

การประยุกต์ใช้ point cloud ในการตรวจสอบความเรียบของงานผนัง

The application of point cloud data for wall flatness measurement

ชนินทร์ รักใคร่¹, สิริภพ ธัญญะพิเศษศักดิ์², อัจฉราพรรณ วัฏค้อ³, และ วัชร เพียรสุภาพ⁴

^{1,2,3,4} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้างผนังเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อทั้งความแข็งแรงและความสวยงามของอาคาร อย่างไรก็ตามการตรวจสอบความเรียบของงานผนังด้วยเทคโนโลยี point cloud ยังขาดการประยุกต์ใช้เนื่องจากต้นทุนของอุปกรณ์ที่สูงและขาดข้อมูลการประเมินด้วย point cloud เทียบกับวิธีการประเมินในปัจจุบันงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนในการตรวจสอบความเรียบของงานผนัง โดยใช้อุปกรณ์สแกนแบบเลเซอร์ FARO Focus M70 และเซ็นเซอร์ Light Detection and Ranging (LiDAR) บนอุปกรณ์ iPad Pro 6th Generation เทียบกับวิธีการตรวจสอบทั่วไป พร้อมประเมินความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ภายใต้มาตรฐาน Construction Quality Assessment System (CONQUAS) โดยเก็บข้อมูลภาพจุดของผนังจากเครื่องมือทั้งสอง จากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปประมวลผลแสดงความเรียบของผนังผ่านการเขียนชุดคำสั่ง MATLAB ด้วยวิธีกระบวนการ Random Sample Consensus (RANSAC) เพื่อสร้างระนาบอ้างอิง และประเมินค่าความเบี่ยงเบนเชิงสถิติ พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของระนาบข้อมูลภาพจุดจากอุปกรณ์ทั้งสอง และแสดงค่าความเรียบของระนาบผนังด้วยภาพชั้นสี รวมถึงเทียบผลลัพธ์กับวิธีการวัดแบบดั้งเดิม ซึ่งจากการศึกษาพบว่า FARO Focus M70 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากระนาบระดับมิลลิเมตร และสามารถตรวจจับความไม่เรียบของผนังได้อย่างชัดเจน มีแนวโน้มคล้ายกับวิธีดั้งเดิม ขณะที่ iPad Pro ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระยะห่างจากระนาบประมาณไปถึงระดับเซนติเมตร และมีข้อจำกัดในสภาพแวดล้อมที่มีแสง และเงา อีกทั้งหากพิจารณาในด้านของค่าแรง และต้นทุน จะพบว่า การตรวจสอบความเรียบด้วยอุปกรณ์เลเซอร์สแกนเนอร์ มีค่าใช้จ่ายและต้นทุนที่สูงกว่า แต่ก็แลกมากับผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่า

คำสำคัญ: ความเรียบงานผนัง, RANSAC, ไลดาร์, การตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้าง, พอยต์คลาวด์

Abstract

Quality control in construction is a critical process that affects both structural safety and architectural aesthetics. However, the evaluation of wall flatness using point cloud data still lacks practical application due to high equipment costs and lack of comparative analysis with traditional approaches. This study aims to investigate and analyze the differences in results of wall flatness measurement using a FARO Focus M70 laser scanner and the built-in Light Detection and Ranging (LiDAR) sensor of an iPad Pro 6th Generation, in comparison with conventional inspection methods. The research also evaluates the feasibility of adopting such technologies under the Construction Quality Assessment System (CONQUAS) standard. In this study, point cloud data from both devices were collected and processed for wall flatness using a MATLAB script with the Random Sample Consensus (RANSAC) algorithm to generate reference planes and compute statistical deviations, and the results also include color-coded visualizations of the classified point clouds. After that, the results obtained were compared with conventional methods. This study's results indicate that the FARO Focus M70 can provide an average deviation at the millimeter level and is capable of clearly detecting wall unevenness. The results even showed similarity with the traditional method. In contrast, the iPad Pro showed an average deviation at the centimeter level, and this result shows that the iPad Pro still has limitations due to environmental factors, specifically lighting and shadow conditions. In terms of cost, using laser scanning tools can cause higher labor and equipment costs, but can provide more accurate results.

Keywords: Wall flatness, RANSAC, LIDAR, Construction Quality control, Point cloud

1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การควบคุมคุณภาพเป็นหนึ่งในกระบวนการย่อยในการบริหารคุณภาพงานก่อสร้างที่จะมุ่งเน้นให้การก่อสร้างเป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งการควบคุมคุณภาพจะมีขั้นตอนสำคัญคือการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งในการตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้างโดยทั่วไปแล้วจะมีมาตรฐานที่ระบุไว้ชัดเจน แต่ในส่วนของการตรวจสอบความเรียบผิวนั้นในประเทศไทยนั้นยังไม่มีมาตรฐานที่กำหนดแน่ชัด ซึ่งผู้ตรวจสอบส่วนใหญ่จะอาศัยประสบการณ์ และความพึงพอใจของตนเอง

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผวนกับความไม่แน่นอนของผลลัพธ์จากวิธีดั้งเดิม จึงมีเริ่มมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลพอยต์คลาวด์ จากเทคโนโลยี Light Detection and Ranging (LiDAR) มาประยุกต์ใช้ตรวจสอบความเรียบของผนัง ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวมีค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในมาตรฐานงานสำรวจ แต่มีข้อจำกัดด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูง และยังไม่มีการประเมินข้อมูลเทียบกับวิธีดั้งเดิมมากนัก

บทความวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้นการนำเอาเทคโนโลยี LiDAR ที่มีในทั้งในเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน Faro Focus M70 และแท็บเล็ตอย่าง iPad Pro 6th Generation มาศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบความเรียบของงานผนัง โดยจะวัดคุณภาพของข้อมูล ผ่านตัวชี้วัด ที่เป็นค่าคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ เทียบกับระนาบอ้างอิงที่สร้างขึ้นจากแต่ละข้อมูลที่ได้จากแต่ละอุปกรณ์ ผ่านกระบวนการ RANSAC โดยนำไปวิเคราะห์ชุดคำสั่งที่ออกแบบในโปรแกรม MATLAB ที่สร้างขึ้น ที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ซึ่งแสดงผลเป็นค่าเชิงสถิติใช้สำหรับเปรียบเทียบคุณภาพข้อมูลที่ได้จากแต่ละอุปกรณ์ พร้อมทั้งภาพชั้นสีที่จำแนกความเรียบและไม่เรียบ รวมถึงระหว่าง การเก็บข้อมูลผนัง จะบันทึกด้านข้อมูลต้นทุน และผลิตผลที่ได้ แล้วนำมาเปรียบเทียบทั้งในด้านผลลัพธ์ และต้นทุนกับการตรวจวัดความเรียบผนังแบบดั้งเดิม เพื่อมองหาคำตอบเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี LiDAR จากแท็บเล็ตและเลเซอร์สแกนภาคพื้นดินมาใช้ในงานตรวจสอบความเรียบผนัง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ในการตรวจสอบความเรียบงานผนังจาก iPad Pro 6th Generation และ FARO Focus M70 ในรูปแบบค่าเชิงสถิติจากค่าคลาดเคลื่อน และภาพชั้นสีแสดงความเรียบ รวมถึงเปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีดั้งเดิม
2. เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LIDAR ใน iPad Pro 6th Generation และ FARO Focus M70 ในการตรวจสอบความเรียบของงานผนัง
3. พิจารณาในด้านการบริหารต้นทุนของการใช้เทคโนโลยี LiDAR ใน iPad Pro 6th Generation และ FARO Focus M70 เพื่อตรวจสอบความเรียบของงานผนัง และเปรียบเทียบกับ การตรวจวัดความเรียบของงานผนังในปัจจุบัน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LiDAR และผลผลิต point cloud มาตรวจสอบคุณภาพความเรียบผนัง
2. สามารถนำไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้งานอุปกรณ์ LiDAR ให้เหมาะสมกับงาน จากผลที่ได้ในด้านการเปรียบเทียบความละเอียดถูกต้องของค่าคลาดเคลื่อนจากทั้ง 2 อุปกรณ์
3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบชุดคำสั่ง Script สำหรับวิเคราะห์ point cloud ในการตรวจสอบความเรียบของงานผนัง
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้วิธีการในการตรวจสอบความเรียบงานผนังอย่างเหมาะสมในด้านผลลัพธ์ ต้นทุน และระยะเวลา

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เกณฑ์ และมาตรฐานในการตรวจสอบงานผนัง

ปัจจุบันไม่มีเกณฑ์และมาตรฐานที่แน่ชัดในการตรวจสอบความเรียบผนัง โดยในแต่ละกลุ่มประเทศจะมีเกณฑ์ที่ใช้แตกต่างกันออกไปในประเทศตัวเอง เช่น ประเทศสิงคโปร์ จะมีมาตรฐานที่มีชื่อว่า The Construction Quality Assessment System (CONQUAS) (Building and Construction Authority, 2022) โดยจะมีรายละเอียดของการตรวจสอบคุณภาพผนังภายใต้เงื่อนไขสี่ผิวสม่ำเสมอ และผนังที่บรรจบกันที่มุมได้อย่างถูกต้องมีความแตกต่างของระดับผนังไม่เกิน 4 มิลลิเมตร ในระยะ 300 มิลลิเมตร โดยในแนวนอนมีความแตกต่างของระดับผนังไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ในระยะ 1.2 เมตร และในแนวตั้งมีความแตกต่างของระดับผนังไม่เกิน 3 มิลลิเมตรในระยะ 1 เมตร

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง จำเป็นต้องทราบถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

2.2.1 เทคโนโลยี Point Cloud และ Laser Scanner

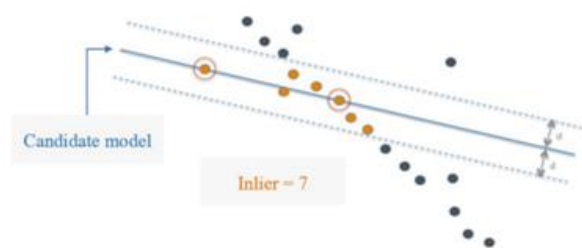
Point Cloud เป็นกลุ่มของข้อมูลจุดพิกัดสามมิติ โดยเก็บค่าตำแหน่งของวัตถุ ในพิกัด X, Y, และ Z โดยจะมีข้อมูลความเข้มและสี รวมถึงเซ็นเซอร์ในการเก็บข้อมูล สามารถนำไปสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งวิธีในการเก็บข้อมูล Point Cloud สามารถเก็บข้อมูลด้วยวิธี Laser Scanner ซึ่งเป็นงานสำรวจที่ใช้เซ็นเซอร์ร่วมกับการยิงเลเซอร์ไปยังวัตถุ เพื่อวัดระยะห่างจากเป้าหมาย โดยวัดจากระยะเวลาที่แสงเลเซอร์สะท้อนกลับมาจากวัตถุมาถึงตัวรับสัญญาณ ซึ่งโดยปกติจะมีกล้อง RGB เพื่อบันทึกสีของวัตถุได้ หรือสามารถใช้วิธีการเก็บข้อมูลแบบ Photogrammetry ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งได้

2.2.2 ทฤษฎีแนวโน้มนำเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem : CLT)

Central Limit Theorem คือการแจกแจงตัวอย่างที่มีแนวโน้มจะเข้าใกล้การแจกแจงปกติหรือการกระจายแบบธรรมชาติ เมื่อขนาดของตัวอย่างมีขนาดใหญ่พอ ซึ่งข้อสรุปดังกล่าวมาจากการทดลองสุ่มประชากรหลายครั้ง และบันทึกค่าสถิติที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างในแต่ละครั้ง เช่นค่าเฉลี่ย (Mean) หรือค่าร้อยละ (%) แล้วนำค่าเหล่านั้นมาสร้างกราฟทางสถิติ ซึ่งกราฟจะออกมาเป็นการแจกแจงแบบปกติเสมอ โดยมีเงื่อนไขสำคัญคือ การสุ่มตัวอย่างต้องเป็นไปอย่างอิสระ และกลุ่มตัวอย่างต้องมีขนาดใหญ่พอ คือมากกว่าเท่ากับ 30 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงที่นิยมทั่วไป (Fischer,2011)

2.2.3 กระบวนการ Random Sample Consensus (RANSAC)

กระบวนการ RANSAC เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับตรวจจับโครงสร้างเรขาคณิตพื้นฐาน เช่น เส้นตรงใน 2 มิติ และรูปทรง 3 มิติ รวมทั้งใช้จัดการกับจุด Point Cloud 3 มิติ โดย RANSAC จะทำงานแบบวนซ้ำ (iterative) ที่เริ่มจากการแยกข้อมูล Inliers จุดข้อมูลที่อยู่ในโมเดล และ Outliers จุดข้อมูลที่อยู่นอกโมเดล จากนั้นทำการสุ่ม 3 จุด จากจุดที่อยู่ในโมเดลทั้งหมดเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ และสร้างระนาบที่เป็นไปได้ โดยจะมีคะแนนที่บ่งบอกจำนวนจุดที่อยู่ใน Point Cloud ที่อยู่ใกล้ระนาบนั้น ภายในระยะที่กำหนด (Threshold) โดยจะทำการสุ่มหลายรอบเพื่อให้ได้ระนาบที่มีคะแนนหรือจุดข้อมูลอยู่ในระยะที่กำหนด (Inliers) มากที่สุดเพื่อนำระนาบนั้นมาใช้แทนระนาบที่แท้จริงของข้อมูลทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการใช้กระบวนการ RANSAC สร้างโมเดลเส้นตรงผ่านช่วงข้อมูล Inlier จากงานวิจัยที่อ้างอิง

2.2.4 การกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่ม

การกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มแสดงด้วยตัว T ดังแสดงในสมการที่ (1) และสมการที่ (2)

$$T = \log(1 - \alpha) / \log(1 - (1 - e)^S) \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

$$\alpha = 1 - (1 - (1 - e)^S)^T \quad (2)$$

โดยที่ e คือ ความน่าจะเป็นที่จุดใดจุดหนึ่งจะเป็น Outlier
 S คือ จำนวนจุดในชุดสุ่ม (sample size)

T คือ จำนวนรอบในการสุ่ม (trials)

α คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ต้องการ

โดยจำนวนจุดที่ใช้ในชุดสุ่ม (S) จะกำหนดเท่ากับ 3 ซึ่งเป็นจำนวนจุดขั้นต่ำในการตรวจจับโครงสร้างระนาบ โดยค่าความน่าจะเป็น (α) จะมีค่าขึ้นอยู่กับความต้องการผู้ใช้งาน อาจกำหนดเป็น 0.90 (ความเชื่อมั่น 90 %) และ ค่าของ $1 - e$ สามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$1 - e = n_{\text{plane}} / n_{\text{total}} \quad (3)$$

โดยที่ n_{plane} คือ จำนวนจุดในระนาบที่เล็กที่สุด
 n_{total} จำนวนจุดทั้งหมด

โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และรูปภาพของกระบวนการ RANSAC ที่ได้กล่าวไป อ้างอิงจากงานวิจัย (Doouphummet et al.,2022)

3 ระเบียบขั้นตอนวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เทคโนโลยี LiDAR ในแท็บเล็ต (iPad Pro 6th Generation) และเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี LiDAR ที่มาจากเครื่องมือสำรวจโดยเฉพาะ (Faro Focus M70) ในการตรวจสอบคุณภาพความเรียบผิวน้ำ และออกแบบพัฒนาชุดคำสั่ง (Script) บนโปรแกรม MATLAB ที่สามารถวิเคราะห์ Point Cloud ที่ได้จากการเปรียบเทียบอุปกรณ์ข้างต้น ด้านความละเอียดถูกต้องและวิเคราะห์ ความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยี LiDAR ในการตรวจสอบคุณภาพผิวน้ำ โดยพิจารณาในส่วนการบริหารต้นทุนเปรียบเทียบกับวิธีการทั่วไปในการตรวจสอบความเรียบของผิวน้ำ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และ ภาพรวมการตรวจสอบความเรียบผิวน้ำ และเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ รวมถึงข้อจำกัดของงานวิจัยการใช้เทคโนโลยี LiDAR ที่ผ่านมา

3.2 ประเมินแหล่งข้อมูล กำหนดอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ และพื้นที่ศึกษา

กำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ iPad Pro 6th Generation และอุปกรณ์ LiDAR เฉพาะทาง Faro Focus M70 รวมถึงพื้นที่ที่สามารถเก็บต้นทุนด้านเวลา และค่าใช้จ่าย ซึ่งในที่นี้พื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่ก่อสร้างของบริษัท ซี อี เอส จำกัด ไซต์งานก่อสร้างอาคารศาลเจ้าไต้ฮงกง(สาทร) ถนนเจริญราษฎร์ซอย 2 แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

3.3 ออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล Point Cloud

ทำการลงพื้นที่สำรวจ เพื่อกำหนดแบบวิธีการเก็บข้อมูล Point Cloud

3.3.1 กำหนดจำนวนตัวอย่างและลักษณะของผนัง

โดยจะเก็บจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 30 ผนัง ตามทฤษฎี CLT ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.2.2 และกำหนดให้เป็นผนังปูนฉาบ โดยแตกต่างกันไปตามสภาพปัจจัยทางกายภาพ คือขนาด, สีผนัง, แสงและเงา ที่ตกกระทบเป็นหลัก

3.3.2 การออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล

โดยจะใช้เครื่องมือ Faro Focus M70 ปรับคุณภาพการสแกนเป็น 1/4 ซึ่งเป็นคุณภาพการสแกนที่ใช้ทั่วไป และสำหรับอุปกรณ์ iPad Pro 6th Generation จะเก็บข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันที่ชื่อว่า Modelar โดยปรับระยะเซ็นเซอร์สูงสุดได้เพียง 5 เมตร ในที่นี้ ระยะตั้งกล้องของทั้งสองอุปกรณ์ดังกล่าวเลือกใช้ที่ 2 เมตร ซึ่งไม่เกิน 4 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมตามงานวิจัยอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง (ศักดิ์ นนท์ นพฤทธิ์ และวัชร เพียรสุภาพ, 2564) โดยจะทำการกำหนดขอบเขตของผนังที่ต้องการเก็บ แล้วเริ่มทำการสแกนเก็บภาพผนังด้วย 2 อุปกรณ์ตามที่กล่าวไปยังต้นจำนวนทั้งหมด 30 ผนัง ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นภาพสแกนของผนังของอุปกรณ์ที่ทำการสแกนนั้นๆ

3.4 การจัดการข้อมูล Point Cloud ก่อนนำไปใช้งาน

โดยจะนำผลลัพธ์ภาพสแกนที่ได้จากทั้ง 2 อุปกรณ์ จำนวนทั้งหมด 30 ผนัง มาปรับแต่งให้กลายเป็นข้อมูล Point Cloud (สกุลไฟล์ .las) และลดจำนวนจุดที่เกิด Noise และ Outliers โดย ภาพสแกนที่ได้จาก Faro Focus M70 จะทำการปรับแกนให้ระนาบผนังในแนวตั้งขนานไปกับแกน Z และแนวนอนขนานไปกับแกน Y และแกน X จะมีทิศพุ่งเข้าหาตัวเสมอ รวมถึงครอบตัดผนังเฉพาะบริเวณที่จะนำไปประมวลผลใน MATLAB ต่อไปภายหลังจาก ผ่านโปรแกรม Scene เช่นเดียวกับภาพสแกนที่ได้จาก iPad Pro 6th Generation จะทำการปรับแต่งแกนผ่านโปรแกรม Cloud Compare ก่อนจะนำไปประมวลผลใน MATLAB ต่อไป

3.5 การออกแบบชุดคำสั่งสำหรับการตรวจสอบความเรียบผนัง

เริ่มจากนำเข้าข้อมูล Point Cloud ทั้งสองเครื่องมือ Faro Focus M70 และ iPad Pro 6th Generation และแสดงผล Point Cloud เป็นรูปสามมิติ จากนั้นใช้คำสั่งประมวลผล RANSAC โดยกำหนดจำนวนการสุ่มรอบ โดยทั้งสองอุปกรณ์นี้ขั้นตอนวิธีเหมือนกันทุกส่วน ต่างแค่การกำหนดค่า Threshold เท่านั้น ตามทฤษฎี RANSAC ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.3 ในที่นี้จะใช้จำนวนการสุ่มทั้งหมดกำหนดขึ้น 1000 รอบ เนื่องจากเมื่อทดลองคำนวณจำนวนการสุ่มตามสมการที่ 1 และ สมการที่ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ขึ้นไปพบว่าได้ผลจำนวนรอบที่มากส่งผลให้ใช้ระยะเวลาประมวลผลนานเกินไป จึงกำหนดจำนวนรอบขึ้นเพื่อให้สามารถวิจัยให้ผลลัพธ์ในเวลาจำกัดได้ หลังจากนั้นทำการกำหนด ค่า Threshold ของ iPad Pro 6th Generation เท่ากับ 3 มิลลิเมตร จากประสิทธิภาพอุปกรณ์ และของ iPad Pro 6th Generation เท่ากับ 3 เซนติเมตร จาก

ความละเอียดของอุปกรณ์ได้ถูกระบุในงานวิจัย (Abdel-Majeed et al., 2024) หลังได้ระนาบที่เข้ากับ Point Cloud มากที่สุด โปรแกรมจะทำการแยกจุดที่เป็น Outlier ออกเป็นสีแดง และ Inlier เป็นสีเขียว ในที่นี้จะจำแนกความเรียบผนังจากการคำนวณระยะทางจากจุดไปยังระนาบดังสมการที่ 3

$$e = (|aX_p + bY_p + cZ_p + d|) / (\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}) \quad (3)$$

โดย a, b, c คือ ค่าสัมประสิทธิ์

d คือ ค่าคงที่

X_p, Y_p, Z_p คือ ค่าตัวแปรเชิงพิกัดของจุดที่ห่างจากระนาบ

e คือ ระยะห่างระหว่างระนาบและ จุด

จากสมการหาระยะห่างข้างต้น จะสามารถทำการจำแนกความเรียบผ่านจุดยุบและนูนได้ โดยใช้มาตรฐาน CONQUAS โดยกำหนดค่า Tolerance เป็น ± 0.003 เมตร จุดที่อยู่ในระยะ Tolerance หรือใกล้ระนาบ จะแสดงข้อมูลเป็นสีเขียว จุดที่อยู่สูงกว่าระนาบหรือนูนเกินค่า Tolerance จัดเป็นผิวนูนจะแสดงเป็นสีน้ำเงิน และจุดที่อยู่ต่ำกว่าระนาบ หรือยุบเกินค่า Tolerance จะแสดงเป็นสีชมพู

โดยสุดท้ายทำการสรุปเปรียบเทียบเป็นค่าสถิติได้แก่ ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างจุด และระนาบที่สร้างจากอุปกรณ์เดียวกัน (Mean distance to plane), ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของจุดทั้งหมดที่ห่างจากระนาบ (Standard Deviation to plane), เปอร์เซนต์ของจุดที่เรียบ (% Smooth points), ค่าเบี่ยงเบนสูงสุด (Max deviation), ความหนาแน่นของจุด (Point count)

3.6 การออกแบบชุดคำสั่งสำหรับการตรวจสอบความเรียบของงานผนัง

3.6.1 แนวคิดในการเปรียบเทียบข้อมูล

จากค่าทางสถิติที่สนใจ มีข้อมูลอยู่ 4 ประเภทที่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของข้อมูล Point Cloud

1. ระยะห่างเฉลี่ย ระหว่างจุดและระนาบ (Mean Distance) หากได้ระยะห่างที่เยอะเช่นในระดับเซนติเมตร แสดงว่าผลลัพธ์ผิดเพี้ยนไปจากผนังในความเป็นจริง หรือ Point Cloud มีความหนาแน่นมาก
2. ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของจุดทั้งหมดที่ห่างจากระนาบ (Standard Deviation) บ่งบอกถึงความสม่ำเสมอ หากมีค่าสูงแสดงว่าอาจมีจุดที่ยุบนูนมากผิดปกติ หรือสามารถบ่งบอกถึง Noise ที่สูงได้
3. เปอร์เซนต์ของจุดเรียบ (% Smooth Points) แปรผกผันกับค่า Mean Distance ซึ่งหากค่า Mean Distance ต่ำ แสดงว่ามี % Smooth Points ที่สูง
4. จำนวนจุด Point Cloud (Point count) ใช้สำหรับการหาค่าเฉลี่ยรวม จากการถ่วงน้ำหนักด้วยค่า Point Count เพื่อสรุปข้อมูลค่าเฉลี่ย

3.7 ทดลองเก็บข้อมูล Point Cloud รวมถึง ข้อมูลด้าน ระยะเวลาและต้นทุน

ทำการเก็บข้อมูล Point Cloud จาก Faro Focus M70 และ iPad Pro 6th Generation ตามที่ออกแบบให้ครบ และทำการบันทึก ระยะเวลาและทรัพยากรที่ใช้

3.8 นำข้อมูล Point Cloud ประมวลผลตามชุดคำสั่งที่ ออกแบบ

นำพอยต์คลาว์ประมวลผลตามชุดคำสั่งที่ออกแบบตามหัวข้อ 3.5

3.9 สัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์และตรวจสอบความเรียบร้อย ผนังแบบดั้งเดิม

ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยด้วยวิธีทั่วไปผ่านเกรียงสามเหลี่ยม ปาดปูน โดยตรวจสอบเฉพาะผนังที่จุดที่เกิดความไม่เรียบเท่านั้น

3.10 อภิปรายผลการทดลอง

โดยอภิปรายผลการทดลองที่ได้จากการเก็บข้อมูล Point Cloud จากทั้งสองเครื่องมือ ซึ่งคือ Faro Focus M70 และ iPad Pro 6th Generation และนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาเทคโนโลยี Point Cloud, วิธีการตรวจสอบความเรียบผนังทั่วไป ได้แก่ ความละเอียดถูกต้อง ต้นทุนค่าใช้จ่าย แรงงาน เวลา อุปกรณ์ในการประมวลผล มาเปรียบเทียบกับเพื่อดูความแตกต่าง และอภิปรายชี้แจงความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี LiDAR ในโทรศัพท์มือถือหรือแท็บเล็ต ในการนำไปใช้ตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้างหน้างานจริง

4 ผลการศึกษา

4.1 ผลการสำรวจตัวอย่างผนัง

จากการสำรวจตัวอย่างกำแพงที่สถานที่ก่อสร้าง ทางคณะผู้จัดทำ ทำการถ่ายรูป และบันทึกลักษณะทางกายภาพของกำแพงตัวอย่าง ดังตัวอย่างผลการสำรวจในตารางที่ 1

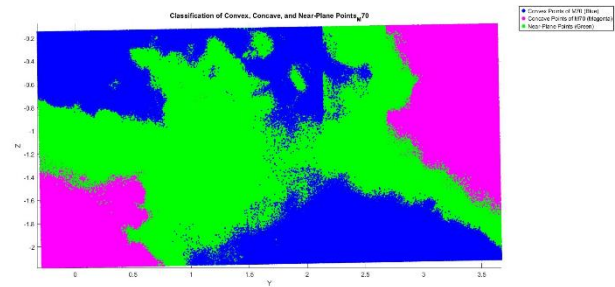
ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการสำรวจตัวอย่างผนัง

ลำดับ ที่	รูปถ่ายจาก สถานที่จริง	ขนาดของตัวอย่าง (เมตร × เมตร)	สี	แสง และเงา	หมายเหตุ
25		3.5 × 2.0	สีขาว	สว่าง	

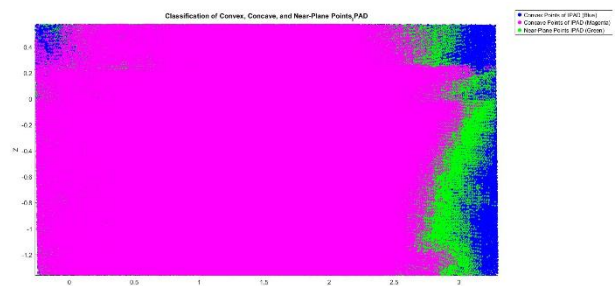
4.2 ชุดคำสั่งที่ออกแบบสำหรับการประมวลผล

ทางคณะผู้จัดทำทำการออกแบบชุดคำสั่ง (script) ที่ทำงานผ่านโปรแกรม MATLAB โดยได้ผลลัพธ์หลัก ๆ เป็นผลการตรวจสอบความเรียบของผนังที่บ่งบอกความยุบ และนูนของแต่ละจุด จากทั้งสองเครื่องมือ ตามมาตรฐาน CONQUAS ที่เคยกล่าวไว้ ด้วยเกณฑ์ ± 3 มิลลิเมตร โดยอ้างอิงจากระนาบของ RANSAC ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 พร้อมทั้งค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะของพอยต์คลาว์ผลลัพธ์ ได้แก่ ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างจุด และระนาบที่สร้างจากอุปกรณ์เดียวกัน (Mean distance to plane), ค่าความเบี่ยงเบน

มาตรฐาน ของจุดทั้งหมดที่ห่างจากระนาบ (Standard Deviation to plane), เปอร์เซนต์ของจุดที่เรียบ (% Smooth points) และจำนวนจุดพอยต์คลาว์ (Point count)



รูปที่ 2 ตัวอย่างผลลัพธ์การตรวจสอบความเรียบของงานผนัง ด้วยอุปกรณ์ FARO Focus M70



รูปที่ 3 ตัวอย่างผลลัพธ์การตรวจสอบความเรียบของงานผนัง ด้วยอุปกรณ์ iPad Pro 6th Generation

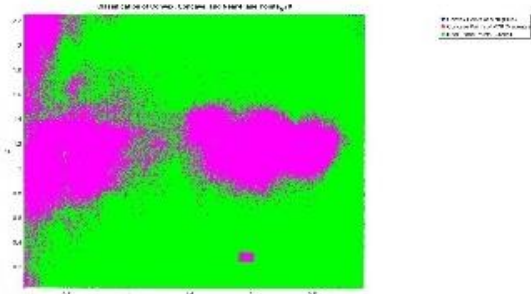
4.3 ผลลัพธ์การตรวจสอบความเรียบของงานผนังจากทั้งสอง เครื่องมือ

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้งสองเครื่องมือพบว่าค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างข้อมูลกับระนาบ RANSAC ของอุปกรณ์ FARO Focus M70 นั้นมีค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ที่ประมาณ 1 มิลลิเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานส่วนใหญ่อยู่ที่ต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งตรงกับความเป็นจริง ที่รอยยุบ และนูนควรจะมีความเรียบในระดับนี้ ในทางกลับกัน จากข้อมูลของอุปกรณ์ iPad Pro 6th Generation พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกับระดับเซนติเมตร ซึ่งในความเป็นจริง เป็นไปได้อย่างที่รอยบนผนังจะมีขนาดเฉลี่ยได้ถึงระดับนี้ และหากสภาพแวดล้อมในการเก็บข้อมูลเปลี่ยนไป เช่นมีแสงมากขึ้น แนวโน้มของอุปกรณ์ iPad Pro นั้น จะไกลจากความเป็นจริงมากขึ้นด้วย รวมถึงจากข้อมูลเปอร์เซนต์ของจุดที่เรียบ พบว่าอุปกรณ์ FARO Focus M70 ส่วนใหญ่ตรวจพบจุดเรียบได้ที่ 90 - 100 เปอร์เซนต์ ในขณะที่ iPad Pro 6th Generation ข้อมูลส่วนใหญ่ตรวจพบได้เพียง 10 - 20 เปอร์เซนต์ จากข้อมูลผนังชุดเดียวกัน

4.4 การตรวจสอบความเรียบของงานผนังด้วยวิธีดั้งเดิม

จากการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ในการตรวจสอบความเรียบของผนัง ได้ข้อมูลถึงอุปกรณ์ที่ใช้ โดยหลัก ๆ นั้น จะใช้เลเซอร์กำหนดแนวเส้น, ดัลเบเมตร และเกรียงสามเหลี่ยมปาดปูน แต่เนื่องจากทางคณะผู้จัดทำ ไม่สามารถจัดหาเลเซอร์กำหนดแนวเส้นได้ จึงใช้เพียง

เกรียงสามเหลี่ยมปาดปูน ซึ่งจะตรวจได้เพียงความไม่เรียบเท่านั้น ซึ่งได้ผลลัพธ์ตัวอย่างดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ที่แสดงให้เห็นว่าการตรวจความเรียบด้วย FARO Focus M70 นั้น ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิม แต่ในส่วนของคุณสมบัติ iPad Pro 6th Generation นั้น ไม่พบว่าผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4 ตัวอย่างผลลัพธ์เปรียบเทียบการตรวจความเรียบของงานผนังด้วยอุปกรณ์ FARO Focus M70



รูปที่ 5 ตัวอย่างผลลัพธ์เปรียบเทียบการตรวจความเรียบของงานผนังด้วยอุปกรณ์วิธีดั้งเดิม

4.5 ค่าใช้จ่าย และทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละวิธีการ

จากข้อมูลที่ได้รวบรวมในขั้นตอนก่อนหน้า ในเชิงของการเปรียบเทียบนั้น หากกำหนดให้ตำแหน่งโพรมีเทนมีเงินเดือนที่ 20,000 บาท ตำแหน่งช่างมีเงินเดือนที่ 12,000 บาท ในแต่ละเดือนทำงาน 22 วัน รวมวันละ 8 ชั่วโมง และในแต่ละครั้งที่ทำการตรวจจะต้องมีโพรมีเทนหนึ่งคนในทีม ผนวกกับข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจ พบว่าการตรวจความเรียบด้วย FARO Focus M70 ได้พื้นที่เฉลี่ย 8 ตารางเมตร ในระยะเวลา 15 นาที ใช้คนในการตรวจ 2 คน การตรวจความเรียบด้วย iPad Pro 6th Generation ได้พื้นที่เฉลี่ย 8 ตารางเมตร ในระยะเวลา 10 นาที ใช้คนในการตรวจ 2 คน และการตรวจความเรียบด้วยวิธีดั้งเดิม ได้พื้นที่เฉลี่ย 6.25 ตารางเมตร ในระยะเวลา 5 นาที ใช้คนในการตรวจ 3 คน โดยจะใช้ข้อมูลนี้ประกอบในการเปรียบเทียบ ได้ข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปต้นทุนของแต่ละวิธีการ

วิธีการ	ผลิตภาพแรงงาน (ตร.ม./คน-ชั่วโมง)	ต้นทุนแรงงานเฉลี่ย (บาท/คน-ชั่วโมง)	ต้นทุนแรงงานต่อหน่วย (บาท/ตร.ม.)
FARO Focus M70	16	90.91	5.68
iPad Pro 6 th Generation	24	90.91	3.79
วิธีดั้งเดิม	25	83.33	3.33

และหากใช้ข้อมูลราคาอุปกรณ์ต่าง ๆ ผนวกกับการกำหนดให้เปลี่ยนอุปกรณ์ทุก 5 ปี อ้างอิงจากระยะเวลารายงานอายุอุปกรณ์รุ่นใหม่ของทาง FARO และประมาณราคาจากเว็บไซต์ซื้อขายในต่างประเทศ จะได้ผลลัพธ์ค่าเสื่อม ดังตารางที่ 3 โดยกำหนดให้ภายใน 1 ปี มีวันทำงาน 300 วัน

ตารางที่ 3 สรุปต้นทุนอุปกรณ์ และค่าเสื่อมของแต่ละวิธีการ

วิธีการ	ต้นทุนอุปกรณ์ (บาท)	ราคาซาก (บาท)	ค่าเสื่อมต่อชั่วโมง (บาท/ชั่วโมง)
FARO Focus M70	1,009,000	600,000	34.08
iPad Pro 6 th Generation	51,400	25,000	2.20
วิธีดั้งเดิม	15,150	5,000	0.85

5 สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษาผลลัพธ์จากการตรวจสอบความเรียบผนังด้วยอุปกรณ์

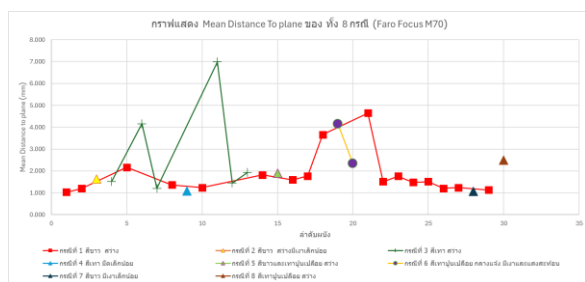
ในการประเมินความเรียบของผนังคอนกรีตโดยใช้อุปกรณ์สองประเภท ได้แก่ เครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ Faro Focus M70 และอุปกรณ์ iPad Pro 6th Generation ซึ่งติดตั้งไลดาร์ภายในตัวอุปกรณ์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากผนังคอนกรีตจำนวน 30 ผนัง ตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาที่กำหนด ภายใต้สภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยมี 8 กรณีดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กรณีในการวิเคราะห์สภาพปัจจัยของผนังตัวอย่าง

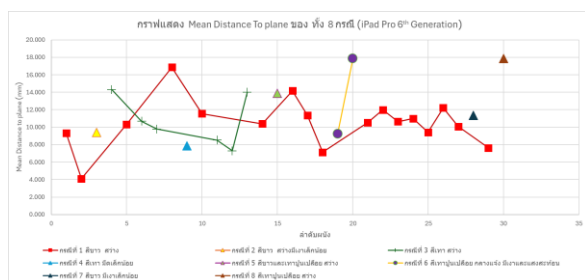
กรณี	สีผนัง	แสง และเงา
1	สีขาว	สว่าง
2	สีขาว	สว่างมีเงาเล็กน้อย
3	สีเทา	สว่าง
4	สีเทา	มืดเล็กน้อย
5	สีขาว และเทาปนเปลือย	สว่าง

กรณี	สีผนัง	แสง และเงา
6	สีเทาปนเขียว	กลางแจ้ง มีเงา และแสงสะท้อน
7	สีขาว	มีเงาเล็กน้อย
8	สีเทาปนเขียว	สว่าง

จาก 8 กรณีไม่ได้ใช้ค่าสถิติของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เนื่องจากในบางกรณีมีชุดข้อมูลเพียงชุดเดียว ซึ่งไม่เพียงพอต่อการหาค่าดังกล่าว ดังนั้นจึงแสดงผลค่า Mean distance to plane สามารถแจกแจงผลลัพธ์ของแต่ละอุปกรณ์ในแต่ละกรณีได้เป็นดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่า Mean Distance to plane ของทั้ง 8 กรณี (Faro Focus M70)



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่า Mean Distance to plane ของทั้ง 8 กรณี (iPad Pro 6th Generation)

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์เชิงสถิติในรูปที่ 6 ที่ได้จากการตรวจสอบความเรียบของผนัง พบว่า อุปกรณ์ M70 Faro Scanner ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในระดับต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักที่ 2.022 มิลลิเมตร ค่าโดยส่วนใหญ่อยู่ระหว่างประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และค่า Standard Deviation โดยส่วนใหญ่ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ค่ากระจุกที่ช่วง 0.8-1.0 มิลลิเมตร และ มีร้อยละของจุดเรียบ (Smooth Points) ผลลัพธ์กระจุกตัวในช่วง 90 - 100% ในหลายกรณี และเมื่อพิจารณาปัจจัยอื่นๆ สี แสงและเงา พบว่าไม่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์มาก มีค่าทางสถิติเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ในทางตรงกันข้าม ผลลัพธ์จาก iPad Pro 6th Generation ในรูปที่ 7 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ามาก โดยมีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของ (Mean Distance to plane) ที่ 10.568 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่ค่าอยู่ระหว่าง 10-12 มิลลิเมตร และค่า Standard Deviation ส่วนใหญ่ค่ากระจุกที่ช่วง 1.0-1.2 มิลลิเมตร อีกทั้งร้อยละ

ละของจุดเรียบมีแนวโน้มต่ำกว่า 30% ทุกผนังตัวอย่าง ค่ากระจุกในช่วง 10-20% ดัง

ค่าเชิงสถิติที่ได้กล่าวข้างต้น นำค่ามาเปรียบเทียบพบว่า ค่าเฉลี่ยระยะจากระนาบ (Mean Distance to Plane) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของอุปกรณ์ ของ Faro Focus M70 มีค่าน้อยกว่า ค่าทั้ง 2 ค่าจากอุปกรณ์ iPad Pro 6th Generation นอกจากนี้ค่าร้อยละของจุดที่เรียบ (Smooth Points) มีความสัมพันธ์แปรผกผันกับค่าเฉลี่ยระยะจากระนาบ (Mean Distance to Plane)

ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้น พบว่าสี แสง และเงา ต่างกรณีมีผลกระทบต่อค่า mean distance to plane เปลี่ยนแปลงน้อย สำหรับเครื่องมือ Faro Focus M70 ในขณะที่ iPad Pro 6th Generation มีค่าเปลี่ยนแปลงมาก โดยค่าจากเครื่องมือ Faro Focus M70 มีค่าในช่วง 1-7 มิลลิเมตร ส่วน iPad Pro 6th Generation มีค่าในช่วง 4-18 มิลลิเมตร ทั้ง 2 เครื่องมือ โดยมีกรณีที่ 8 ซึ่งมีค่าโดดเด่นขึ้นมาเหมือนกัน โดยอาจพิจารณาได้ว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมสำหรับทั้ง 2 เครื่องมือ

5.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่จากการตรวจสอบความเรียบด้วยอุปกรณ์ M70 Faro Scanner เทียบกับวิธีดั้งเดิม

ในด้านการเปรียบเทียบผลลัพธ์นั้น พบว่าสามารถตรวจสอบความเรียบได้ใกล้เคียงกับการตรวจด้วยวิธีดั้งเดิม คือเห็นผลลัพธ์ความไม่เรียบเหมือนกัน ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่การตรวจความเรียบของงานผนังด้วยวิธีการดั้งเดิมนั้น อาศัยการใช้วิจารณญาณ และประสบการณ์ของผู้ตรวจ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพอยต์คลาวด์ จึงอาจเป็นทางเลือกที่ดีกว่า ในด้านของความถูกต้อง

ในการเปรียบเทียบส่วนนี้ เมื่อทดลองเปรียบเทียบวิธีดั้งเดิมกับผลลัพธ์จาก iPad Pro 6th Generation นั้น ผลลัพธ์จากอุปกรณ์ดังกล่าว ยังไม่สามารถบอกความเรียบของงานผนังได้อย่างแน่ชัด ซึ่งอาจจะเกิดมาจากวิธีการเก็บข้อมูลที่ยังไม่ถี่นัก หรืออาจจะมาจากค่าความละเอียดของอุปกรณ์ที่อาจจะไม่มากพอ

สรุปได้ว่า Faro Focus M70 สามารถตอบโจทย์ความละเอียดและความถูกต้องได้ ในขณะที่ iPad Pro 6th Generation ไม่สามารถตอบโจทย์ความละเอียดความถูกต้องได้ภายใต้เกณฑ์มาตรฐาน CONQUAS

5.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละวิธีการ

ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละวิธีการนั้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนอุปกรณ์ด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีการ	ผลิตภาพ แรงงาน (ตร.ม./คน- ชั่วโมง)	ต้นทุนแรงงาน เฉลี่ย (บาท/คน- ชั่วโมง)	ต้นทุนแรงงาน ต่อหน่วย (บาท/ตร.ม.)
การตรวจด้วย Faro Focus M70	16	90.91	5.68
การตรวจด้วย iPad Pro 6 th Generation	24	90.91	3.79
การตรวจด้วย วิธีดั้งเดิม	25	83.33	3.33

พบว่า เครื่อง Faro Focus M70 มีต้นทุนแรงงานต่อหน่วยมากที่สุด และผลิตภาพแรงงาน ต่ำที่สุด รองลงมาคือ iPad Pro 6th Generation สุดท้ายวิธีดั้งเดิมมีต้นทุนแรงงานต่อหน่วยต่ำที่สุด และในผลิตภาพแรงงาน มากที่สุดในสามวิธีดังตัวเลขแสดงในตารางที่ 5

ในด้านต้นทุนอุปกรณ์ พบว่า Faro Focus M70 มีราคาสูงที่สุด รองลงมาคือ iPad Pro 6th Generation และต่ำที่สุดคือวิธีการดั้งเดิมซึ่งใช้อุปกรณ์เลเซอร์กำหนดแนวเส้น อย่างไรก็ตาม ทั้ง M70 Faro และ iPad Pro ยังต้องใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลข้อมูล Point Cloud ซึ่งต้องนำมาพิจารณาพร้อมในการวิเคราะห์ต้นทุนโดยรวม

สรุปได้ว่า Faro Focus m70 มีต้นทุนรวมมากที่สุด รองลงมาคือ iPad Pro 6th Generation และต้นทุนต่ำที่สุดคือ วิธีดั้งเดิม ดังนั้น iPad จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนปานกลาง เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับงานความละเอียดไม่สูงมากนัก

5.4 อภิปรายผลการศึกษา

จากการทดลองพบว่า Faro Focus M70 ให้ค่าคลาดเคลื่อนเชิงสถิติที่น้อยกว่า โดยมีค่าเฉลี่ยระยะห่างจากระนาบที่สร้างขึ้นอยู่ 2.022 มิลลิเมตร ภายใต้กระบวนการ RANSAC ซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐานคุณภาพงานก่อสร้าง (CONQUAS) ได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมหลากหลาย โดยไม่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่น แสงเงา หรือสีของผนัง

ในทางตรงกันข้าม การใช้งาน iPad Pro 6th Generation O23 แม้จะมีความสะดวกและต้นทุนต่ำกว่า แต่ยังมีข้อจำกัดอย่างชัดเจนในด้านความแม่นยำและความละเอียดของข้อมูล โดยค่าเบี่ยงเบนที่ได้อยู่ในระดับเซนติเมตร ซึ่งไม่สอดคล้องกับมาตรฐานการตรวจสอบที่กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนในระดับมิลลิเมตร ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จาก iPad ไม่สามารถใช้อ้างอิงผลลัพธ์ได้อย่างน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ยังพบว่าผลลัพธ์จาก iPad มีความไวต่อปัจจัยแวดล้อม เช่น สีผนัง และแสงเงา ซึ่งส่งผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ การเก็บข้อมูล Point Cloud ด้วย iPad ยังไม่ได้รับการกำหนดมาตรฐานที่ชัดเจนในระดับวิชาการ ทำให้แนวทางการเก็บ

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ อาจมีข้อจำกัดในด้านคุณภาพของข้อมูลที่ได้อีก แม้ iPad จะสามารถเก็บข้อมูลได้ในปริมาณมากกว่า Faro Focus M70 แต่ข้อมูลนั้นกลับมีความแม่นยำต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนและข้อจำกัดของเซนเซอร์

เมื่อเปรียบเทียบกับ วิธีการตรวจสอบความเรียบแบบดั้งเดิมพบว่า ผลลัพธ์จาก Faro Focus M70 มีความแม่นยำและสม่ำเสมอกว่าชัดเจน แม้ผลลัพธ์จากวิธีดั้งเดิมจะใกล้เคียง แต่ยังคงขึ้นอยู่กับประสบการณ์และวิจารณญาณของผู้ปฏิบัติงาน และไม่สามารถตรวจสอบได้ละเอียดในทุกจุดเหมือนกับระบบสแกนด้วยเลเซอร์ ส่วนด้านต้นทุนและผลิตภาพ (Productivity) พบว่า Faro Focus M70 มีต้นทุนรวมต่อหน่วยสูงที่สุด เนื่องจากราคาของอุปกรณ์หลักและระยะเวลาในการตรวจสอบที่นานกว่า แม้จะให้ข้อมูลที่แม่นยำและครอบคลุมมากกว่า ส่วน iPad Pro 6th Generation หากมีการพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมและสามารถลดค่าคลาดเคลื่อนได้ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงมากนัก เนื่องจากต้นทุนอุปกรณ์และผลิตภาพที่ดีกว่า

5.5 ข้อเสนอแนะ

- 1 ควรใช้อุปกรณ์ Faro M70 Scanner ในกรณีที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น การตรวจสอบคุณภาพผิวผนังในขั้นตอนควบคุมงานก่อสร้างหรือการตรวจรับงาน เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำและความเสถียรสูง
- 2 การใช้อุปกรณ์ iPad Pro 6th Generation ควรจำกัดไว้ในกรณีที่ ไม่ต้องการความละเอียดสูง หรือในงานตรวจสอบเบื้องต้นที่มีความเหมาะสมกับความแม่นยำของอุปกรณ์ เช่น การเก็บข้อมูลหน้างานอย่างรวดเร็ว หรือในพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้สะดวก
- 3 หากต้องการใช้อุปกรณ์ iPad Pro 6th Generation ในการตรวจสอบความเรียบของงานผนัง หรืองานด้านอื่น ที่มีความละเอียดสูง อาจต้องศึกษาวิธีการในการเก็บข้อมูล หรือประมวลผลข้อมูลเพิ่มเติม
- 4 ควรมีการควบคุมสภาพแวดล้อมหน้างานให้เหมาะสม เช่น ระดับแสงและแสงสะท้อนก่อนการสแกน โดยเฉพาะเมื่อใช้งานกับอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี LiDAR บนอุปกรณ์พกพา
- 5 สามารถพัฒนาชุดคำสั่งการประมวลผล หรือชุดคำสั่งสำหรับกรองข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนจากข้อมูลที่เก็บด้วยอุปกรณ์แท็บเล็ต และเพิ่มคุณภาพของข้อมูลที่ได้มาประมวลผลได้แม่นยำและถูกต้อง
- 6 การขยายขอบเขตของการศึกษาไปยังวัสดุผิวผนังประเภทอื่น เช่น ผิวหยาบ ผิวทาสีใหม่ หรือผนังที่มีลวดลาย เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ที่หลากหลายมากขึ้น
- 7 ยังจำเป็นต้องมีการวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เป็นข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูลพอยต์คลาวด์ด้วยอุปกรณ์แท็บเล็ต โทรศัพท์มือถือ ในการตรวจสอบความเรียบผนังได้อย่างถูกต้อง และ ความแม่นยำเพียงพอสำหรับงานควบคุมคุณภาพงานก่อสร้าง

- 8 ในการใช้ชุดคำสั่งประมวลผลเดียวกับงานวิจัย อาจต้องพึ่งอุปกรณ์ประมวลผลความสามารถสูงเพื่อที่จะสามารถประมวลผลภายใต้รอบการทำงานสูง ในระยะเวลาที่จำกัดให้ได้ผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ขึ้นไป
- 9 ในการเก็บชุดข้อมูลพอยต์คลาวด์ของผนังเดียวกันที่มาจากอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน เมื่อนำชุดข้อมูลที่ได้มาจากแต่ละอุปกรณ์มาเปรียบเทียบกัน ต้องคำนึงถึงเรื่องระบบพิกัดของข้อมูลที่อยู่ในระบบพิกัดอ้างอิงไม่เหมือนกัน ควรมีการทำแปลงค่าพิกัดของข้อมูลพอยต์คลาวด์ให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกันแสดงผลในตำแหน่งเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพข้อมูลที่ได้จากต่างอุปกรณ์กัน เช่นการเปรียบเทียบจุดต่อจุดข้อมูลที่ได้จากต่างอุปกรณ์ ดังแสดงในภาคผนวก ค
- 10 ในงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดคำสั่งที่จะทำการสร้างระนาบเรียบเสมือนด้วยกระบวนการ RANSAC เพื่อใช้ตรวจสอบความเรียบผนัง ควรคำนึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ RANSAC อาจเพิ่มเติมด้วยการพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับปรับแก้ข้อมูลที่สร้างขึ้นให้ใกล้เคียงกับผนังความเรียบที่สมควรเกิดขึ้นในความเป็นจริง
- 11 ในการเก็บข้อมูลพอยต์คลาวด์สำหรับตรวจสอบความเรียบผนังด้วยอุปกรณ์ iPad ควรสแกนพอยต์คลาวด์ด้วยจำนวนรอบมากกว่าในงานวิจัยที่ใช้เพียง 1 รอบ เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูล

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยการช่วยเหลือสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกันโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ระ เพียรสุภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักในบทความฉบับนี้ ที่ให้แนวคิดและแนวทางในการศึกษา พร้อมทั้งตรวจสอบบทความวิจัยฉบับนี้ให้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบริษัท ซี อี เอส จำกัด ไซตังงานก่อสร้างอาคารศาลเจ้าไต้ฮงกง (สาทร) ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษาสำหรับเก็บข้อมูลในงานวิจัยทั้งหมด และขอขอบพระคุณ บริษัท พรินท์ จำกัด (มหาชน) ที่ถ่ายทอดความรู้ความชำนาญวิธีการในการตรวจสอบความเรียบผนังงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdel-Majeed, H. M., Shaker, I. F., Abdel-Wahab, A., & Awad, A. A. D. I. (2024). Indoor mapping accuracy comparison between the apple devices' LiDAR sensor and terrestrial laser Scanner. HBRC Journal, 20(1), 915-931.
- [2] Aldosari, M. D. A. (2019). Mobile Lidar for Monitoring MSE Walls with Smooth and Textured Precast Concrete Panels [In Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Lyles School of Civil Engineering]. West Lafayette, Indiana.
https://hammer.purdue.edu/articles/thesis/Mobile_

- LiDAR_for_Monitoring_MSE_Walls_with_Smooth_and_Textured_Precast_Concrete_Panels/11663763/1?file=21242097
- [3] Arpan P. Trivedi, J. V. S., Ankitkumar S. Patel, Jatinkumar S. Patel. (2024). Evaluation of Quality Control in Construction Project. International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH), 2(08), 2166-2172. <https://doi.org/https://doi.org/10.47392/IRJAEH.2024.0294>
- [4] Cao, Y., Liu, J., Feng, S., Li, D., Zhang, S., Qi, H., Cheng, G., & Frank Chen, Y. (2022). Towards automatic flatness quality assessment for building indoor acceptance via terrestrial laser scanning. Measurement, 203, 111862. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111862>
- [5] Dooughummet, T., Boonserm, P., & Lipikorn, R. (2022). 3D building internal structural component segmentation from point cloud data using DBscan and modified RANSAC with normal deviation conditions. In Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software (pp. 87-99). Springer.
- [6] Fischer, H. (2011). A history of the central limit theorem: from classical to modern probability theory (Vol. 4). Springer.
- [7] Lee, N. (2018). Good Overlap. In. Laser Scanning Forum: Laser Scanning Forum.
- [8] Ratsimandresy, N. (2022). Quality Management in Construction. <https://www.blog-qhse.com/en/quality-management-in-construction>
- [9] Teo, T.-A., & Yang, C.-C. (2023). Evaluating the accuracy and quality of an iPad Pro's built-in lidar for 3D indoor mapping. Developments in the Built Environment, 14, 100169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100169>
- [9] Wang, Q., & Kim, M.-K. (2019). Applications of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen-year review from 2004 to 2018. Advanced engineering informatics, 39, 306-319.
- [10] Aonic. (2566). LiDAR ในโดรนสำรวจและวิธีการประมวลผล Point Cloud. สืบค้นจาก <https://aonic.com/th/lidar-point-cloud/>

- [11] Infraplus. (2564). MMS (Mobile Mapping System). สืบค้นจาก <https://infraplus.co.th/%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2-28579-%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%A2%E0%B8%B5%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%88.html>
- [12] Pasco. (ม.ป.ป.). MMS (Mobile Mapping System). สืบค้นจาก <https://www.pascoth.com/th/others.php>
- [13] Phapawich Mahamart. (2565). LiDAR เทคโนโลยีแห่งโลกอนาคต. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (Gistda). สืบค้นจาก https://www.gistda.or.th/news_view.php?n_id=5884&lang=EN
- [14] เขตโสภณ จ่าภา และณัฐวรรณ จุลพันธ์. (2564). การศึกษาเทคโนโลยีในการตรวจสอบผนัง (A Study Technology for Wall Inspection) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นจาก https://civil.eng.chula.ac.th/Data_Upload/Senior%20project/2021/CM_2021/Y2021_CM_Article_G01.pdf
- [15] นพฤทธิ์ ศ., & เพียรสุภาพ ว. (2564). การประยุกต์ใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพ. การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26, 26, CEM-12. สืบค้นจาก <https://conference.thaince.org/index.php/ncce26/article/view/954>