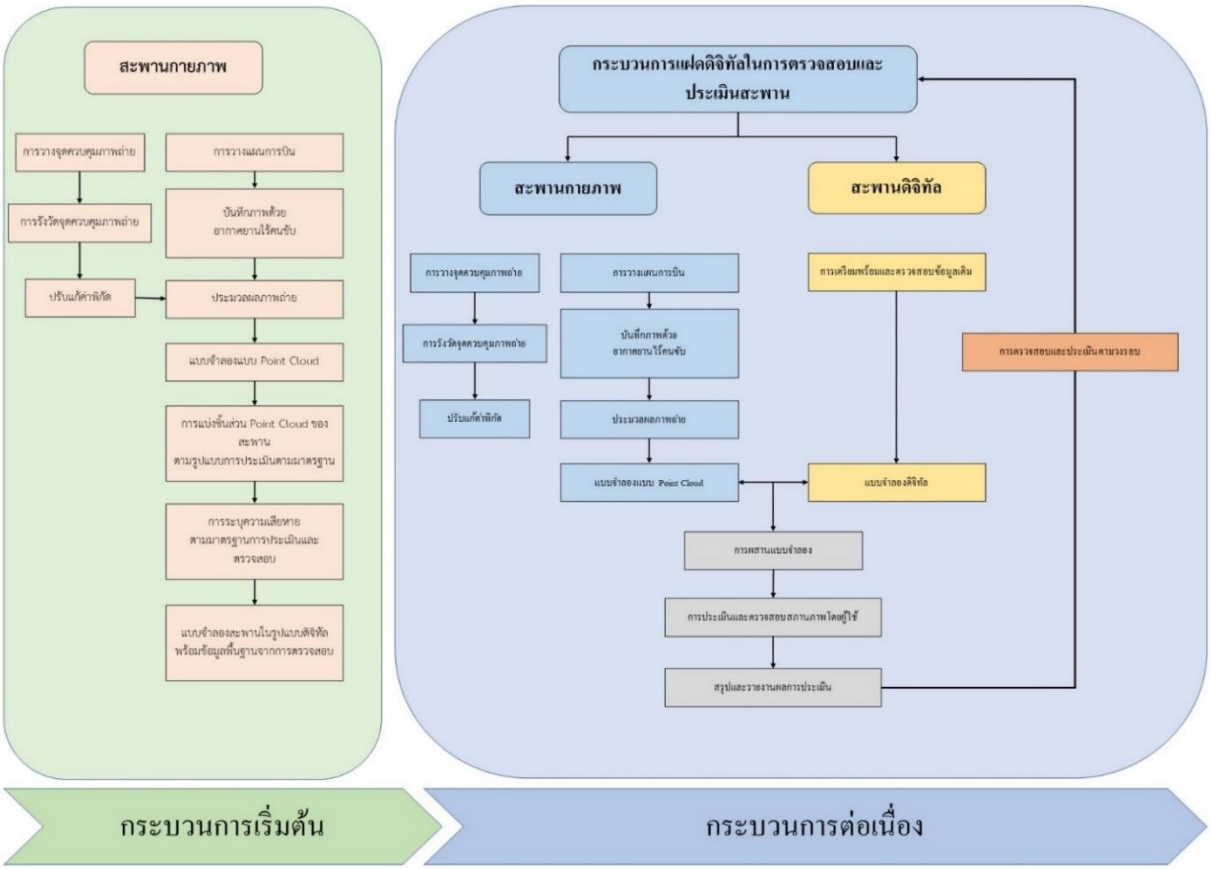
ซึ่งองค์ประกอบของแบบจำลองแฝดดิจิทัลในอุดมคติสามารถสรุปออกได้ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของแบบจำลองแฝดดิจิทัลในอุดมคติ

3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษา สะพานธนะรัตช์ ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของแขวงทางหลวงราชบุรี เป็นพื้นที่ตัวอย่างในการนำเสนอกระบวนการประยุกต์ใช้แนวคิดแฝดดิจิทัลในการตรวจสอบและประเมินสะพานจากการรวบรวมข้อมูลโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ ซึ่งข้อมูลปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลที่อยู่ในรูปดิจิทัล ดังนั้นจึงแบ่งกระบวนการเป็น 2 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อสร้างข้อมูลของสะพานกายภาพให้อยู่ในรูปดิจิทัล

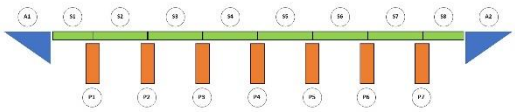


รูปที่ 2 กระบวนการประยุกต์ใช้แนวคิดแฝดดิจิทัลในการตรวจสอบและประเมินสะพานจากการรวบรวมข้อมูลโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

3.1 การเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ

3.1.1 การกำหนดชิ้นส่วนของสะพาน

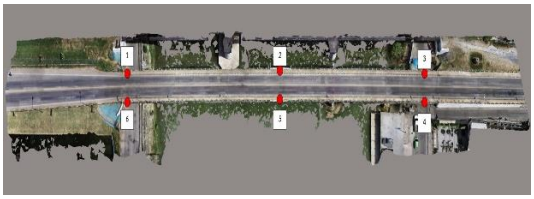
สะพานจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆที่เล็กลง เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงตามตำแหน่งต่างๆในสะพาน เช่น การอ้างถึงตำแหน่งชิ้นส่วน หรือตำแหน่งความเสียหายในสะพาน ซึ่งประกอบด้วย บริเวณเชิงลาดสะพาน (Approach: A) บริเวณช่วงสะพาน (Span: S) และ บริเวณตอม่อ (Pier: P) ดังแสดงในรูปที่ *3*



รูปที่ 3 การแบ่งชิ้นส่วนสะพานตามมาตรฐานการตรวจสอบ

3.1.2 การรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่าย

ดำเนินการวางจุดควบคุมภาพถ่าย ขนาด 0.30x0.30 ม. จำนวน 6 จุด ในส่วนบริเวณช่วงสะพาน และ 4 จุด บริเวณตอม่อของสะพาน โดยเน้นหลักให้จุดควบคุมภาพถ่ายคลอบคลุมพื้นที่ที่เราต้องการจะดำเนินการ ดังแสดงในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5



รูปที่ 4 การวางจุดควบคุมภาพถ่ายบริเวณส่วนช่วงสะพาน

รูปที่ 5 การวางจุดควบคุมภาพถ่ายบริเวณตอม่อสะพาน

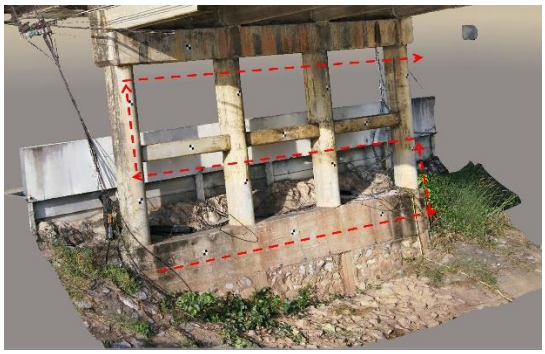
3.1.3 การวางแผนการบินส่วนบนของสะพาน

ใช้การวางแผนการบินโดยอัตโนมัติด้วยโปรแกรม DJI GS PRO โดยให้ค่าทับซ้อนกันอยู่ที่ร้อยละ 80 ความสูง 15 ม. ด้วยอากาศยานไร้คนขับ DJI Phantom 4 Pro V2 ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 เส้นทางการบินส่วนบนของสะพาน

3.1.4 การวางแผนการบินส่วนตอม่อสะพาน

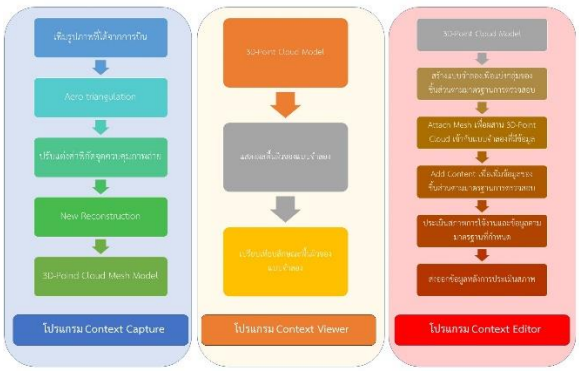
จากข้อจำกัดของอากาศยานไร้คนขับที่ไม่สามารถบินด้วยระบบอัตโนมัติได้ เนื่องด้วยลักษณะพื้นที่ที่จำกัด รวมถึงสิ่งกีดขวาง เช่นสายไฟต่าง จึงต้องดำเนินการเก็บภาพด้วยผู้สำรวจเอง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 เส้นทางการบินส่วนตอม่อสะพาน

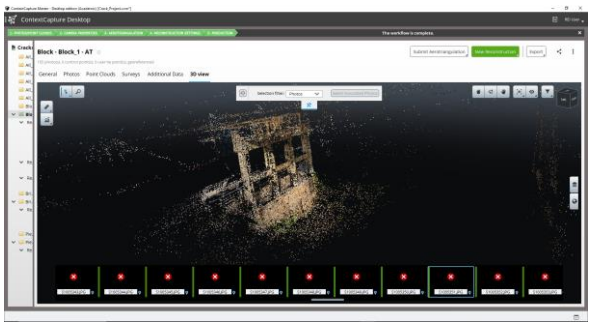
3.2 การประมวลผลภาพถ่าย

การประมวลผลภาพถ่ายเพื่อสร้างแบบจำลองจะดำเนินการใช้โปรแกรม Context Capture โดยใช้หลักการ Photogrammetry ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กระบวนการทำงานของโปรแกรม Context Capture, Context Viewer และ Context Editor

ซึ่งกระบวนการจับคู่ Tie Point ของภาพถ่ายและการกำหนดพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายจะอยู่ในกระบวนการ Aero Triangulation จากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อสร้างแบบจำลองก้อนเมฆ ดังแสดงในรูปที่ 9 และ Mesh Model ด้วยกระบวนการ New Reconstruction

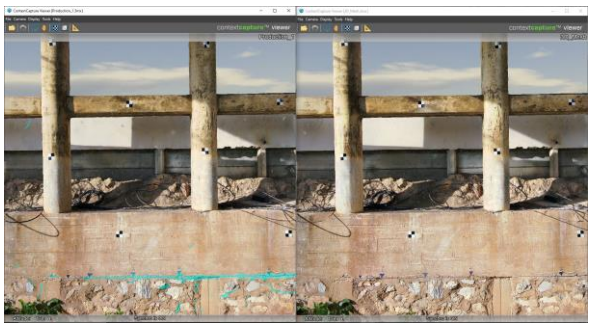


รูปที่ 9 ตัวอย่างผลจากกระบวนการ Aero Triangulation

3.3 การประเมินผลและการเก็บข้อมูลในรูปแบบแบบจำลองดิจิทัล

3.3.1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

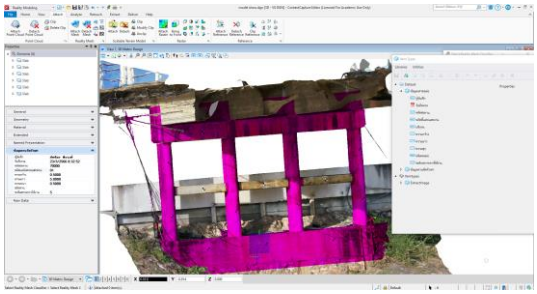
แบบจำลองสามมิติที่ได้จากกระบวนการ New Reconstruction จะถูกนำมาเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของชิ้นส่วน ด้วยโปรแกรม Context Viewer ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบแบบจำลองแบบจุดต่อจุด

3.3.2 การสร้างแบบจำลองเพื่อแบ่งองค์ประกอบตามมาตรฐานการตรวจสอบ

แบบจำลองสามมิติที่ได้จากกระบวนการ New Reconstruction จะต้องนำมาแบ่งชิ้นส่วนตามรูปแบบการมาตรฐานการประเมินและการบันทึกของกรมทางหลวง ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การแบ่งชิ้นส่วนสะพานตามรูปแบบมาตรฐานการประเมิน

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการสร้างแบบจำลอง

ผลการสร้างแบบจำลองจุดก้อนเมฆจากการรวบรวมภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับ ดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งจะแสดงชิ้นส่วนด้านบนของสะพานและตอม่อทั้งสองรูปแบบของสะพานธนรัชต์ ที่สามารถระบุลักษณะพื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(a)

(b)

(c)

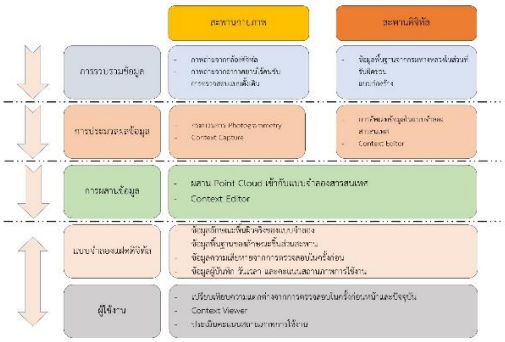
รูปที่ 12 แบบจำลองจากจุดก้อนเมฆของ (a) ส่วนบนของสะพาน (b) ส่วนตอม่อสะพานแบบที่ 1 (c) ส่วนตอม่อสะพานแบบที่ 2

4.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองแบบจุดต่อจุด

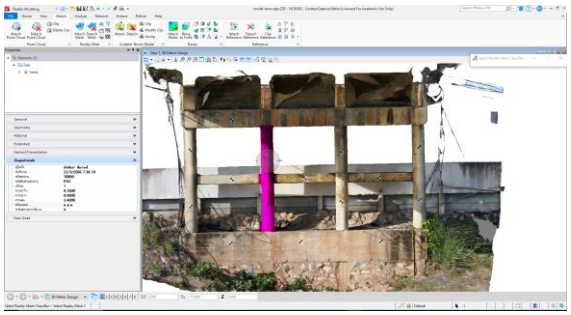
การเปรียบเทียบแบบจำลองแบบจุดต่อจุด ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยใช้โปรแกรม Context Viewer แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสะพานแบบจุดต่อจุดจากแบบจำลองดิจิทัล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์กับการตรวจสอบด้วยตาเปล่าตามวงรอบของการตรวจสอบ ซึ่งจะทำให้สามารถติดตามความเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะเป็นความเสียหายในรูปแบบต่างๆ เช่นรอยร้าว การหลุดร่อนของชิ้นส่วน ซึ่งนำไปสู่การตัดสินใจในการบำรุงรักษาได้อย่างทันท่วงที

4.3 แบบจำลองแฝดดิจิทัล

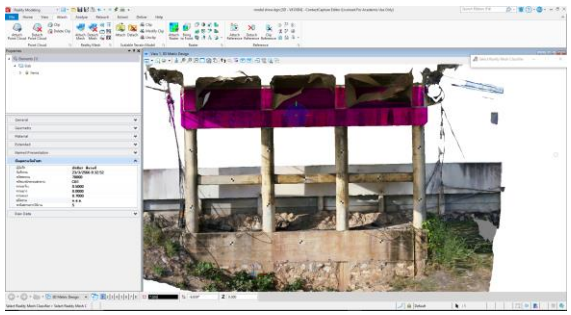
จากกระบวนการที่กล่าวมาสามารถสรุปเป็นแผนผังกระบวนการพัฒนาการประยุกต์ใช้แนวคิดแฝดดิจิทัลในการประเมินสภาพของสะพานจากแบบจำลองสารสนเทศด้วยอากาศยานไร้คนขับ ได้ดังรูปที่ 13 ซึ่งแบบจำลองแฝดดิจิทัลที่ได้จากการแบ่งองค์ประกอบตามมาตรฐานการตรวจสอบของกรมทางหลวง โดยที่สามารถบันทึกข้อมูลลงในแต่ละชิ้นส่วนได้ทั้งผู้ตรวจ วันเวลาที่ทำการตรวจ มิติ ความเสียหาย รวมถึงข้อมูลการซ่อมแซม และบำรุงรักษา อีกทั้งแบบจำลองยังแสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวของสะพานได้อย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 14 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถช่วยให้การประเมินการใช้งาน การตรวจสอบของชิ้นส่วนต่างๆ มีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว ลดขั้นตอนการบันทึกข้อมูลลงเอกสาร โดยเฉพาะสะพานที่มีขนาดใหญ่และข้อมูลจำนวนมาก



รูปที่ 13 กระบวนการประยุกต์ใช้แนวคิดแฝดดิจิทัลในการประเมินสะพานจากแบบจำลองสารสนเทศด้วยอากาศยานไร้คนขับ



(a)



(b)

รูปที่ 14 แบบจำลองแฝดดิจิทัล (a) ชิ้นส่วนตอม่อ (b) ชิ้นส่วนคานรัดหัวเสา

5. บทสรุป

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้แนวคิดแฝดดิจิทัลจากการใช้เทคนิคโฟโตแกรมเมทรีโดยการเก็บภาพจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อพัฒนากระบวนการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและประเมินสะพานตามวงรอบ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการบริหารและการตัดสินใจในการใช้งบประมาณในการบำรุงรักษา ไม่ว่าจะเป็น ขั้นตอนตรวจสอบที่ใช้อากาศยานไร้คนขับทดแทนการตรวจสอบแบบดั้งเดิม ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาการรวบรวมข้อมูล ลดอัตราความเสี่ยงที่จะเกิดกับผู้ตรวจ เข้าถึงพื้นที่ที่ยากจะเข้าถึง รวมถึงลดความซับซ้อนของการรวบรวมข้อมูลหากเป็นสะพานขนาดใหญ่ อีกทั้งการเปรียบเทียบแบบจำลองแบบจุดต่อจุดที่สามารถชี้ให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงตามวงรอบที่ทำการตรวจ ช่วยให้สามารถคาดคะเน และวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง แม่นยำและทันเวลา และแบบจำลองแฝดดิจิทัลที่ประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐานของชิ้นส่วนสะพานซึ่งถูกแบ่งตามมาตรฐานการตรวจสอบ ที่จะช่วยลดขั้นตอนการเตรียมการข้อมูลก่อนการตรวจสอบรวมไปถึงอำนวยความสะดวกให้กับผู้ตรวจสอบได้เป็นอันมาก อีกทั้งรายงานการประเมิน รายงานการตรวจสอบย้อนหลัง และบันทึกการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ที่ถูกบันทึกในแบบจำลอง รวมไปถึงข้อมูลลักษณะพื้นผิวของสะพาน จะช่วยให้การตรวจสอบ ประเมิน และดูแลรักษาสะพาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่สละเวลาและช่วยเหลือให้คำปรึกษาสำหรับการศึกษาวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ รวมถึงกรมทางหลวง แขวงทางหลวงราชบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และสนับสนุนข้อมูลและสถานที่เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทางหลวง, รายงานประจำปี *2564*. 2564: http://www.doh.go.th/content/page/journals/190210.

[2] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คู่มือการสำรวจและตรวจสอบสะพานโครงการศึกษาและพัฒนาระบบการบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน. 2555.

[3] Mandirola, M., et al., *Use of UAS for damage inspection and assessment of bridge infrastructures.* International Journal of Disaster Risk Reduction, 2022. 72: p. 102824.

[4] Pregnolato, M., et al., *Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure.* Automation in Construction, 2022. 141: p. 104421.

[5] Kaewunruen, S., et al. *Digital Twins for Managing Railway Bridge Maintenance, Resilience, and Climate Change Adaptation*. Sensors, 2023. 23, DOI: 10.3390/s23010252.

[6] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม. 2561.

[7] Futai, M.M., et al., *Challenges in the application of digital transformation to inspection and maintenance of bridges.* Structure and Infrastructure Engineering, 2022. 18(10-11): p. 1581-1600.

[8] Honghong, S., et al., *Digital twin enhanced BIM to shape full life cycle digital transformation for bridge*

engineering. Automation in Construction, 2023. 147: p. 104736.

[9] Lin, K., et al., *Digital twin-based collapse fragility assessment of a long-span cable-stayed bridge under strong earthquakes.* Automation in Construction, 2021. 123: p. 103547.

[10] Lu, R. and I. Brilakis, *Digital twinning of existing reinforced concrete bridges from labelled point clusters.* Automation in Construction, 2019. 105: p. 102837.

[11] Kaewunruen, S., et al. *Digital Twin Aided Vulnerability Assessment and Risk-Based Maintenance Planning of Bridge Infrastructures Exposed to Extreme Conditions*. Sustainability, 2021. 13, DOI: 10.3390/su13042051.