การประยุกต์ใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพ

APPLICATION OF POINT CLOUD FOR SUPPORTING QUALITY INSPECTION

ศักดินนท์ นพฤทธิ์[1] และ วัชระ เพียรสุภาพ[2,*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[*]Corresponding author address: vachara.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การตรวจสอบคุณภาพงานพื้น ผนัง และเพดาน ในโครงการก่อสร้างอาคาร ประกอบด้วยรายการที่ใช้ประเมิน วิธีการวัด และเกณฑ์การประเมิน ซึ่งรายการวัดเกี่ยวกับความเรียบอาจใช้เครื่องมือวัดเทียบกับเกณฑ์ หรือการใช้สายตาในการประเมินความเรียบ อย่างไรก็ตามการวัดด้วยเครื่องมือและสายตาส่วนบุคคลอาจใช้เวลาเนื่องจากปริมาณงานก่อสร้างพื้น ผนัง และเพดานมีจำนวนมาก นอกจากนี้วิธีการตรวจสอบแบบเดิมมีข้อจำกัดด้านสายตาและประสบการณ์ส่วนบุคคลซึ่งไม่สามารถตรวจสอบข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ทั้งหมด บทความนี้ประยุกต์ใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ในการตรวจสอบความเรียบร้อยของผนัง เนื่องจากการใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์นั้นมีประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลตำแหน่งที่แม่นยำ บทความนี้นำเสนอระบบอัตโนมัติที่สนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพด้วยการใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ เพื่อสามารถหาข้อผิดพลาดด้านความเรียบของงานผนัง ขอบเขตของการวิจัยนี้ใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์จากเลเซอรเครื่องสแกนเลเซอร์ ซึ่งระบบนี้ได้รับการพัฒนาโดยใช้การเขียนโปรแกรมบน MATLAB เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลพอยท์คลาวด์ ระบบได้รับการออกแบบมาเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องเกี่ยวกับความเรียบของผนังที่ใช้แนวคิดจากการวัดระยะที่แตกต่างระหว่างระดับของจุดบนผนังกับระดับของระนาบผนังอ้างอิง โดยระดับของระนาบผนังอ้างอิงถูกคำนวณจากค่าฐานนิยมของความสูงจากจุดทั้งหมดบนระนาบที่สนใจ งานวิจัยนี้ใช้กรณีศึกษาสำหรับการพัฒนาระบบต้นแบบในการตรวจสอบความเรียบของผนัง บทความนี้อธิบายถึงกรอบแนวคิดของการประยุกต์ใช้ระบบที่นำเสนอ และวิธีการพัฒนาระบบ อีกทั้งยังนำเสนอผลการทดสอบศักยภาพและความถูกต้องของระบบต้นแบบที่พัฒนา ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยคือแนวคิดการใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ช่วยสนับสนุนการตรวจสอบความเรียบของผนัง

คำสำคัญ: *การตรวจสอบคุณภาพ, มาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพ, ข้อมูลพอยท์คลาวด์*

Abstract

Several areas of the quality inspection of floor, wall, and ceiling in building construction projects contains items used to evaluate, measurement methods and evaluation criteria. The flatness of object may use measurement tools against criterion or using eyesight to assess flatness. However, the use of measuring instruments and visual examinations takes time due to the large amount of floor, wall, and ceiling areas. In addition, the traditional inspection method has limited by eyesight and personal experience, in which all possible defects cannot be detected. This article presents an automated system that supports quality inspection by using point cloud data that can detect errors of wall smoothness. The scope of this research uses point cloud data from laser scanner. This system was developed by using MATLAB programming to analysis point cloud. The system is designed to detect wall flatness defects based on the concept of measuring the distance between the point cloud on the wall and the level of the reference wall plane. This research uses a case study for developing a prototype system for checking the smoothness of walls. This paper describes the conceptual framework of the proposed system's application and the methodology of the system's development. It includes a field verification of the potential and accuracy of developed prototype system. The benefit from this research is that the concept of using point cloud data from laser scanner can support the inspection of the smoothness of the wall.

Keywords: *Quality inspection, Standard of Quality inspection, Point Cloud*

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การตรวจสอบคุณภาพเป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างเนื่องจากการตรวจสอบงานก่อสร้างเป็นการประกันคุณภาพงานของผู้รับเหมาระหว่างการดำเนินงานและผลงานที่ทำแล้วเสร็จให้เป็นไปตามข้อตกลงเงื่อนไขและข้อกำหนดต่าง ๆ ในสัญญา และทำให้ให้แน่ใจว่างานมีคุณภาพสูงทั้งในกระบวนการทำงานและงานขั้นสุดท้าย [1] และสามารถลดข้อบกพร่องในงานขั้น

สุดท้ายได้ [2] นอกจากนี้การตรวจสอบคุณภาพมีผลต่อการบำรุงรักษาและการรับประกันผลงานของโครงการก่อสร้างภายหลังจากโครงการก่อสร้างเสร็จและใช้งานก่อสร้างไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง [3] ซึ่งการตรวจสอบเป็นหนึ่งในกระบวนการสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพที่จำเป็นต่องานก่อสร้างที่มีคุณภาพสูง อีกทั้งยังเป็นกระบวนการสำคัญในการความสำเร็จของโครงการก่อสร้าง

อย่างไรก็ตามกระบวนการตรวจสอบคุณภาพในปัจจุบันยังคงพบความขัดแย้งเกี่ยวกับการตัดสินของระดับความบกพร่องที่ยอมรับได้ระหว่างผู้ตรวจสอบ ผู้รับเหมา และลูกค้า ซึ่งการประเมินคุณภาพของกระบวนการตรวจสอบสำหรับการก่อสร้างสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทประกอบด้วยคุณลักษณะเชิงปริมาณและคุณสมบัติเชิงอัตวิสัย [4,5] คุณลักษณะเชิงปริมาณได้แก่ ปริมาณวัสดุการก่อสร้างและข้อกำหนดการใช้งาน สิ่งเหล่านี้ต้องเป็นไปตามสัญญาเอกสารที่มีมาตรฐานและข้อกำหนดของงานก่อสร้าง เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้สามารถใช้เครื่องมือช่วยวัดค่าเชิงปริมาณเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น มาตรฐานกำหนดขนาดเกลียว ความหนาของช่องว่างชิ้นส่วน ความลึก และคุณสมบัติการเชื่อม ดังนั้นคุณภาพของงานสามารถเข้าใจ ควบคุมและประเมินโดยการเปรียบเทียบค่าการวัดกับข้อกำหนดเบื้องต้น ในทางตรงกันข้ามคุณลักษณะเชิงอัตวิสัยเกี่ยวข้องกับการประเมินด้านสุนทรียศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานสถาปัตยกรรม คุณลักษณะในด้านนี้มักใช้การตรวจสอบด้วยสายตา ร่วมกับความสามารถของบุคคลในการตัดสินข้อบกพร่อง อย่างไรก็ตามการประเมินด้านสุนทรียศาสตร์นั้นมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถวัดปริมาณข้อบกพร่องได้ โดยผลการประเมินคุณภาพด้านนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ส่วนบุคคลและการรับรู้ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน นอกจากนี้ผลของประเมินในแต่ละครั้งของบุคคลเดียวกันอาจมีความแตกต่างกัน [7] ยิ่งไปกว่านั้นมนุษย์ยังไม่สามารถระบุข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังนั้นปัญหาเรื่องอัตวิสัยในการประเมินคุณภาพต้องได้รับการวางแผนเพื่อแก้ไขข้อจำกัดด้านการรับรู้ของมนุษย์

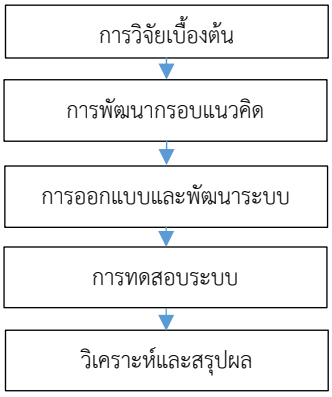
ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เกิดการพัฒนาแนวคิดเพื่อปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้าง โดยการนำเทคโนโลยีพอยท์คลาวด์ (Point Cloud) ซึ่งเป็นข้อมูลพิกัดสามมิติที่ให้ข้อมูลจุดพิกัดจำนวนมากและความถูกต้องสูง และใช้เวลาอันสั้นในการเก็บข้อมูลมาประยุกต์ใช้ นอกจากนี้พอยท์คลาวด์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการก่อสร้าง เช่น การประยุกต์ใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ร่วมกับข้อมูลสารสนเทศอาคาร (Building Information modeling, BIM) เพื่อแสดงความก้าวหน้าของงานตามแผนงานและงบประมาณ [7] การนำเสนอแนวคิดกระบวนการตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ [8] การใช้พอยท์คลาวด์ตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วน Precast จากโรงงานก่อนการติดตั้ง [9] การใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ตรวจสอบความเรียบของผนัง [10] การเก็บข้อมูลพอยท์คลาวด์สำหรับสร้างโมเดลสามมิติเพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งกับการใช้กล้อง total station [11] เป็นต้น จากที่กล่าวมาข้อมูลพอยท์คลาวด์ได้นำมาใช้ในงานด้านบริหารโครงการและการตรวจสอบคุณภาพ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์เพื่อตรวจสอบความเรียบของผนังในปัจจุบันนั้นยังคงมีข้อจำกัด ยกตัวอย่างเช่น ระบบวิเคราะห์ระดับความเรียบของผนัง [10] ที่สามารถจำแนกมิติความเรียบของผนังได้เป็นชั้น ๆ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้เพียงมิติเดียว คือ มิติความเรียบที่มากกว่าระดับอ้างอิง ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ความเรียบของผนังได้ แต่ระบบนั้นมีหลายขั้นตอนและใช้ยาก หากผู้ใช้มีประสบการณ์ด้านการใช้โปรแกรมดังกล่าวไม่เพียงพอจะทำให้เสียเวลา

บทความนี้จึงนำเสนอระบบอัตโนมัติที่สนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพด้วยการใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ เพื่อสามารถหาข้อผิดพลาดด้านความเรียบของงานผนัง โดยการใช้แนวคิดจากการวัดระยะที่แตกต่างระหว่างระดับของจุดบนผนังกับระดับของระนาบผนังอ้างอิง โดยระดับของระนาบผนังอ้างอิงถูกคำนวณจากค่าฐานนิยมของความสูงจากจุดทั้งหมดบนระนาบที่สนใจ และงานวิจัยนี้เลือกใช้กรณีศึกษาเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบการตรวจสอบความเรียบของผนัง บทความนี้อธิบายถึงกรอบแนวคิดของการประยุกต์ใช้ระบบที่นำเสนอ และวิธีการพัฒนาระบบ อีกทั้งยังนำเสนอผลการทดสอบศักยภาพและความถูกต้องของระบบต้นแบบที่พัฒนา

2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การวิจัยเบื้องต้นเริ่มจากการทบทวนวรรณกรรม โดยรวบรวมข้อมูลเพื่อสรุปและหาข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย สำหรับเป็นพื้นฐานในการพัฒนากรอบแนวคิด จากนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนากรอบแนวคิดโดยการออกแบบและพัฒนาต้นแบบของระบบ โดยใช้โปรแกรม MATLAB จากนั้นจึงใช้การทดสอบในภาคสนามเพื่อประมาณการความถูกต้องของโปรแกรมและความเป็นไปได้ของแนวคิด และวิเคราะห์ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามข้อค้นพบเพื่อนำเสนอในส่วนสุดท้าย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3. การพัฒนากรอบแนวคิดของงานวิจัย

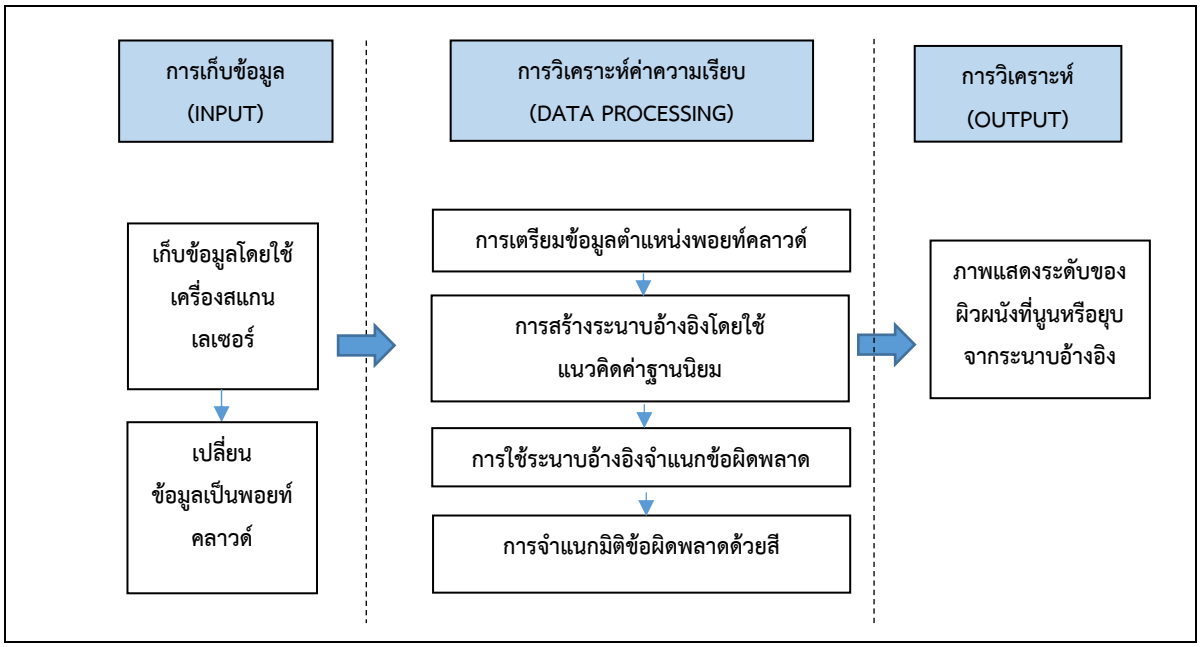
วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยคือการเพิ่มความน่าเชื่อถือของการตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้างโดยลดคุณลักษณะเชิงอัตวิสัยในการตัดสินใจด้านความสวยงามที่อาจนำไปสู่ความขัดแย้งระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องในการประเมิน โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในบทความนี้จึงกล่าวถึงพัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพโดยใช้พอยท์คลาวด์ ซึ่งระบบสามารถประเมินระดับความบกพร่องด้านสุนทรียศาสตร์ของงานได้โดยการใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์จากเครื่องสแกนเลเซอร์ สามารถแบ่งการพัฒนาออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

3.1. การพัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อระบุระนาบอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบความเรียบ

ปัจจุบันขั้นตอนการระบุตำแหน่งของระนาบอ้างอิง ผู้ใช้จำเป็นต้องมีการสุ่มค่าเพื่อได้ระนาบที่ครอบคลุมข้อมูลพอยท์คลาวด์ทุกจุด ซึ่งทำให้เสียเวลาและอาจเกิดความคลาดเคลื่อน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการใช้ค่าฐานนิยมของจุดพอยท์คลาวด์ หรือความถี่มากที่สุดของระดับในข้อมูลพอยท์คลาวด์ของผนังที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อกำหนดตำแหน่งของระนาบได้อย่างอัตโนมัติ

3.2. การจำแนกมิติความเรียบของผนัง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเรียบของผนังในปัจจุบันนั้น การกำหนดค่าสูงสุดและต่ำสุดของการวิเคราะห์มีผลต่อการแสดงเฉดสี หากกำหนดช่วงที่ผิดจะทำให้เฉดสีที่ได้มีความใกล้เคียงกันและจำแนกยาก จึงจำเป็นต้องปรับค่าจนได้ภาพที่สามารถจำแนกเฉดสีได้อย่างชัดเจน ซึ่งผู้ใช้จำเป็นต้องสุ่มค่า อีกทั้งหากต้องการจำแนกข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นยังคงไม่ชัดเจนเพราะตำแหน่งของจุดพอยท์คลาวด์ที่เกิดมีการซ้อนทับกันอยู่ จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าใหม่ และส่งผลให้ขั้นตอนนี้เสียเวลา งานวิจัยนี้นำเสนอระบบที่สามารถวิเคราะห์ความเรียบของผนังด้วยจุดพอยท์คลาวด์ที่สามารถจำแนกมิติความเรียบของผนัง และแสดงระดับความแตกต่างของระดับผนังกับระนาบอ้างอิงในลักษณะของเฉดสีแยกเป็นรูปอย่างชัดเจนว่าบริเวณใดของผนังมีความคาดเคลื่อนจากมาตรฐาน



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดของระบบอัตโนมัติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้วยการใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์

รูปที่ 2 แสดงภาพรวมของกรอบแนวคิดของระบบอัตโนมัติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้วยการใช้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ ซึ่งระบบต้นแบบที่พัฒนาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนการเก็บข้อมูล เป็นขั้นตอนการเก็บข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติของสภาพงานก่อสร้างโดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ 2) ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความเรียบ เป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติที่ได้มาสร้างระดับอ้างอิงโดยใช้ค่าฐานนิยม และนำเอาค่าระดับของกลุ่มจุดสามมิติทั้งหมดมาเทียบกับระนาบอ้างอิงเพื่อวิเคราะห์ค่าความเรียบของผนัง 3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ ผลที่ได้จะสามารถแสดงออกมาในรูปแบบค่าที่เป็นบวก และลบ โดยค่าความแตกต่างที่เป็นบวกหมายถึงบริเวณดังกล่าวมีระดับสูงกว่าระนาบ ในขณะที่ค่าความแตกต่างที่เป็นลบหมายถึงบริเวณดังกล่าวมีระดับต่ำกว่าระนาบ ซึ่งการแสดงผลระบบจะเปลี่ยนสีของจุดที่มีระดับความสูงกว่าระนาบเป็นสีแดง และจุดที่มีระดับต่ำกว่าระนาบเป็นสีน้ำเงิน โดยผลการทดสอบระบบ และการประเมินหาข้อบกพร่องโดยใช้ข้อมูลพอยท์คราวด์จะกล่าวถึงในส่วนถัดไปของบทความ

4. ออกแบบและพัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพ

งานวิจัยออกแบบระบบที่สามารถตรวจสอบความเรียบที่น่าเชื่อถือ โดยการใช้ชุดฟังก์ชันของ MATLAB ในการอ่านค่าพิกัดจุด x, y และ z ของพอยท์คลาวด์ และนำค่าพิกัดมาคำนวณระดับความแตกต่างจากระนาบอ้างอิง ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถทราบถึงจุดที่มีค่าความสูง กว่าระดับอ้างอิง และจุดที่มีค่าระดับต่ำกว่าระดับอ้างอิง โดยค่าความแตกต่างดังกล่าวสามารถใช้ในการตรวจสอบความเรียบ โดยระบบจะแสดงภาพของผิวผนังที่นูนหรือยุบลงจากระนาบอ้างอิงตามค่าความแตกต่างด้วยเฉดสี

4.1. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลของระบบที่นำเสนอ คือการเก็บข้อมูลพอยท์คลาวด์ของพื้น ผนัง และเพดานตัวอย่าง โดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์สำหรับการเก็บข้อมูล แล้วนำไปเปลี่ยนข้อมูลที่เก็บสู่พอยท์คลาวด์โดยใช้คอมพิวเตอร์

4.1.1. เก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์

การเก็บข้อมูลนั้น ก่อนจะนำเครื่องสแกนเลเซอร์ไปเก็บข้อมูลจำเป็นต้องมีการเตรียมสถานที่ ซึ่งรวมไปถึงการเก็บวัตถุที่อาจเป็นอุปสรรคในการเก็บข้อมูล รวมไปถึงการวางแผนกำหนดตำแหน่งเครื่องสแกนเลเซอร์ สำหรับห้องที่มีพื้นที่กว้างเกินกว่าจะเก็บข้อมูลได้หมดภายในการสแกนเพียงรอบเดียว

4.1.2. การเปลี่ยนข้อมูลเป็นพอยท์คลาวด์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม SCENE สำหรับการเปลี่ยนข้อมูลที่เก็บมาจากหน้างานจริงมาเป็นข้อมูลพอยท์คลาวด์ โดยจำเป็นต้องกำหนดแกน x y และ z ให้ตรงกับพื้น ผนัง และเพดาน ที่ต้องการวิเคราะห์ความเรียบ

4.2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความเรียบ

4.2.1. การเตรียมข้อมูลตำแหน่งพอยท์คลาวด์

การนำเข้าข้อมูลพอยท์คลาวด์มาใช้ในโปรแกรม MATLAB โดยจำเป็นจะต้องใช้ไฟล์ที่มีสกุล PLY หรือ PCD เท่านั้น ซึ่งจะได้ข้อมูลต่าง ๆ ของพอยท์คลาวด์นั้น ๆ มาเพื่อนำไปใช้ต่อ ซึ่งสามารถใช้ฟังก์ชันเพื่อแสดงเป็นกราฟของจุดพิกัดได้อีกด้วย

```
ptCloud = pcread('*.ply');
pcshow(ptCloud);
```

รูปที่ 3 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมสร้างค่าพิกัดพอยท์คลาวด์

4.2.2. การสร้างระนาบอ้างอิงโดยใช้แนวคิดค่าฐานนิยม

นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนข้างต้นมาหาพิกัด x, y และ z แล้วหาค่าฐานนิยมของแกนอ้างอิงที่ต้องการจะตรวจสอบความเรียบ โดยผู้วิจัยกำหนดให้แกน y เป็นแกนอ้างอิงสำหรับผนัง และให้แกน z เป็นแกนอ้างอิงสำหรับเพดาน และพื้น ซึ่งผู้วิจัยจะให้ค่าฐานนิยมของแกนอ้างอิงจะเป็นระดับความเรียบที่ยอมรับได้สำหรับการตรวจสอบ

```
%%%%%%#A(:,2)คือค่าพิกัดแกนy
A = ptCloud.location;
Mode = mode(A(:,2));
```

รูปที่ 4 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมสร้างระนาบโดยใช้แนวคิดค่าฐานนิยมของแกนที่สนใจ

4.2.3. การใช้ระนาบอ้างอิงจำแนกข้อผิดพลาด

กำหนดค่าระดับความบกพร่องที่ต้องการ สำหรับการจำแนกข้อมูลที่วิเคราะห์เป็น 3 ช่วง คือ 1) ช่วงที่ยอมรับได้ เป็นช่วงที่มีค่าอยู่ในช่วงระดับความบกพร่องที่กำหนดเมื่อเทียบกับค่าฐานนิยม 2) ช่วงที่มีค่ามากกว่าค่าระดับความบกพร่องที่กำหนดเมื่อเทียบกับค่าฐานนิยม 3) ช่วงที่มีค่าน้อยกว่าค่าระดับความบกพร่องที่กำหนดเมื่อเทียบกับค่าฐานนิยม

```
%%%%%%#ตัวอย่างการเก็บค่าสำหรับช่วงที่ 1
mask=Mode-Error<A(:,2)&A(:,2)<Mode+Error;
B=A(mask,:);
```

รูปที่ 5 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมใช้ระนาบอ้างอิงจำแนกข้อผิดพลาด

4.2.4. การจำแนกมิติข้อผิดพลาดด้วยสี

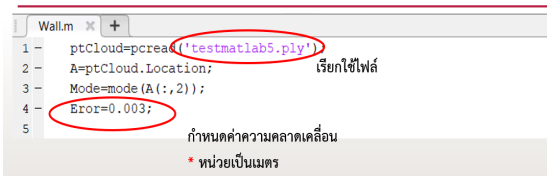
กำหนดสีให้กับแต่ละช่วง ซึ่งในการกำหนดสีจะกำหนดตามระบบ RGB โดยจะให้ช่วงที่ 1 เป็นสีเขียว ช่วงที่ 2 เป็นสีแดง และช่วงที่ 3 เป็นสีน้ำเงิน เพื่อให้จำแนกความแตกต่างได้อย่างง่ายๆ

```
%%%%%%#ตัวอย่างกำหนดสีสำหรับช่วงที่ 1
cmatrix = ones(size(B)).*[0 1 0];
pt = pointCloud(B,'Color',cmatrix);
```

รูปที่ 6 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมกำหนดเฉดสีเพื่อจำแนกมิติความเรียบ

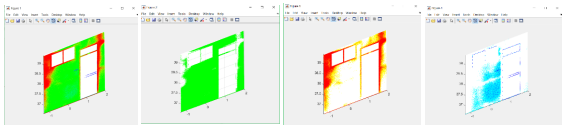
4.3. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพ

การนำข้อมูลมาใช้ ต้องมีการเรียกใช้ไฟล์ที่จะวิเคราะห์และการกำหนดค่าข้อผิดพลาดของความเรียบผนังที่ยอมรับได้ หน่วยเป็นเมตร สำหรับการตรวจสอบผนังที่ต้องการ



รูปที่ 7 หน้าต่างการเรียกใช้ไฟล์ และการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

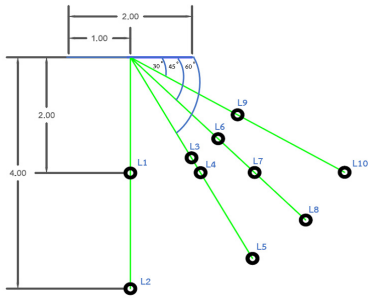
ระบบที่นำเสนอจะสามารถตรวจสอบความเรียบ โดยใช้สีในการจำแนกมิติความเรียบได้ดังนี้ สีเขียวคือส่วนที่ไม่มีความบกพร่อง สีแดงคือส่วนที่นูนออกมา และสีน้ำเงินคือส่วนที่ยุบเข้าไป โดยระบบที่ได้นั้นสามารถระบุระนาบที่ใช้ในการตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ความเรียบเพื่อตรวจสอบคุณภาพ

5. การทดสอบระบบอัตโนมัติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพ

จากการพัฒนาระบบ ซึ่งผู้วิจัยจะทดสอบโดยการเก็บข้อมูลของผนังยาว 2 เมตร โดยมีตำแหน่งการวางเครื่องสแกนทั้งหมด 10 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งจะมีระยะ และมุมที่ทำกับผนังที่ต่างกัน เพื่อวิเคราะห์ขอบเขต และข้อจำกัดของระบบที่พัฒนา ดังรูปที่ 5 โดยผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 ความละเอียดเรียงจากมากไปน้อย คือ 1/4 1/5 1/8 และ 1/10 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบ

6. ผลการทดสอบระบบอัตโนมัติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพ

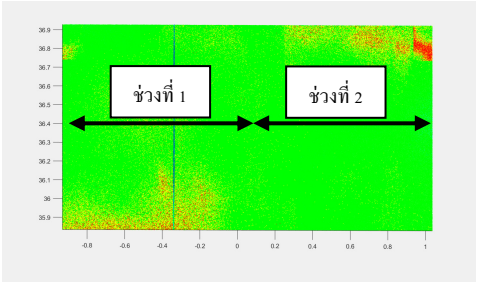
ผลการทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ทดสอบการสร้างระนาบอ้างอิง และทดสอบการแสดงข้อมูลสีที่สะท้อนถึงความเรียบ เนื่องจากต้องการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งระนาบอ้างอิงที่ระบบสร้างขึ้น และความถูกต้องของการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงมิติความเรียบของผนังที่ตรวจสอบ

6.1. การทดสอบการสร้างระนาบอ้างอิงของระบบ

ทดสอบระบบโดยการเปรียบเทียบ ตำแหน่งที่ระยะต่างกัน การทำมุมกับผนังที่ต้องการตรวจต่างกัน และความละเอียดต่างกัน พบว่า ระยะทางไม่มีผลต่อการสร้างระนาบอ้างอิง แต่การทำมุมกับผนังและความละเอียดที่ต่างกันส่งผลต่อการสร้างระนาบ โดยการใช้ความละเอียด 1/10 นั้นทำให้ค่าพิกัดของระนาบอ้างอิงที่สร้างขึ้นมีความคลาดเคลื่อน และจุดที่ทำมุมกับผนังน้อยกว่า 30 องศา (L9 และ L10) มีผลต่อความคลาดเคลื่อนเช่นกัน ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 1.6 มิลลิเมตร

6.2. การทดสอบการแสดงข้อมูลสีที่สะท้อนถึงความเรียบ

การทดสอบในส่วนนี้ผู้วิจัยพิจารณาผลที่ได้จากภาพที่ระบบแสดง และค่าร้อยละจำนวนจุดพอยท์คลาวด์ของแต่ละตัวอย่าง พบว่าพื้นที่ฝั่งซ้ายของผนัง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ทำมุมกับผนังน้อย และระยะห่างสูง พบข้อมูลความผิดพลาดของผนังน้อยมากหรือไม่มีข้อมูลของความผิดพลาดผนังนั้น ๆ ผู้วิจัยจึงแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ช่วงของผนัง โดยช่วงที่ 1 คือ พื้นที่ 1 ตารางเมตรจากฝั่งซ้ายของผนัง และช่วงที่ 2 คือ พื้นที่ 1 ตารางเมตรจากฝั่งของขวาผนัง เพื่อพิจารณาค่าร้อยละจำนวนจุดพอยท์คลาวด์



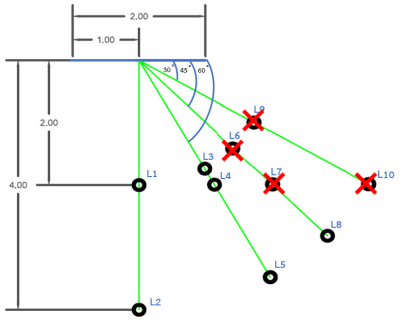
รูปที่ 4 การแบ่งผนังสำหรับการวิเคราะห์ผลร้อยละจำนวนจุด

จากผลการทดสอบระบบพบว่า ระยะทางและความละเอียดมีผลต่อสีที่สะท้อนถึงความเรียบของผนัง และพบว่าจุด L8 ที่มีระยะถึงฝั่งซ้ายของผนัง เท่ากับ 4.8 m ที่ความละเอียด 1/10 และ 1/8 พบว่าร้อยละของข้อมูลในช่วงที่ 1 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.5 ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความละเอียดอื่นทำให้ไม่สามารถจำแนกความผิดพลาดของผนังได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความละเอียด มีผลต่อ

ระยะทาง และการทำมุมกับผนังแต่ละค่าทำให้ร้อยละของข้อมูลในช่วงที่ 1 มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ข้อมูล L6 L7 L9 และ L10 ที่ทำมุมกับผนังฝั่งซ้ายต่ำกว่า 35 องศา จะมีร้อยละของข้อมูลต่ำกว่าร้อยละ 0.5

7. การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ได้จากการทดสอบระบบ

จากการทดสอบระบบ ผู้วิจัยจึงได้ปรับแต่งข้อมูลที่วิเคราะห์ได้โดยทำการตัดข้อมูลที่มีความละเอียด 1/10 และตำแหน่งที่วางเครื่องสแกนเลเซอร์เพื่อเก็บข้อมูลนั้นต้องทำมุมกับผนังไม่ต่ำกว่า 35 องศา ซึ่งหมายถึงจุด L6 L7 L9 และ L10 และข้อมูล L8 ที่ความละเอียด 1/8 ที่มีระยะห่างมากว่า 4.8 เมตร เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบที่พัฒนา ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้



รูปที่ 5 *ตำแหน่งการเก็บข้อมูลหลังจากการปรับแต่งข้อมูล*

7.1. การวิเคราะห์ข้อมูลการสร้างระนาบอ้างอิง

จากการปรับแต่งข้อมูลพบว่า ค่าพิกัดของระนาบที่ระบบสร้างขึ้นอัตโนมัติมีค่าเฉลี่ย 0.0028 เมตร (ระยะตามแกน y) มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดและต่ำสุด 0.0003 และ -0.0006 เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระนาบหลังการปรับแต่ง

ค่าเฉลี่ยพิกัดของระนาบอ้างอิง	0.0028 ม.
ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.0003 ม.
ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด	-0.0006 ม.

7.1. ผลวิเคราะห์การแสดงข้อมูลสีที่สะท้อนถึงความเรียบ

จากการปรับแต่งข้อมูลพบว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดที่ผ่าน(เขียว), นูน(แดง) และ ยุบ(น้ำเงิน) คือร้อยละ 95.05, 2.51 และ 2.45 ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่ผ่าน(เขียว), นูน(แดง) และ ยุบ(น้ำเงิน) คือ 0.94, 0.75 และ 0.67 ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่ผ่าน(เขียว), นูน(แดง) และ ยุบ(น้ำเงิน) คือ 0.91, 0.73 และ 0.65 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การแสดงข้อมูลสีที่สะท้อนถึงความเรียบหลังการปรับแต่ง

	จำนวนจุดคิดเป็นร้อยละ		
	ผ่าน(เขียว)	นูน(แดง)	ยุบ(น้ำเงิน)
ค่าเฉลี่ย	95.05	2.51	2.45
STDEV.S	0.94	0.75	0.67
STDEV.P	0.91	0.73	0.65

8. สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและพัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสนับสนุนการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าในการเก็บข้อมูลนั้นความละเอียดของข้อมูลมีผลต่อระยะห่างของจุดที่วางเครื่องสแกนเลเซอร์ และพบว่า ความละเอียด 1/10 นั้นไม่เหมาะต่อการเก็บข้อมูลสำหรับใช้ในระบบที่พัฒนา และความละเอียด 1/8 มีผลต่อระยะทางที่ห่างออกไปเกิน 4.8 เมตร อีกทั้งมุมที่กระทำต่อผนังที่มีค่าน้อยกว่า 35 องศา ทำให้การเก็บข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพ แต่การวางเครื่องสแกนที่มุมเท่ากันระยะต่างกันนั้นไม่มีผลต่อข้อมูลที่ได้ ซึ่งผลการกำหนดระนาบอ้างอิงนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดและต่ำสุด 0.0003 และ -0.0006 เมตร ตามลำดับ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละของจุดที่ผ่าน(เขียว), นูน(แดง) และ ยุบ(น้ำเงิน) คือ 0.94, 0.75 และ 0.67 ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่ผ่าน(เขียว), นูน(แดง) และ ยุบ(น้ำเงิน) คือ 0.91, 0.73 และ 0.65 ตามลำดับ

9. การอ้างอิง

[1] Pesante, J., Williges, R., & Woldstad, J. (2001). The Effects of Multitasking on Quality Inspection in Advanced Manufacturing Systems. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 11, 287-298.

[2] Banister, J. M. (1991). *Building construction inspection; a guide for architects*. A Wiley-Interscience publication, USA.

[3] O'Brien, J. J. (1997). Construction inspection handbook: total quality management. Chapman & Hall, New York.

[4] D. Arditi, H.M. Gunaydin (1997). Total quality management in the construction process,

International Journal of Project Management, 15 (4) ,235–243.

[5] A.R. Toakley, M. Marosszeky. (2009). Towards total project quality - a review of research needs, Engineering Construction and Architectural Management, 10 (3) ,219-228

[6] S. Shingo (1986). Zero quality control: Source inspection and the poka-yoke system, Productivity press, Portland.

[7] Pučko, Z., Šuman, N., & Rebolj, D. (2018). Automated continuous construction progress monitoring using multiple workplace real time 3D scans. *Advanced Engineering Informatics, 38*.

[8] Qu, T., & Sun, W. (2015). Usage of 3D Point Cloud Data in BIM (Building Information Modelling): Current Applications and Challenges. Journal of Civil Engineering and Architecture, 9.

[9] Sohn, H. (2015). Automated Quality Inspection of Precast Concrete Elements with Irregular Shapes Using Terrestrial Laser Scanner and BIM Technology. Proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2015), International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC), 1-8.

[10] Shih, N., & Wang, P. H. (2004). Using point cloud to inspect the construction quality of wall finish. Proceedings of the 22nd eCAADe Conference, 573-578.

Almamou, A., Gebhardt, T., Bock, S., Hildebrand, J., & Schwarz, W. (2015). Quality Control of constructed Models using 3D point cloud. 20th International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering, 9, 9942