# การศึกษาการตรวจสอบคุณภาพผนังด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ
# Study of 3D Laser Scanner for wall flatness inspection

นายรัฐพงศ์ โสมติด
นายวชิรวิทย์ เพียรสุภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ธนิต ธงทอง

[1,2,3] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ*

## บทคัดย่อ

ในงานก่อสร้างอาคาร งานผนังเป็นส่วนหนึ่งของงานทางด้านสถาปัตยกรรมที่แสดงถึงความสวยงามของอาคาร ผู้ใช้งานอาคารสามารถสังเกตได้ด้วยได้เปล่าหรือใช้มือสัมผัสได้โดยตรง ดังนั้นในงานก่อสร้างขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของผนังจึงเป็นส่วนสำคัญ โดยหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับงานผนังคือความเรียบของผนัง ซึ่งในปัจจุบันผู้ตรวจรับงานใช้เหล็กกล่องในการตรวจสอบความเรียบของผนัง โดยการตรวจสอบแต่ละครั้งผู้ตรวจรับงานอาศัยประสบการณ์และความพึงพอใจของตนเองในการประเมิน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความขัดแย้งระหว่างผู้ส่งมอบงานและผู้ตรวจรับงานได้ เนื่องจากขาดเกณฑ์ในการตรวจสอบที่แน่ชัด งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาหลักเกณฑ์ที่ใช้ในงานตรวจสอบความเรียบของผนัง (2) ศึกษาการใช้เครื่องสแกน 3 มิติ และวิเคราะห์ข้อมูล Point Cloud ที่ได้จากการสแกน ในงานตรวจสอบความเรียบของผนัง (3) เปรียบเทียบการใช้เครื่องสแกน 3 มิติ ในงานตรวจสอบความเรียบของผนังกับเครื่องมืออื่นๆ ได้แก่ เหล็กกล่อง เครื่อง CU-iwall ver.1 และ Cu-iwall Ver.2 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหลักเกณฑ์ในการตรวจสอบความเรียบของผนังจากหลักเกณฑ์ที่ใช้ในต่างประเทศ และประเทศไทย เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความเรียบของผนัง พร้อมทั้งทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความเรียบของผนังโดยใช้ข้อมูล Point Cloud จากเครื่องสแกน 3 มิติ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการวัดความเรียบของผนังของเครื่องสแกน 3 มิติกับเครื่องมือในปัจจุบัน ผลการศึกษาพบว่า 1) ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับงานผนังมีค่าไม่เกิน 3 มม 2) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องสแกน 3 มิติ นำข้อมูลที่ได้ซึ่งเป็นจุดในระนาบสามมิติเรียงเป็นพื้นผิวของผนังมาทำการลบจุดที่ไม่ต้องการออกโดยโปรแกรม SCENE จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความเรียบโดยใช้โปรแกรม BuildIT หรือ AutoCAD 3) ผลจากการเปรียบเทียบเครื่องมือพบว่าเครื่องสแกน 3 มิติ สามารถเก็บข้อมูลผนังได้รวดเร็วพร้อมทั้ง 4 ด้านต่อการสแกน 1 ครั้ง แต่ข้อมูลที่ได้ต้องนำมาประมวลผลต่อในคอมพิวเตอร์ทำให้ไม่สามารถทราบผลได้ทันที ซึ่งผลจากการวิเคราะห์มีความละเอียดและแม่นยำสูง ซึ่งช่วยในการลดข้อโต้แย้งระหว่างผู้รับเหมาและผู้ตรวจรับงานได้

**คำสำคัญ: ความเรียบของผนัง, เครื่องสแกน 3 มิติ, Point Cloud**

## Abstract

In building construction, wall construction is a part of architecture work that shows the aesthetic of building. Users can either observe the interior wall with bare hands or touch directly that why wall inspection is an important process in construction work, one of the important features of wall work is the flatness of the wall. Nowadays, the Inspector uses a square tube to inspect the wall flatness. In each inspection, the inspector uses his experience and satisfaction to assess flatness of the wall that there are no clear criteria for wall flatness inspection which may result in conflicts between contractor and inspectors due to the lack of clear work quality criteria. Hence, the objective of this study are the following: 1) Analyze the use of 3D Scanner and Point Cloud data for wall flatness inspection 2) Compare the result of using 3D laser Scanner with other instrument, such as square tube, CU-iwall Ver.1 and CU-iwall Ver.2 for wall flatness inspection.3) Analyze the feasibility of using wall flatness inspection. This study has studied the criteria of wall flatness inspection that use in foreign countries and Thailand to determine the criteria for assess flatness of the wall as well as procedure for analysis Point Cloud data from 3D Laser Scanner and compare the

efficiency of wall flatness inspection of 3D Laser Scanner with the current tool. This study discover the following: 1) For analyze data from 3D Laser Scanner, use SCENE program for clean Point Cloud data that not include in wall flatness analysis and then export files to analysis of wall flatness in BuildIT or AutoCAD 2) From comparison of tools, It found that 3D Laser Scanner quickly collect wall data with 4 aspect in 1 scan but the data must be further analysis in computer program so that the result cannot be show immediately and result from analysis are highly accurate. Which helps to reduce the dispute between the contractor and the inspector.

Keywords: wall flatness, 3D Laser Scanner, Point Cloud

## 1. คำนำ

ในงานก่อสร้างอาคารงานผนังเป็นส่วนหนึ่งของงานทางด้านสถาปัตยกรรมที่แสดงถึงความสวยงามของอาคารและเป็นงานที่มีปริมาณมากผู้ใช้งานอาคารสามารถสังเกตได้ด้วยได้เปล่าหรือใช้มือสัมผัสได้โดยตรง ดังนั้นในงานก่อสร้างขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของผนังจึงเป็นส่วนสำคัญ โดยหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับงานผนังคือความเรียบของผนัง ซึ่งในปัจจุบันการตรวจสอบความเรียบของผนังนั้นใช้เหล็กฉากในการตรวจสอบและยังไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่ชัดในการตรวจสอบแต่ละครั้งผู้ตรวจสอบจะอาศัยประสบการณ์และความพึงพอใจของตนเองในการประเมินว่าผนังแผ่นนั้นมีความเรียบเพียงพอหรือไม่ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความขัดแย้งระหว่างผู้ส่งมอบงานและผู้ตรวจรับงานได้ เนื่องจากขาดหลักเกณฑ์ที่แน่ชัดในการตรวจสอบความเรียบของผนังอีกทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบไม่มีมาตรฐานในการรองรับถึงความถูกต้องในการตรวจสอบแต่ละครั้งอาจทำให้เกิดเป็นข้อโต้แย้งระหว่างผู้ส่งมอบและผู้ตรวจสอบงานได้ ดังนั้นโครงงานฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเครื่องมือที่ทันสมัยและได้มาตรฐานมาใช้ในงานตรวจสอบความเรียบของผนัง โดยได้นำเครื่องสแกน 3 มิติ ซึ่งมีความสามารถในการสแกนพื้นผิวของวัตถุเก็บเป็นข้อมูลในลักษณะของจุดจำนวนมากเรียงกันจนเกิดเป็นพื้นผิวของวัตถุนั้น จุดแต่ละจุดจะมีพิกัดเป็นของตัวเองในระนาบ 3 มิติ เรียกจุดเหล่านั้นว่า Point Cloud ในโครงงานฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการใช้งานเครื่องสแกน 3 มิติ และการนำข้อมูลจุด Point Cloud มาทำการวิเคราะห์ความเรียบของผนัง และทำการเปรียบเทียบการใช้งานและผลจากการตรวจสอบความเรียบของผนังกับเครื่องมือชนิดอื่นที่มีการใช้งานในปัจจุบันได้แก่ เหล็กฉากและเครื่อง CU-iwall เพื่อทำการวิเคราะห์ความแม่นยำ ระยะเวลาในการทำงาน ราคา และการนำเครื่องมือไปใช้งาน

## 2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

*2.1 แนวทางการตรวจสอบคุณภาพผนัง*

*2.1.1 The BCA Construction Quality Assessment System (CONQUAS)*

แนวทางการประเมินคุณภาพงานก่อสร้างภายในประเทศสิงคโปร์ โดยแนวทางการประเมินคุณภาพผนังแสดงดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แนวทางการประเมินคุณภาพผนังภายใน CONQUAS

| รายการตรวจสอบ | เกณฑ์ | ค่ายอมรับความคลาดเคลื่อน | เครื่องมือ | วิธีการวัด |
|---|---|---|---|---|
| ระดับแนวผนัง | -งานระนาบ<br>- ความดิ่ง<br>- ความฉาก | - ไม่เกิน 3 มม.<br>- ไม่เกิน 3 มม.<br>- ไม่เกิน 4 มม | -ไม่ระบุ<br>- ไม่ระบุ<br>- ไม่ระบุ | - ไม่ระบุ |
| รอยร้าวและความเสียหาย | - รอยร้าว | - ต้องไม่เห็นได้ด้วยตาเปล่า | - สายตา | - สายตา |
| ความกลวงและรอยลอกของผิว | - ความกลวงและรอยลอกของผิว | - ไม่มีเสียงที่แสดงถึงความกลวงของผนังและไม่มีสิ่งปนเปื้อนติดกับผนัง | - ไม่ระบุ | -ใช้ของแข็งเคาะผนัง |
| รอยต่อ | - รอยต่อ | - รอยต่อที่มุมผนังเป็นเส้นตรง | - ไม่ระบุ | - ไม่ระบุ |

*2.1.2 การตรวจสอบคุณภาพผนังภายในประเทศไทยของภาคเอกชน*

แนวทางการตรวจสอบคุณภาพผนังในประเทศไทยของหน่วยงานภาคเอกชน (Chunyarat,2018) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการประเมินคุณภาพผนังภายในประเทศไทย

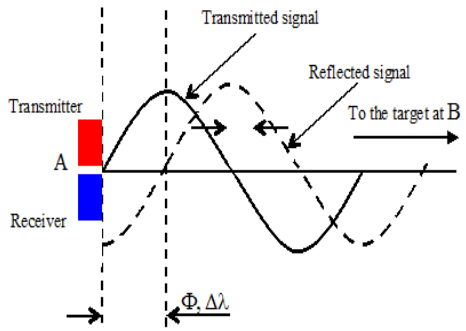
| รายการตรวจสอบ | เกณฑ์ | ค่ายอมรับความคลาดเคลื่อน | เครื่องมือ | วิธีการวัด |
|---|---|---|---|---|
| ระดับและแนวผนัง | -งานระนาบ/ความเรียบ | - ความโค้งเว้าของผนังไม่เกิน 3 มม. | -สามเหลี่ยมปาดปูนอลูมิเนียม<br>- หลอดไฟสปอร์ตไลท์ | - ส่องไฟสปอร์ตไลท์ด้านตรงข้ามผนังที่ตรวจ<br>- ใช้สามเหลี่ยมปาดปูนทาบผนัง สังเกตไม่ให้มีแสงลอดผ่านได้ |
| | - งานดิ่ง | - ต้องได้ดิ่ง | - สามเหลี่ยมปาดปูนอลูมิเนียม<br>- เลเซอร์วัดระดับไม้บรรทัดเหล็ก | - ใช้สามเหลี่ยมปาดปูนอลูมิเนียมทาบผนังตามแนวตั้ง โดยไม่ให้มีแสดงลอดผ่าน<br>- ใช้เลเซอร์วัดระดับกำหนดแนววัดเป็นเส้นตรงแล้วใช้ไม้บรรทัดเหล็กทาบวัดตามแนวเส้นตรงของผนัง |
| มุมเสา/มุมผนัง | - มุมเสา/มุมผนัง | - งานดิ่ง/ฉากตรงมุมของเสาไม่คดโค้ง | - เลเซอร์วัดระดับ | -ใช้เลเซอร์วัดระดับตรวจความเป็นฉากของผนัง |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | หรือเป็นคลื่น | | |
| ขนาดผนังห้อง | - งานระยะ | - ไม่เกิน 3 มม ต่อผนัง 1 ด้าน | - เลเซอร์วัดระยะ/ตลับเมตร | - วัดผนังทุกด้านภายในห้อง |

*2.2 หลักการทำงานของเครื่องสแกน 3 มิติ FARO SCANNER focus m70*

เครื่องสแกน 3 มิติ FARO SCANNER focus m70 เป็นเครื่องมือที่ใช้การทำโครงงานครั้งนี้ โดยเครื่องอาศัย“ความต่างเฟสของคลื่นแสง”ในการทำงาน โดยเครื่องจะปล่อยปล่อยแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นคงที่เสมอวัดระยะทางด้วยการหาความต่างเฟสของแสงเลเซอร์ที่ส่งออกไปแล้วสะท้อนกลับมาเมื่อกระทบกับวัตถุ โดยระยะทางมากที่สุดที่เครื่องสแกนสามารถวัดได้มีค่าเท่ากับความยาวคลื่นที่ส่งออกไปซึ่งสามารถปรับความยาวคลื่นให้เหมาะสมกับการวัดระยะทางได้ การใช้คลื่นที่มีความถี่สูงในการวัดระยะทางจะได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำแต่สามารถวัดได้ในระยะทางที่สั้น (Mostafa et. al., 2015) หลักการทำงานแบบความต่างเฟสของคลื่นแสงดังรูปที่ 1

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกน 3 มิติ เรียกว่า Point Cloud ซึ่งเป็นจุดบนระนาบ 3 มิติ จำนวนมากเรียงกันเป็นพื้นผิวของวัตถุที่ทำการสแกน โดยแต่ละจุดจะมีพิกัดของตัวเองทำให้สามารถวัดระยะห่างระหว่างจุดได้




รูปที่ 1 แสดงหลักการทำงานแบบความต่างเฟสของคลื่นแสง

*2.3 การประยุกต์ใช้เครื่องแสกน 3 มิติ ในปัจจุบัน*

ในปัจจุบันมีการนำเครื่องมือ 3D Scanner ไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ หลากหลายด้าน ดังตัวอย่างต่อไปนี้ (Faro Technologies Inc)

*2.3.1 ด้านสถาปัตยกรรม*

1) การตรวจสอบอาคาร เป็นการสำรวจเปลือกของอาคาร และส่วนประกอบต่างๆ ก่อนนำมารวมกันเป็นอาคารที่สมบูรณ์
2) Scan-to-BIM เป็นการส่งข้อมูลของอาคารจริง ไปจำลองเป็น BIM Models
3) การจำลองสภาพแวดล้อม โดยเก็บข้อมูลโดยรอบของโครงการเพื่อนำไปออกแบบสภาพแวดล้อมของโครงการ
4) ในการออกแบบสามารใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีเก็บจำลองพื้นที่จากสถานที่จริงไปเป็นโมเดล 3 มิติ

*2.3.2 ด้านงานก่อสร้าง*

1) การวิเคราะห์ และบำรุงรักษาโครงสร้าง สามารถใช้สแกนเพื่อตรวจหาส่วนที่สึกหรอของโครงสร้าง เพื่อนำไปวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้างได้
2) ใช้ในการติดตามความก้าวหน้าของโครงการ
3) ใช้ในการสำรวจโครงสร้างที่มีรูปแบบอิสระที่ไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิต ซึ่งเครื่องมืออื่นไม่สามารถทำได้
4) ทำให้การประสานงานเกี่ยวกับข้อมูลต่างๆของโครงการง่ายขึ้น เนื่องจากมีการเก็บข้อมูลจริงมาอยู่ในแบบจำลอง 3 มิติ

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

*3.1 แนวทางในการดำเนินงาน*

ในการดำเนินงานให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้มีดังต่อไปนี้

*3.1.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง*

1) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องสแกน 3 มิติ เพื่อทำความเข้าใจการนำเครื่องไปประยุกต์ใช้งาน
2) ศึกษาข้อมูลด้านการตรวจสอบผนังภายใน เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ในการตรวจสอบคุณภาพของผนัง และศึกษาวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน
3) ศึกษาการนำข้อมูล Point Cloud ที่ได้จากการทำการสแกนด้วนเครื่องสแกน 3 มิติ มาวิเคราะห์ผล โดยได้ทำการศึกษาจาก

*3.1.2 การเตรียมการเพื่อทำการเก็บข้อมูลความเรียบของผนัง*

1) ศึกษาการใช้งานเครื่อง CU-iwall Ver.1 เครื่อง CU-iwall Ver.2 วิธีการใช้งาน อ่านค่า และแปลผล เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบการตรวจสอบความเรียบของผนังกับเครื่องสแกน 3 มิติ
2) ศึกษาการนำเครื่องสแกน 3 มิติ มาใช้ในการวัดความเรียบของผนัง โดยการหาข้อมูลการวิเคราะห์พื้นผิวของวัตถุด้วยข้อมูล Point Cloud จากงานวิจัย และสื่อต่างๆ
3) ออกแบบการเก็บข้อมูล
4) ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้งาน
5) เก็บข้อมูลความเรียบของผนังด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ เหล็กกล่อง เครื่อง CU-iwall Ver.1 และ CU-iwall Ver.2 โดยได้ทำการเก็บข้อมูลความเรียบของผนัง 2 บริเวณภายในตึกภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬา 1)ผนังข้างลิฟต์ชั้น 2)ผนังทางเข้าอาคาร

6) เปรียบเทียบผลการเก็บข้อมูล

*3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล Point Cloud จากเครื่องสแกน 3 มิติ*

เมื่อทำการสแกนผนังด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ ผลจากการสแกนจะอยู่ในรูปแบบของจุดในแกน 3 มิติ จำนวนมากเรียงกันจนเป็นพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งแต่ละจุดมีพิกัดเป็นของตัวเอง หลังจากการสแกนต้องนำข้อมูล Point Cloud ที่ได้ไปวิเคราะห์ผลในคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ความเรียบของผนังประกอบไปด้วย SCENE BuildIT และ AutoCAD วิธีการวิเคราะห์ความเรียบของผนังมี 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

*3.2.1 Data Cleaning*

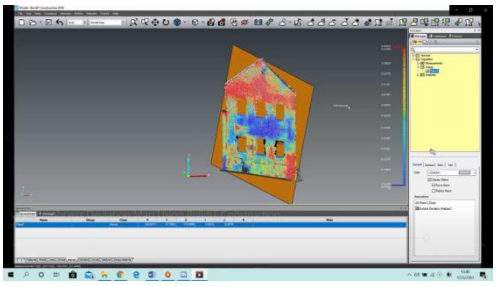
Data Cleaning คือการนำไฟล์ข้อมูล Point Cloud ที่ได้จากการสแกนมาทำการลบจุดที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป ยกตัวอย่างเช่น อาคารด้านนอก กระจกที่ติดมา ต้นไม้ พื้น และเพดาน เป็นต้น

*3.2.2 Export Files*

ก่อนจะนำข้อมูลที่ผ่านการทำ Data Cleaning ต้องมีการ Export Files ซึ่งนามสกุลของไฟล์ต้องตรงกับการรองรับโดยโปรแกรมที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งในการศึกษานี้มีการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ความเรียบ 2 โปรแกรม คือ BuildIT ใช้ไฟล์ .E57 และ AutoCAD ใช้ไฟล์ .rcp

*3.3.3 Surface Deviation Analysis*

ขั้นตอนนี้คือการนำข้อมูล Point Cloud ของผนังมาทำการวิเคราะห์ความเรียบ โดยสร้างระนาบสมมติขึ้นมาจากค่าเฉลี่ยของข้อมูล Point Cloud ทุกจุดบนผนัง ซึ่งถ้าผนังแผ่นนั้นเรียบระนาบสมมติจะแนบสนิทกับจุด Point Cloud ของผนัง แต่ถ้าผนังมีการเว้าหรือนูน จุด Point Cloud บนผนังบางส่วนจะมีการเหลื่อมล้ำออกจากผนังซึ่งระยะที่จุด Point Cloud เหลื่อมล้ำกับระนาบสมมติเรียกว่า “Deviation” ซึ่งแสดงถึงความนูนและเว้าของผนัง การวิเคราะห์ Surface Deviation Analysis สามารถทำได้ใน 2 โปรแกรม คือ AutoCAD และ BuildIT ซึ่งมีหลักการในการทำงานเหมือนกันดังที่กล่าวมาข้างต้นแต่มีส่วนที่ต่างกันคือ BuildIT ให้ผลลัพธ์เฉพาะเฉดสีที่แสดงถึงความนูนและเว้าของผนัง ส่วน AutoCAD ให้ผลลัพธ์ทั้งแบบเฉดสี และ Grid Line ที่แสดงค่า deviation ของผนัง



รูปที่ 2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Surface Deviation Analysis

## 4. ผลการศึกษา

*4.1 สรุปแนวทางการตรวจสอบความเรียบของผนัง*

ในการประเมินความเรียบของผนังต้องมีหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ เพื่อให้งานที่ออกมามีมาตรฐานรองรับอย่างชัดเจน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในการส่งมอบและตรวจสอบงานได้ จากการศึกษาสามารถสรุปแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพของผนังได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปแนวทางในการตรวจสอบความเรียบของผนัง

| เกณฑ์การตรวจงาน | วิธีการ | เครื่องมือ | ค่าการยอมรับความคลาดเคลื่อน |
|---|---|---|---|
| งานระนาบ | - ใช้กล่องอลูมิเนียมหรือสามเหลี่ยมปาดปูนทาบไปที่ผนัง<br>- ตรวจวัดความเรียบของผนังทั้ง 4 ด้าน โดยแบ่งช่วงผนังออกเป็นสามระดับ คือ บน กลาง และล่าง พิจารณาดูความนูนและเว้าของผนังให้อยู่ในค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนด จุดเน้นที่สำคัญของงานระนาบคือจุดเข้างานฝาเพดาน จุดเข้างานบัว และจุดเข้างานเฟอร์นิเจอร์ | - กล่องอะลูมิเนียม<br>- สามเหลี่ยมปาดปูน<br>- ระดับน้ำ<br>- สายตา | ± 3 มิลลิเมตรต่อผนัง 1 ด้าน |

*4.2* สรุปผลการตรวจสอบความเรียบของผนัง

**4.2.1** ผลการตรวจสอบบริเวณผนังหน้าลิฟต์ชั้น 4 ตึกภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาฯ

1) ผลการตรวจสอบด้วยเหล็กกล่อง

ผลจากการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าผนังมีความเรียบไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งมีบริเวณที่ไม่ผ่านการพิจารณาคือ วัดแนวระดับ: ตำแหน่งบนและกึ่งกลางผนัง และ วัดแนวดิ่ง: ตำแหน่งขวาและกึ่งกลางผนัง โดยการประเมินความเรียบของผนังอาศัยความพอใจและประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบเท่านั้น เครื่องมือไม่สามารถระบุรายละเอียดของการเว้าหรือนูน ทำให้ไม่ทราบค่าการเว้าหรือนูนของผนังที่ชัดเจน

2) ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง CU-iwall Ver.1

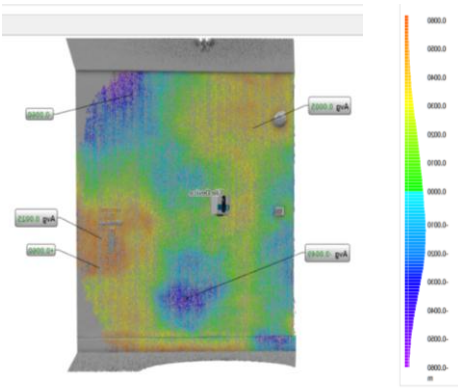
ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผนังบริเวณที่ทำการตรวจสอบมีความเว้าและนูนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือไม่เกิน ±3 มิลลิเมตร

3) ผลการตรวจสอบความเรียบด้วยเครื่อง CU-iwall Ver.2

ผลจากการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าผนังบริเวณแถวด้านบนสุดที่ทำการตรวจสอบมีความเว้าเกินเกณฑ์ที่กำหนดคือไม่เกิน -3 มิลลิเมตร ส่วนบริเวณอื่นมีความเว้าและนูนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือไม่เกิน ±3 มิลลิเมตร

4) ผลการตรวจสอบความเรียบด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ

ผลจากการตรวจสอบโดยทำการวิเคราะห์ในโปรแกรม BuildIT เฉดสีที่ได้จากการวิเคราะห์มีความกระจายทั่วทั้งแผ่นผนัง แสดงให้เห็นว่าผนังมีความเรียบไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะเป็นคลื่น ซึ่งสังเกตได้จากการที่บริเวณที่เป็นสีเขียว ฟ้า น้ำเงิน เหลือง และส้ม กระจายสลับกันทั่วทั้งแผ่นผนัง โดยบริเวณที่มีความนูนหรือเว้าเกนเกณฑ์ที่กำหนด คือ บริเวณด้านซ้าย ขวาบน และขวาล่าง ดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงด้วยสีเหลือง(เกิน 3 มม.) ส้ม(เกิน 4 มม.) ฟ้า(เกิน -3 มม.) และน้ำเงิน(เกิน -4 มม.)



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความเรียบของผนังจากเครื่องสแกน 3 มิติ โดยโปรแกรม Build IT

**4.2.1** ผลการตรวจสอบบริเวณผนังทางเข้าตึกภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาฯ

1) ผลการตรวจสอบด้วยเหล็กกล่อง

ผลจากการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าผนังมีความเรียบไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งมีบริเวณที่ไม่ผ่านการพิจารณาคือ วัดแนวระดับ: ตำแหน่งบนกึ่งกลางและล่างของผนัง วัดแนวดิ่ง: ตำแหน่งกึ่งกลางเหนือหัวผู้ตรวจสอบและด้านขวาของผนัง โดยการประเมินความเรียบของผนังอาศัยความพอใจและประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบเท่านั้น เครื่องมือไม่สามารถระบุรายละเอียดของการเว้าหรือนูน ทำให้ไม่ทราบค่าการเว้าหรือนูนของผนังที่ชัดเจน

2) ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง CU-iwall Ver.1

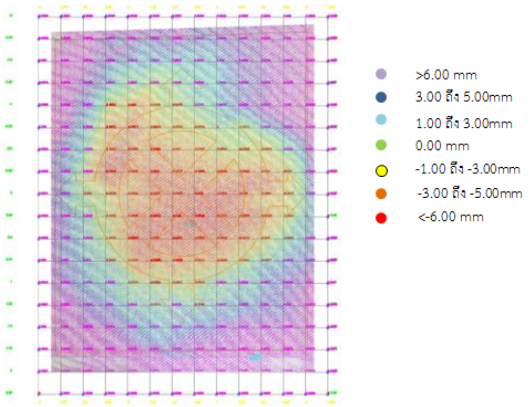
ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผนังบริเวณที่ทำการตรวจสอบมีความเว้าและนูนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือไม่เกิน ±3 มิลลิเมตร

3) ผลการตรวจสอบความเรียบด้วยเครื่อง CU-iwall Ver.2

ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผนังบริเวณที่ทำการตรวจสอบมีความเว้าและนูนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือไม่เกิน ±3 มิลลิเมตร

4) ผลการตรวจสอบความเรียบด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ

ผลจากการตรวจสอบโดยทำการวิเคราะห์ความเรียบของผนังในโปรแกรม AutoCAD แสดงให้เห็นว่าผนังมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ โดยความหนาของผนังบริเวณขอบมีความสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาเข้ามาด้านในของผนังความหนาของผนังลดลง จนมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ สังเกตได้จากเฉดสีที่เปลี่ยนไปโดยเริ่มจากบริเวณขอบของผนังซึ่งแสดงด้วยสีม่วง จากนั้นเมื่อเข้ามาด้านในของผนังเฉดสีเปลี่ยนเป็น น้ำเงิน ฟ้า เขียว เหลือง ส้ม และ แดง ตามลำดับ (ค่าความนูนและเว้าของแต่ละเฉดสีแสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งผนังมีการเว้าเข้ามาเป็นแอ่งกระทะเกินเกณฑ์ที่กำหนด ±3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4




รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความเรียบของผนังจากเครื่องสแกน 3 มิติ โดยโปรแกรม AutoCAD

5) ผลจากการวัดระยะห่างระหว่างเส้น Grid Line ที่ขึงด้วยเส้นด้ายกับผนัง

ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าความหนาของผนังลดลงจากบริเวณขอบไปจนถึงกึ่งกลางผนัง ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ

*4.3 เปรียบเทียบผลการวัดความเรียบของผนังระหว่างเครื่องสแกน 3 มิติกับเครื่องมือชนิดอื่น*

4.3.1 เปรียบเทียบผลการวัดความเรียบผนังบริเวณผนังข้างลิฟต์ชั้น 4 ตึกภาควิศวกรรมโยธา จุฬาฯ

จากการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบข้างต้นพบว่า เหล็กกล่องให้ผลสอดคล้องกับเครื่องสแกน 3 มิติ แต่ผลที่ได้ไม่มีความละเอียดเทียบเท่า เนื่องจากในการวัดไม่มีเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนเครื่อง CU-iwall

Ver.1 .ให้ผลว่าผนังมีความเรียบผ่านเกณฑ์ ซึ่งขัดแย้งกับผลของเครื่องสแกน 3 มิติ และเหล็กกล่อง แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือยังขาดความแม่นยำในการตรวจสอบความเรียบ และเครื่อง CU-iwall Ver.2 ให้ผลว่าบริเวณแถวด้านบนที่ตรวจสอบมีความเรียบไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด แต่บริเวณที่เหลือผ่านเกณฑ์ทั้งหมด ซึ่งขัดแย้งกับผลจากเหล็กกล่องและเครื่องสแกน 3 มิติ

4.3.2 เปรียบเทียบผลการวัดความเรียบผนังบริเวณผนังทางเข้าตึกภาควิศวกรรมโยธา จุฬาฯ

เหล็กกล่องให้ผลการทดสอบสอดคล้องกับเครื่องสแกน 3 มิติ ซึ่งให้ผลการตรวจสอบว่าความเรียบของผนังไม่ผ่านมาตรฐาน แต่ผลที่ได้จากเหล็กกล่องมาจากความพึงพอใจและประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบเท่านั้น จึงไม่มีผลการวัดแบบละเอียดแสดงค่าความนูนและเว้าของผนัง ซึ่งเครื่องสแกน 3 มิติ สามารถแสดงผลของการตรวจสอบได้ 2 รูปแบบ คือ 1) เฉดสี ดังรูปที่ 4 ซึ่งสีแต่ละสีแทนความนูนและเว้าของผนังที่แตกต่างกัน 2) Grid Line ซึ่งเป็นค่าที่บันทึกมาจากค่าบน Grid Line ของผลการทดสอบเพื่อตรวจสอบผลการวัดของเครื่องสแกน 3 มิติ ผู้ทดสอบได้ทำการวัดระยะห่างระหว่างเส้นด้ายที่ใช้ทำกับ Grid Line กับผนัง ซึ่งผลการวัดสอดคล้องกับผลการตรวจสอบของเครื่องสแกน 3 มิติ คือ ผนังมีความหนาลดลงจากขอบไปบริเวณกึ่งกลางผนังขนมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ส่วนเครื่องมืออีก 2 ชนิด คือ เครื่อง CU-iwall Ver.1 และ **CU-iwall Ver.2** ให้ผลการตรวจสอบที่ไม่ถูกต้องโดยผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าผนังมีความเรียบสม่ำเสมอซึ่งขัดแย้งกับความเป็นจริง

*4.4 เปรียบเทียบเวลาในการทำงานของเครื่องสแกน 3 มิติ กับเครื่องมืออื่นๆ*

เวลาการทำงานของเครื่องสแกน 3 มิติ กับเครื่องมืออื่นแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงเวลาในการทำงานของเครื่องมือวัดความเรียบผนัง

| เครื่องมือ | เวลาในการทำงาน (นาที) |
|---|---|
| เหล็กกล่อง | 5 |
| เครื่อง CU-iwall Ver.1 | 5 |
| เครื่อง CU-iwall Ver.2 | 15 |
| เครื่องสแกน 3 มิติ | 18 |

จากตารางที่ 4. จะพบว่าเหล็กกล่องใช้เวลาในการทำงานเท่ากับเครื่อง CU-iwall ver.1 เนื่องจากการทดสอบเหมือนกันคือการนำเครื่องมือไปทาบกับผนังในแนวดิ่ง และแนวระนาบ อย่างละ 3 ครั้ง ทำให้ใช้เวลาไม่นานในการตรวจสอบ ส่วนเครื่อง Cu-iwall Ver.2 ใช้เวลานานกว่า Ver1. เนื่องมาจากในการตรวจสอบได้ใช้เครื่องมือทาบทุกจุดบน Grid Line เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่ละเอียดเพียงพอในการนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องสแกน 3 มิติ และ เครื่องสแกน 3 มิติ ใช้เวลานาน 18 นาที โดยซึ่งใช้เวลานานที่สุดในเครื่องมือทั้งหมด โดยในการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเก็บข้อมูล ใช้เวลาในการสแกนผนัง 1 นาที 24 วินาที และช่วงการนำข้อมูลไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์ประมาณ 16 นาที

*4.5 เปรียบเทียบราคาของเครื่องมือ*

ต้นทุนของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ต้นทุนของเครื่องมือวัดความเรียบ

| เครื่องมือ | ราคา (บาท) |
|---|---|
| เหล็กกล่อง | 100 |
| เครื่อง CU-iwall Ver.1 | 8,000 |
| เครื่อง CU-iwall Ver.2 | 12,000 |
| เครื่องสแกน 3 มิติ | 1,200,000 |

*4.6 วิเคราะห์การใช้งานเครื่องสแกน 3 มิติ ตรวจสอบความเรียบของผนัง*

ในการวิเคราะห์ความเรียบของผนังด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ สามารถเก็บข้อมูลจากหน้างานได้อย่างรวดเร็ว และสามารถเก็บข้อมูลผนังได้ 4 ด้านในครั้งเดียว แต่ต้องนำข้อมูลไปประมวลผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกครั้งจึงจะสามารถวิเคราะห์ความเรียบได้ ผลที่ออกมาสามารถแสดงในรูปของเฉดสี และ Grid Line ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นผนังจริงกับแผ่นระนาบอ้างอิงของค่าเฉลี่ยของจุด Point Cloud ทุจุดบนผิวของผนังจริง ดังนั้นการพิจาณาผลที่ออกมาต้องคำนึงถึงขั้นตอนการเปรียบเทียบแผ่นผนังจริงกับระนาบอ้างอิงร่วมด้วยเพื่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้

จุดเด่นที่เห็นได้ชัดจากการใช้เครื่องสแกน 3 มิติในการวัดความเรียบคือสามารถเก็บข้อมูลผนังทั้ง 4 ด้านครอบคลุมทั้งแผ่นผนังได้ในการสแกนเพียงครั้งเดียว สามารถตรวจบริเวณที่มีความสูงมากกว่าผู้ตรวจสอบมากและผลที่ได้มีความละเอียดสูง

จุดด้อยของเครื่องสแกน 3 มิติ คือ ต้องนำข้อมูล Point Cloud ไปประมวลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกครั้งหนึ่งซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลขึ้นอยู่กับจำนวนของการสแกนที่ต้องนำมาวิเคราะห์ ทำให้ไม่สามารถทราบผลได้หน้างาน และในปัจจุบันราคาของเครื่องมือมีราคาสูง

ในอนาคตเมื่อเครื่องมือราคาถูกลง การใช้เครื่องสแกน 3 มิติในงานตรวจสอบผนังเป็นหนึ่งในแนวทางที่ควรค่าแก่การพิจารณา

## เอกสารอ้างอิง


Building and Construction Authority. 2014. **CONQUAS: The BCA Construction Quality Assessment System.** Singapore: Building and Construction Authority.

Chunyarat, Nititerapad. 2018. **THE INNOVATIVE QUALITY**

**INSPECTION OF INTERIOR WALL CONSTRUCTION IN THAILAND.**

**COMMON APPLICATIONS OF THE FARO FOCUS LASER**

**SCANNER SERIES**. viewed 15 january 2019. Faro Technologies. Retrieved from <https://www.faro.com/en-sg/products/construction-bim/faro-laser-scanner-focus/applications/>

**Faro Technologies Inc Wall Flatness - Without CAD with BuildIT Construction.**viewed 15 january 2019. Faro Technologies.<https://knowledge.faro.com/Software/BuildIT/BuildIT_Construction/07.2-Module-Wall_Flatness_-_Without_CAD_with_BuildIT_Construction>

Mostafa Abdel-Bary EBRAHIM. Oct. 2015. **3D Laser Scanners' Techniques Overview.** International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN 2319-7064.

**User Manuals for As-Built for AutoCAD 2019.** Jun. 2019. Faro Technologies.