การศึกษาการประยุกต์ IOT ในการตรวจสอบความเรียบผนัง
วิชา โครงงานทางวิศวกรรมโยธา
A STUDY OF IOT APPLICATION FOR WALL INSPECTION
THE CIVIL ENGINEERING PROJECT

ผู้แต่งนายกฤต โชติพันธ์[1] นายอานนท์ แสงเกกิง[2] นายณัฐวัตร สุขประกอบ[3] และ ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ธนิต ธงทอง[4]

[1234]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

ในงานก่อสร้างอาคารงานผนังเป็นส่วนหนึ่งของงานทางด้านสถาปัตยกรรมที่แสดงถึงความสวยงามของอาคาร ผู้ใช้งานอาคารสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าหรือใช้มือสัมผัสได้โดยตรง ดังนั้นในงานก่อสร้าง ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของผนังจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับงานผนังคือความเรียบของผนัง ซึ่งในปัจจุบันผู้ตรวจรับงานอาศัยประสบการณ์และความพึงพอใจของตนเองในการประเมิน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความขัดแย้งระหว่างผู้ส่งมอบงานและผู้ตรวจรับงานได้ เนื่องจากขาดเกณฑ์ในการตรวจสอบที่แน่ชัด งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) วิเคราะห์การใช้ IOT ในการประยุกต์เพื่อใช้ในการตรวจสอบผนัง 2) เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการวัดโดยใช้ IOT วัดความเรียบของผนังกับอุปกรณ์ตรวจสอบผนังอื่นๆ ได้แก่ การทำเชือกมาใช้เป็นการวัดความเรียบ การใช้เหล็กกล่อง 3) วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้ IOT ในการวัดความเรียบผนัง งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหลักเกณฑ์ในการตรวจสอบความเรียบของผนังจากหลักเกณฑ์ที่ใช้ในต่างประเทศและประเทศไทย เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความเรียบของผนัง พร้อมทั้งทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความเรียบของผนัง โดยข้อมูลที่ได้จาก การใช้เชือกในการสร้างผิวและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการวัดความเรียบของผนังของอุปกรณ์ IOT ที่ประยุกต์มาใช้งาน ผลการศึกษาพบว่าการนำเทคโนโลยี IOT มาปรับใช้ในการวัดความเรียบของผนังมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ที่ 6.67 % ในความผิดพลาดที่ผิดพลาดเกินหรือคลาดเคลื่อนเกิน 1 มิลลิเมตร แต่ทว่าด้วยราคาวัสดุอุปกรณ์ที่ราคาไม่สูงจึงคาดว่าสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานได้ในอนาคต

Abstract

In construction, walls construction holds architectural as well as functional significant for the building. Walls can be observed with eyes or even bare hand; therefore, the importance of the wall's smoothness cannot be neglectable. In recent years, the inspector's expectation of wall's smoothness may cause argument contractor if the criteria are ambiguous. Thus, the objective of the study is to lessen the tension of this problem by: 1) Analyze the possible application of IOT for wall inspection 2) Compare the result of IOT devices with the existing method of measure such as, rope measurements and square tube. 3) Analyze the feasibility of IOT devices for wall inspection. Furthermore, this study research the credible criteria both inside and outside of Thailand. In addition, the result of the experiment will be compared to rope method for accuracy and effectiveness. The data shows

1.บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันในงานก่อสร้างอาคารงานผนังเป็นส่วนหนึ่งของงานทางด้านสถาปัตยกรรมที่แสดงถึงความสวยงามของอาคาร ผู้ใช้งานอาคารสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าหรือใช้มือสัมผัสได้โดยตรง ดังนั้นในงานก่อสร้าง ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของผนังจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับงานผนังคือความเรียบของผนัง ซึ่งปัจจุบันไม่มีเกณฑ์การตรวจรับงานที่แน่นอน ทำให้เกิดความขัดแย้งกันในขั้นตอนส่งมอบงานซึ่ง ทางคณะผู้จัดทำได้มองเห็นถึงปัญหาและได้ทำการศึกษา เกณฑ์การตรวจรับงานจากต่างประเทศและในประเทศเพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการตรวจสอบวัดความเรียบของผนัง ทำให้เราสามารถออกแบบวิธีการตรวจวัดที่แน่นอนและเข้าใจกันทั้งสองฝ่ายในการส่งมอบ

การดำเนินงานก่อสร้างจะมีการดำเนินการตรวจรับงานจากเกณฑ์มาตรฐานที่แตกต่างกันไปหากเรามีเกณฑ์มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับใน

สากลเราก็สามารถออกแบบเครื่องมือวัดตามเกณฑ์มาตรฐานนั้นๆได้ การวัดความเรียบผนังจากการที่ได้ศึกษามาตรฐานต่างๆทั้งในและต่างประเทศทำให้คณะผู้จัดทำเล็งเห็นประโยชน์ที่จะนำเทคโนโลยี IOT และเทคโนโลยีอื่นๆ มาประยุกต์ในการใช้งานวัดความเรียบของผนังโดยคาดว่าจะทำให้มีมาตรฐานในการตรวจวัดมากขึ้น และส่งผลต่อความเชื่อในของผู้ว่าจ้างทำให้ลดการขัดแย้งในการส่งมอบงาน

จากการที่คณะผู้จัดทำมีความสนใจในการศึกษาการนำเทคโนโลยีIOTมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง โดยเฉพาะเทคโนโลยี IOT โดยคณะผู้จัดทำเล็งเห็นว่าเทคโนโลยีเหล่านี้มีโอกาสในการพัฒนาและนำมาปรับใช้กับงานก่อสร้างได้ จึงมีความสนใจที่จะนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อทำการศึกษาและประเมินผลว่าเทคโนโลยีเหล่านี้สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้มากขึ้นหรือไม่อย่างไร และได้ทำการศึกษาค้นคว้าผลิตภัณฑ์เทคโนโลยี IOT หลากหลายชนิดเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการใช้ในการตรวจสอบความเรียบของผนังในงานก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวิเคราะห์ปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเทคโนโลยีนั้นๆ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เทคโนโลยี IOT ในการประยุกต์ใช้กับการวัดความเรียบของผนังที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์สากลที่กำหนด และช่วยให้ผู้ดำเนินงานก่อสร้างเข้าใจข้อมูลชัดเจนเป็นค่าที่ชี้วัดผลได้จริงดังนั้นจึงต้องประเมินความเป็นไปได้ที่จะนำเทคโนโลยี IOT มาใช้ในการวัดความเรียบผนัง

1.*2.1เทคโนโลยี IOT*

IoT หรือ Internet of Things เป็นแนวคิดการนำอินเทอร์เน็ต (Internet) ไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ให้อุปกรณ์นั้นสามารถรับ-ส่งข้อมูล เพื่อให้เราสามารถควบคุมหรือนำข้อมูลจากอุปกรณ์นั้นมาใช้งานได้ ตัวที่เราให้ความสนใจนั้นคือ Ultrasonic sensor, VCSEL sensor

1.2.2 VCSEL sensor

ใช้เครื่องมือ Vessel sensor distance รุ่น VI53l0x VI6180x ซึ่งมีคุณสมบัติ ใช้คลื่นแสดง vertical ในการระบุระยะห่าง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะมีได้รับ

หากมีอุปกรณ์ที่สามารถบอกค่าความเรียบของผนังได้ออกมาเป็นค่าใดๆ จะทำให้การดำเนินการก่อสร้างมีการสื่อสารที่ตรงกันและเข้าใจกันมากขึ้น และยังเพิ่มความสะดวกสบายในการตรวจสอบของงาน

2.ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมงานก่อสร้าง

อุตสาหกรรมงานก่อสร้างเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่มีมูลค่าสูงของประเทศ โดยมูลค่าการลงทุนก่อสร้างโดยรวมมีแนวโน้มขยายตัว 4.5-5.0% ในปี 2564 และ 5.0-5.5% ในปี 2565-2566 ปัจจัยขับเคลื่อนมาจากการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ของภาครัฐ โดยเฉพาะที่เกี่ยวเนื่องกับเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก ซึ่งจะเหนี่ยวนำการลงทุนก่อสร้างภาคเอกชนให้ขยายตัวตาม อาทิ นิคมอุตสาหกรรม รวมถึงภาวะเศรษฐกิจที่ทยอยฟื้นตัวจะหนุนการก่อสร้างที่อยู่อาศัยและอาคารเพื่อการพาณิชย์ นอกจากนี้ โอกาสทางธุรกิจยังเพิ่มขึ้นจากโครงการก่อสร้างในประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งมีการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานอย่างต่อเนื่องรองรับการเติบโตทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของความเป็นเมือง ซึ่งอุตสาหกรรมงานก่อสร้างนั้นได้มีความเกี่ยวข้องกับธุรกิจหลากหลายประเภท เช่น ผู้รับเหมาก่อสร้าง ผู้ผลิต และจัดจำหน่ายวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องจักรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง เป็นต้น ดังนั้นธุรกิจก่อสร้างจึงเป็นธุรกิจที่ค่อนข่างมีความซับซ้อนเนื่องจากการที่มีกลุ่มธุรกิจหลากหลายเข้ามามีส่วนในการดำเนินงานก่อสร้าง ความยากง่ายในแต่ละพื้นที่ทำให้บางครั้งต้องมีการประยุกต์เทคโนโลยี และเทคนิควิธีการต่างๆมาปรับใช้ สภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมในพื้นที่ดำเนินงาน และการทำงานที่ซึ่งต้องมีหลายฝ่ายเข้ามาเกี่ยวข้องในการดำเนินงานให้เสร็จสมบูรณ์

2.2 ประเภทของงานก่อสร้าง

2.2.1 งานก่อสร้างที่พักอาศัย (Residential Construction)

งานก่อสร้างที่พักอาศัยเป็นงานก่อสร้างสิ่งก่อสร้างเพื่อให้มนุษย์เข้าไปอยู่อาศัย ได้แก่ บ้าน อาคาร พาณิชย์ อาพาร์ทเม้นท์ และคอนโดนมิเนียมเป็นต้น

2.2.2 งานก่อสร้างพาณิชย์ (Building Construction)

งานก่อสร้างพาณิชย์เป็นงานก่อสร้างสิ่งก่อสร้างที่มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินธุรกิจ ได้แก่ งานก่อสร้าง อาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงพยาบาล เป็นต้น ซึ่งงานก่อสร้างประเภทนี้เป็นงานก่อสร้างที่พบได้บ่อยที่สุด

2.2.3 งานก่อสร้างทางด้านโยธา (Heavy Construction)

งานก่อสร้างทางด้านโยธาเป็นงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานภายในประเทศ ได้แก่ ถนน บ่อบำบัดน้ำเสีย เขื่อน และโรงไฟฟ้าเป็นต้น

2.2.4 งานก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรม (Specialized Industrial Construction)

งานก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรมเป็นงานก่อสร้างที่ต้องการความเชี่ยวชาญในด้านการวางแผนการก่อสร้าง และการออกแบบเฉพาะอุตสาหกรรมนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์และโรงไฟฟ้าพลังน้ำเป็นต้น

2.3 ประเภทของผนังภายใน

2.3.1 ผนังก่ออิฐ

เป็นผนังที่มีความคงทนแข็งแรง ง่ายต่อการยึดเจาะ แขวนสิ่งของต่างๆ แต่ก็แลกมาด้วยน้ำหนักที่มากทำให้ต้องก่อผนังตามแนวที่มีคานรองรับเท่านั้น อีกทั้งยังใช้เวลามากในการก่อ จึงไม่เป็นที่นิยมมากนักสำหรับต่อเติมกั้นห้องด้วยผนังประเภทนี้ในภายหลังหรือในคอนโด วัสดุที่

ใช้ก่อมีให้เลือกตั้งแต่อิฐมอญ อิฐมวลเบา อิฐขาว ซีเมนต์บล๊อก อิฐประสาน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดก็จะมีความแข็งแรง น้ำหนัก การป้องกันความร้อนที่ต่างกัน

รูปที่ 2.1 การก่ออิฐ

2.3.2 แผ่นผนังสำเร็จรูป (Q-CON Wall Panel)

แผ่นผนังสำเร็จรูปคือผนังคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ โดยมีการเสริมเหล็กตะแกรงชุบสีกันสนิมไว้ทั้งแผ่น ติดตั้งโดยนำแผ่นผนังมาประกบกันได้ทันที เนื่องจากแผ่นร่องลิ้นด้านข้างของผนังแต่ละแผ่นสามารถนำมาประกบกันได้พอดี สามารถตัดแต่งให้ได้ขนาดตามที่ต้องการได้ และสามารถกรีดแผ่นผนังเพื่อติดตั้งงานระบบได้อีกด้วย

2.3.3 แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูป (S Wall System)

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปคือระบบผนังที่หล่อจากคอนกรีตและเม็ดเซรามิกมวลเบา คุณภาพสูง มีการเสริมเหล็กภายใน แผ่นผนังทุกแผ่นมีการออกแบบให้มีรู้ด้านในเพื่อรองรับการติดตั้งงานระบบโดยสามารถร้อยท่อผ่านรูภายในผนังได้

2.3.4 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete System)

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปคือระบบผนังที่เกิดจากการหล่อ หรือเทคอนกรีตในแบบหล่อตามที่ลูกค้า ต้องการมีเจาะช่องสำหรับประตู หน้าต่าง งานระบบไฟฟ้าประปา และเสริมเหล็กภายในมาจากโรงงาน

2.3.5 ผนังอิฐมวลเบาเสริมโครงเหล็ก (FULFIL Wall)

ระบบผนังอิฐมวลเบาเสริมโครงเหล็ก FULFIL Wall เป็นระบบผนังหล่อในที่ โดยไม่ต้องแกะแม่แบบออก เรียกอีกอย่างว่า Stay-in-place-System หรือแบบกึ่งแห้งสำหรับการกั้นพื้นที่ภายในอาคารมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากผนังอิฐมวลเบา ด้วยการเสริมเหล็กกัลป์วาไนซ์ สามารถรับแรงการสั่นไหวของอาคารสูงได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถออกแบบได้ตามต้องการทั้งความหนาของผนัง ตั้งแต่ 9-20 ซม. และรูปแบบผนัง เช่น ใช้ในห้องน้ำ หรือห้องทั่วไป พร้อมออกแบบผนังเพื่อคุณสมบัติกันเสียงโดยเฉพาะ (STC ตั้งแต่ 35-66 dB) เช่นสามารถออกแบบผนังที่กันเสียงได้ 55dB ที่ความหนา 15 ซม. เทียบเท่ากับผนังก่อฉาบความหนา 20 ซม. เป็นต้น เหมาะกับงานที่มีการดีไซน์แบบห้องที่ซับซ้อน แต่ลดขั้นคอนการทำงานเมื่อเทียบกับการก่อฉาบทั่วไป

2.4 การประเมินคุณภาพของงานก่อสร้างผนังภายใน

2.4.1 การประเมินคุณภาพงานผนังในต่างประเทศ

ในประเทศสาธารณรัฐสิงค์โปร์ได้มีการจัดตั้ง The BCA Construction Quality Assessment System (CONQUAS) ระบบประเมินคุณภาพงานก่อสร้างของประเทศสาธารณรัฐสิงค์โปร์เป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพงานผนัง ซึ่งมีทั้งดูด้วยตาเปล่าและวัดค่าได้ แนวทางการตรวจประเมินคุณภาพงานผนังภายในของ QONQUAS ประกอบด้วยองค์ประกอบและรายละเอียดดังนี้ 1) งานฉาบต้องไม่มีรอยขีด สีคงที่สม่ำเสมอ พื้นผิวไม่ขุระ 2) ระดับและแนวผนัง แนวนอน ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้น้อยกว่า 3 มม. ต่อระยะผนัง 12 เมตร แนวตั้ง ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้น้อยกว่า 3 มม. ต่อระยะผนัง 10 เมตร ผนังมาบรรจบกันที่มุมฉากค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้น้อยกว่า 4 มม. ระยะ 300 มม. ผนังที่มาชนกันต้องตรงและชิดกับผนัง 3) รอยแตกร้าว ไม่มีรอยแตกร้าว ที่สามารถเห็นด้วยตาเปล่า 4) ความกลวง ไม่เกิดเสียงเมื่อเคาะ ไม่เกิดการแยกตัวออกตามแนวระนาบที่ขนาน กับพื้นผิว 5) ข้อต่อ ขอบและมุม ตรง

2.4.2 การประเมินคุณภาพงานผนังในประเทศไทย

ในประเทศไทยยังไม่มี การกำหนดเกณฑ์มาตรฐานกลางในการตรวจคุณภาพงานผนังภายในอาคารที่สามารถใช้ร่วมกัน ในประเทศ มีเพียงการกำหนดมาตรฐานในการตรวจคุณภาพงานก่อสร้างผนังภายในอาคารที่ใช้เฉพาะ องค์กรใดองค์กรหนึ่งหรือโครงการใดโครงการหนึ่งเท่านั้น แต่ได้มีงานวิจัยได้สรุปการประเมินคุณภาพงานผนังในประเทศไทยรายละเอียดดังนี้ (Chunyarat, 2018) 1) ระนาบ เรียบเนียน ไม่เป็นคลื่น ไม่แตกร้าว ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ±3 มิลลิเมตรต่อ ผนัง 1 ด้าน 2) แนวดิ่ง ไม่ล้มดิ่ง ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ±3 มิลลิเมตรต่อ ผนัง 1 ด้าน 3) ฉากและมุม ได้ฉากและมุม ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ช่วงระยะความยาว 300 มิลลิเมตรจากมุมผนัง ทั้ง 2 ด้าน 4) ระยะความกว้างและสูง กว้างและสูงตามแบบ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกิน ±3 มิลลิเมตรต่อผนัง 4 ด้าน

***2**.5 เครื่องมือตรวจสอบคุณภาพผนัง*

เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพงานผนังที่ใช้ในปัจจุบันมีหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งานของผู้ตรวจสอบงาน โดยในแต่ละเครื่องมือก็มีความแตกต่างทางด้าน ราคา เวลา ความละเอียด และวัตถุประสงค์ในการใช้ โดยอุปกรณ์ที่มีการใช้งานโดยทั่วไป มีดังนี้ 1.) ตลับเมตร 2.)ไม้บรรทัดเหล็ก3.)ระดับน้ำดิจิตอล 5.)ไม้บรรทัดฉาก 6.)ไม้บรรทัดวัดมุมดิจิตอล 7.)เครื่องเลเซอร์วัดดิ่งกำหนดแนวเส้น 8.)เครื่องวัดระยะ 9.)กล่องอลูมิเนียม 10)ดิ่ง

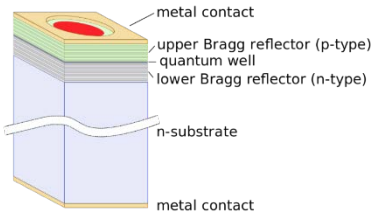
2.6 เทคโนโลยี IOT

IoT หรือ Internet of Things เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการนำระบบทางกลหรือระบบทางไฟฟ้าต่างๆในชีวิตประจำวันมาพัฒนาให้สะดวกขึ้นด้วยการควบคุมผ่านอินเตอร์เน็ต เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆมาอย่างต่อเนื่อง บางเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะกับสภาพการณ์ต่างๆที่แตกต่างกันไป เช่น สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศและวิถีชีวิตประจำวันของประชากรในประเทศนั้นๆ

2.6.1 VCSEL

VCSEL หรือ vertical-cavity surface-emitting laser เป็นเครื่องมือในการวัดระยะประเภทหนึ่งซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ Semi-conductor

เนื่องจากการทำงานของ VCSEL คือการปล่อยเลเซอร์เข้าไปหาพื้นผิว และวัดระยะจากจำนวน electron ที่กลับมา ดังนั้นถ้าพื้นผิวเป็นพื้นผิวที่มีการสะท้อนที่ต่างกันก็จะมีโอกาสทำให้ VSCEL ไม่สามารถวัดอย่างแม่นยำได้



รูปที่ 2.2 การทำงาน VCSEL

3.ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหากระบวนการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความเรียบผนัง โดยงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาเป็น 4 ส่วนหลักดังนี้ 1) ศึกษาข้อมูลด้านการตรวจสอบผนัง 2) ศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Board) และเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor) 3) การนำข้อมูลจากการจำลองการทดสอบกับวัตถุที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน ไปวิเคราะห์หาแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบความเรียบของผนัง 4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการตรวจสอบผนังด้วยเซนเซอร์วัดระยะกับเครื่องมือประเภทอื่น

3.1 การดำเนินการทดลอง

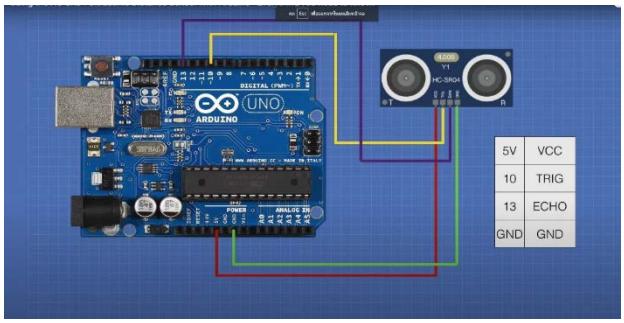
ศึกษาประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor) แต่ละประเภท เพื่อทำการเปรียบเทียบหาเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor) ที่มีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด และดำเนินการจัดซื้ออุปกรณ์

รูปที่ 3.1 เปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor)

หลังจากได้ทำการศึกษาคุณสมบัติ และประสิทธิภาพในการใช้งานของเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor) แต่ละประเภทแล้ว จึงได้ตัดสินใจเลือกทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานจริงของเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor) 2 ประเภทคือ อัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ (Ultrasonic) และ เซนเซอร์ที่มีเลเซอร์เปล่งพื้นผิวช่องแนวตั้ง (Vertical-cavity surface-emitting laser diodes หรือ VCSEL) เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการประยุกต์กับการตรวจสอบผนัง โดยอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ (Ultrasonic Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดระยะทางในช่วง 2–400 เซนติเมตร ได้ดีแม้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น ไซต์งานก่อสร้าง ซึ่งอาจมีเสียงรบกวน หรือมีแสงน้อยภายในบริเวณห้องปิด และมีราคาที่ถูกกว่าเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor) ประเภทอื่น โดยมีราคาอยู่ที่ประมาณ 40 บาท และเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor) อีกประเภทที่เรานำทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และความเหมาะสมในการใช้งานคือ เซนเซอร์ที่มีเลเซอร์เปล่งพื้นผิวช่องแนวตั้ง (VCSEL) โดยวัดระยะทางจากการวัดระยะเวลาในการสะท้อนกลับของสัญญาณ Time of Flight (ToF) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะทางในช่วง 0-20 เซนติเมตร และมีราคาที่สูงกว่า โดยมีราคาอยู่ที่ 450 บาท

3.2 ทดสอบ Ultrasonic SENSOR HC-04

จากการทดสอบเราจึงทราบได้ว่า Ultrasonic sensor HC-04 นั้นมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ที่จะนำมาใช้ในการวัดความเรียบผนังเนื่องจากมีค่าความผิดพลาดที่มากและไม่สามารถหาวิธีปรับแก้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เพียงพอ

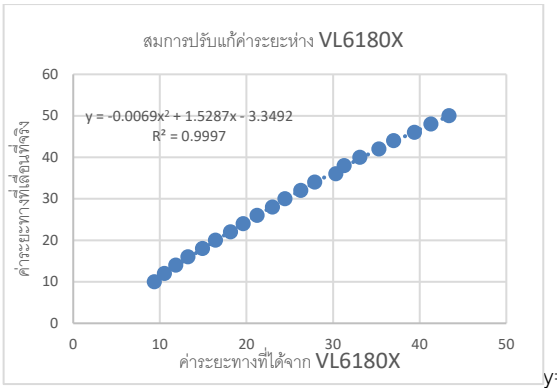


รูปที่ 3.2 การต่อวงจรอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ (Ultrasonic Sensor)

3*.3 ทดสอบ VCSEL SENSOR VL6180X*

3.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพ VCSEL SENSOR VL6180X

จากการทดสอบเราจึงทราบค่าที่ได้จากการวัดระยะห่างของ VCSEL SENSOR และได้ทำการปรับแก้เนื่องจากค่าที่ได้นั้นไม่ตรงกับความเป็นจริงแต่สามารถปรับแก้ด้วยสมการโพลิโนเมียล (Polynomial Equation)



y=(-

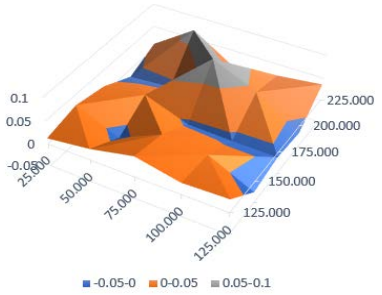
รูปที่ 3.3 กราฟสมการปรับเทียบ (Calibrated Equation)

0.0071*x^2)+(1.5135*x)-3.0765 (1)

ดังนั้นหากใช้สมการข้างต้นจึงจะได้ค่าที่สามารถใช้แทนค่าระยะทางจริงๆจากการวัดได้และควรกำหนดช่วงระยะในการใช้ ในการวัดเพื่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จากการทดสอบเราจึงเลือกช่วงระยะห่างที่นำมาใช้ในการวัดคือ 22 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในสมการโพลิโนเมียล และมีความคลาดเคลื่อนในช่วง ±6 มิลลิเมตรน้อยที่สุด

3.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพ VCSEL SENSOR VL6180X กับผนัง

หลังจากการปรับแก้เราจึงได้นำ VCSEL SENSOR ไปทำการทดสอบประสิทธิภาพในการวัดความเรียบของผนังในขั้นตอนต่อไป โดยการนำไปวัดความเรียบของผนังจริงเปรียบเทียบกับการ ทำ grid line โดยใช้เชือกและไม้บรรทัดในการวัดความเรียบของผนังตาม ตำแหน่งที่เส้นเชือกจัด ในแกน x และ แกน y แล้วจึงนำ VCSEL SENSOR VL6180X ไปทดสอบที่ตำแหน่งเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

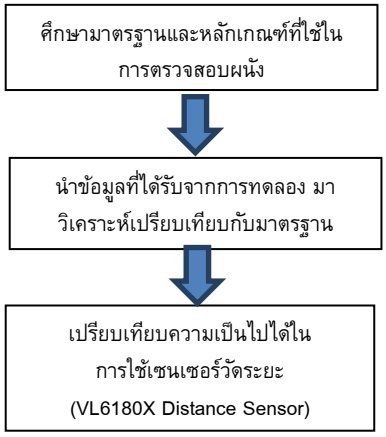


รูปที่ 3.4 3D surface ของผลต่างจากการวัดทั้ง 2 ;

แผนภาพพื้นผิว (3D-Surface) ของผลต่างของค่าที่ได้จากการทดสอบโดยไม้บรรทัดฉากสามเหลี่ยมกับค่าเฉลี่ยจากการทดสอบด้วยเซนเซอร์ทั้ง 3 ระยะ

4.ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบความเรียบของผนังด้วยเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) เปรียบเทียบกับมาตรฐานของการตรวจสอบความเรียบของผนังที่มีการใช้งานในปัจจุบัน เพื่อใช้ประกอบพิจารณาว่าเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือไม่ สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานในบทที่ 4 ได้ดังต่อไปนี้



4.1 การตรวจสอบความเรียบผนัง

ในการประเมินความเรียบของผนังต้องมีหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ เพื่อให้งานที่ออกมามีมาตรฐานรองรับอย่างชัดเจน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในการส่งมอบและตรวจสอบงานได้ ซึ่งจากการศึกษาสามารถสรุปแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพของผนังในประเทศไทย ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แนวทางในการตวจสอบความเรียบผนังในประเทศไทย

เกณฑ์การตรวจงาน (Criteria)	วิธีการ (Method)	เครื่องมือ (Tool)	ค่าการยอมรับความคลาดเคลื่อน (Tolerance)
งานระนาบ (ไทย)	- ใช้กล่องอลูมิเนียมหรือสามเหลี่ยมปาดปูนทาบไปที่ผนัง - ตรวจวัดความเรียบของผนังทั้ง 4 ด้าน โดยแบ่งช่วงผนังออกเป็นสามระดับ คือ บน กลาง และล่าง พิจารณาดูความนูนและเว้าของผนังให้อยู่ในความคลาดเคลื่อนที่กำหนด จุดเน้นที่สำคัญของงานระนาบคือจุดเข้างานฝาเพดาน จุดเข้างานบัว และจุดเข้างานเฟอร์นิเจอร์	- กล่องอะลูมิเนียม -สามเหลี่ยมปาดปูน - ระดับน้ำ - สายตา	± 3 มิลลิเมตร ต่อผนัง 1 ด้าน

4.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

4.2.1 การปรับเทียบ (Calibration)

จากการทดสอบซ้ำหลายครั้งในช่วงแรก พบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ ยังมีความคลาดเคลื่อนจากระยะทางจริงอยู่พอสมควร จึงแก้ไข โดยใช้สมการที่ (1) ในการปรับเทียบ (Calibration) กับค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor)

4.2.2 การทดสอบความถูกต้องของการวัด

เมื่อนำสมการที่ (1) มาใช้ในการปรับเทียบ (Calibration) แล้วจึงทำได้การทดสอบเพิ่มเติมกับกระดาษสี และเหรียญสิบบาท เพื่อตรวจสอบว่าสมการปรับเทียบสามารถทำให้ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) มีความถูกต้องมากขึ้น

Control			Coin		
22.55	22.53	22.38	23.49	22.85	23.01
22.91	22.37	22.63	23.42	22.96	22.82
22.67	22.44	22.57	22.88	22.21	22.01
22.66	22.28	22.51	22.7	21.84	22.23
22.69	22.28	22.61	21.47	21.28	20.86
22.54	22.24	22.34	19.68	20.09	19.56
22.46	22.53	22.56	19.23	19.06	19.3
22.7	22.27	22.66	19.69	19.24	19.11
22.73	22.57	22.41	19.62	19.12	19.43
22.31	22.44	22.8	19.32	19.16	19.43
22.44	22.38	22.71	19.24	19.21	19.04
22.47	22.24	22.56	19.55	19.01	19.02
22.85	22.61	22.69	19.82	19.15	19.16
22.87	22.52	22.5	19.46	19.41	19.27
22.78	22.61	22.55	19.63	19.09	19.28
22.66	22.62	22.81	19.55	19.23	19.2
22.66	22.61	22.81	20.57	19.81	19.96
22.61	22.52	22.69	22.01	21.18	21.11
22.75	22.75	22.56	23.38	21.67	22.29

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบระยะพื้นผิวเรียบกับพื้นผิวที่มีเหรียญสิบหนา 3 มม.

4.2.3 การทดสอบกับผนังจริง ภายในห้องพักนิสิตจุฬาฯ ตึกจำปา

เมื่อได้ทำการทดสอบซ้ำหลายครั้งจนเห็นว่าระยะที่ได้จากเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) มีความถูกต้องในระดับในยอมรับได้แล้ว จึงได้ทำการทดสอบกับผนังจริงภายในห้องพัก

โดยทำการกำหนดขอบเขตพื้นที่ผนังที่ต้องการทำการวัดด้วยการนำเชือกมาขึงเป็นช่องกริดขนาดช่อง 25 x 25 ซม. จากนั้นระบุตำแหน่งที่จุดตัดระหว่างเชือกแนวตั้ง และแนวนอนเป็นจุดที่ต้องการ

จากนั้นเริ่มทำการทดสอบด้วยไม้บรรทัดฉากสามเหลี่ยม และเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) โดยการวัดด้วยเซนเซอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงระยะเริ่มต้นระหว่างเซนเซอร์กับผนังที่ระยะ 2.0 ซม. 2.4 ซม. และ 2.6 ซม. ตามลำดับ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับการทดสอบด้วยไม้บรรทัดฉากสามเหลี่ยมดังตารางที่ 4.4

ความสูงจากพื้น (เซนติเมตร)	ระยะจากขอบผนัง (เซนติเมตร)				
	25	50	75	100	125
225	0.3	0.25	0.25	0.4	0.3
200	0.25	0.2	0.3	0.4	0.35
175	0.3	0.25	0.35	0.5	0.23
150	0.4	0.39	0.5	0.6	0.3
125	0.2	0.4	0.55	0.58	0.3

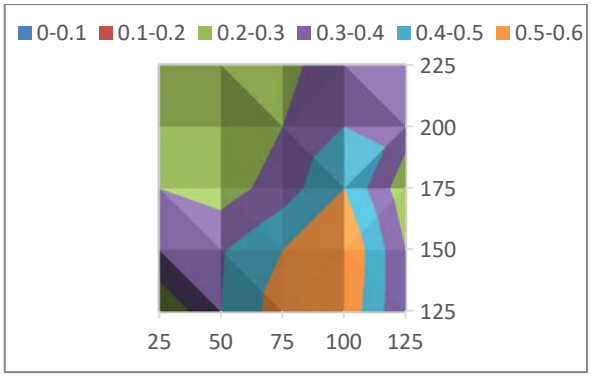
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความเรียบผนังด้วยไม้บรรทัดฉากสามเหลี่ยม

ความสูงจากพื้น (เซนติเมตร)	ระยะจากขอบผนัง (เซนติเมตร)				
	25	50	75	100	125
225	0.01	0.069	0.013	0.025	0.036
200	-0.017	-0.009	0.084	0.042	-0.017
175	0.015	0.028	-0.006	-0.01	-0.011
150	0.028	-0.012	0.031	0.022	-0.024
125	0.013	0.025	0.046	0.026	0.03

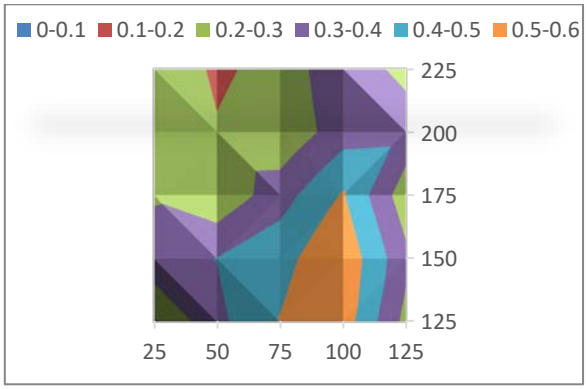
ตารางที่ 4.4 ค่าของผลต่างระหว่างผลการทดสอบด้วยไม้บรรทัดฉากสามเหลี่ยมเทียบกับค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้งของเซนเซอร์วัดระยะ

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่ามีพื้นที่หลายบริเวณของผนังที่มีค่าคลาดเคลื่อนของความเรียบเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดให้ไม่เกิน ± 3 มิลลิเมตร

และเมื่อเทียบผลต่างของการวัดด้วย 2 วิธีแล้วจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยมีเพียง 5 จาก 75 จุดที่ทำการทดสอบแล้วมีผลจากการวัดแตกต่างมากกว่า 1 มิลลิเมตร โดยหากสังเกตจากแผนภาพที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ชัดเจนว่าการวัดทั้ง 2 วิธีมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียว



รูปที่ 4.1 รูปร่างของผนัง (Contour) จากการทดสอบด้วยไม้บรรทัดฉาก



รูปที่ 4.2 รูปร่างของผนัง (Contour) จากการทดสอบเซนเซอร์

4.3 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบความเรียบของผนัง

4.3.1 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบความเรียบผนังด้วยเครื่องมือทั้งสองชนิดแสดงผลออกมาให้เห็นถึงแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันว่าผนังบริเวณภายในขอบเขตที่ทำการทดสอบนั้น มีความไม่เรียบอยู่หลากหลายจุดทั่วทั้งแผ่นผนัง

และเมื่อพิจารณาถึงผลการทดสอบจากเครื่องมือ 2 ประเภท จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 สามารถสังเกตได้ว่าผลการทดสอบจากเครื่องมือทั้ง 2 ประเภท แสดงผลไปในทิศทางเดียวกัน และส่วนใหญ่แสดงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร มีเพียงบางช่วงเท่านั้นที่ให้ผลลัพธ์ที่ต่างกันเกินกว่า 1 มิลลิเมตร ตัวอย่างเช่นบริเวณพื้นที่สีส้มดังรูปที่ 4.2

4.3.2 ประสิทธิภาพของเครื่องมือ

จากการทดลองใช้งานเซนเซอร์ในการวัดทั้งจากก่อนหน้าการวัดกับผนังจริง และจากการวัดผนังจริง หนึ่งสิ่งที่สังเกตได้ชัดเจนคือเซนเซอร์ (Sensor) สามารถแสดงผลได้ในสเกลที่ละเอียดมากขึ้นอยู่กับคำสั่งที่เราป้อนคำสั่งการไว้ในโปรแกรม (Adruino IDE) ดังนั้นค่าที่แสดงผลออกมามักมีการแกว่งไปมาอย่างรวดเร็ว หากสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ซึ่งจากการทดลองในช่วงการปรับเทียบ และการทดสอบความถูกต้องของการวัด เป็นการทดสอบโดยนำเซนเซอร์วัดระยะ มาวางอยู่ในสภาพนิ่ง ทำให้การทำงาน

สะดวก และรวดเร็วกว่าการทดสอบกับผนังจริง ซึ่งต้องใช้มือประคองแผ่นรางไม้บัลซ่าให้ตั้งฉากกับผนัง และไม่ให้เกิดการกระดกไปมา ซึ่งมีโอกาสทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปมาก

นอกจากเรื่องความถูกต้องของการวัด และความสะดวกของการใช้เครื่องมือแล้ว ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงประเด็นเรื่องของต้นทุน และระยะเวลาในการใช้งาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้รับเหมาให้ความสำคัญ

เครื่องมือ	เวลาที่ใช้ (นาที)
ไม้บรรทัดฉากสามเหลี่ยม	6
เซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor)	8

ตารางที่ 4.16 เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบความเรียบผนัง

เครื่องมือ	ราคา (บาท)
ไม้บรรทัดฉากสามเหลี่ยม	90
เซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor)	820

ตารางที่ 4.17 ราคาของเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

2. บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 วิเคราะห์การใช้งานเซนเซอร์วัดระยะ

เนื่องจากผู้ที่มีโอกาสสูงในการใช้งานเซนเซอร์วัดระยะนี้คือผู้รับเหมาก่อสร้าง (Contractor) ดังนั้นจึงกำหนดประเด็นในการวิเคราะห์ตามความสำคัญจากมุมมองของผู้รับเหมา ได้แก่ ความถูกต้องแม่นยำ ราคาต้นทุน ความสะดวกรวดเร็ว และความหลากหลายในการใช้งาน

5.1.1 ความถูกต้องในการวัด

เมื่อพิจารณาถึงผลการทดสอบจากการวัดทั้ง 2 วิธี สามารถสรุปได้ว่าผลการทดสอบจากเครื่องมือทั้ง 2 ประเภท แสดงผลไปในทิศทางเดียวกัน และส่วนใหญ่แสดงผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร มีเพียง 5 จาก 75 ที่แสดงผลลัพธ์ที่ต่างกันเกินกว่า 1 มิลลิเมตร

5.1.2 ปัจจัยด้านราคา

ในปัจจุบันเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) มีราคาที่ค่อนข้างต่ำเปรียบเทียบกับวิธีการวัดที่มีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ และในอนาคตมีแนวโน้มที่ราคาจะถูกลงอย่างต่อเนื่อง จากพัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าอยู่ตลอดเวลา

5.1.3 ความสะดวกรวดเร็ว

จากการทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบความเรียบผนังด้วยเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) มากกว่าการวัดด้วยไม้บรรทัดฉากสามเหลี่ยม

เนื่องมาจากการเขียนคำสั่งในโปรแกรม (Adruino IDE) ไม่ได้ถูกกำหนดให้เซนเซอร์ทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานเพียงพอตลอดการทดสอบ จึงมีช่วงที่การทำงานหยุดลง และต้องทำการเริ่มต้นประมวลผลใหม่

และอีกสาเหตุที่สำคัญคือการวัดด้วยเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) ต้องทำการกดให้แผ่นไม้บัลซา (Balsa Wood) แนบชิดกับผนังแบบขนานกัน ซึ่งหลายครั้งหากพื้นผิวของผนังไม่เรียบ มักทำให้ฐานแผ่นไม้บัลซา (Balsa Wood) โยกไปมา จึงต้องใช้ระยะเวลาในการถือจนกว่าจะนิ่งจนสามารถวัดค่าได้

5.1.4 ความหลากหลายในการทำงาน

เซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor) ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบการวัดความเรียบของผนังในงานวิจัยนี้ สามารถแยกองค์ประกอบออกมาได้หลายส่วน โดยองค์ประกอบหลักคือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ (Adruino UNO) และเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor Module) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานการวัดระยะในงานประเภทอื่นที่มีระยะอยู่ช่วงที่เซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor Module) สามารถวัดได้ดี และหากระยะทางที่ต้องการวัดไกลกว่านั้น สามารถนำโมดูลเซนเซอร์วัดระยะ (Distance Sensor Module) รุ่นอื่น ที่มีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการ โดยใช้บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ (Adruino UNO) ตัวเดิมในการควบคุมได้

5.2 ข้อเสนอแนะในการใช้งาน Arduino และ sensor ในการตรวจความเรียบของผนังในอนาคต

1) จากการใช้งานจริง มักจะพบปัญหาว่าแผ่นไม้บัลซา (Balsa) ที่เป็นฐานรองและสามารถเลื่อนสไลด์ปรับตำแหน่งของเซนเซอร์วัดระยะ (VL6180X Distance Sensor Module) นั้น สามารถเอียงกระดกไปมาไม่ตั้งฉากกับผนังอย่างที่ควรจะเป็น และการถือด้วยสามารถทำให้นิ่งได้ยาก

ดังนั้นจึงต้องพิจารณาหาทางแก้ไข เช่น ทำการติดตั้งระดับน้ำบนฐานแผ่นไม้บัลซา (Balsa) เพื่อตรวจสอบความฐานแผ่นไม้บัลซาอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับผนัง ซึ่งจะทำให้การวัดผลมีความถูกต้องมากขึ้น และประหยัดเวลาในการทำงานมากขึ้น

2) ปรับแก้คำสั่งในโปรแกรม (Adruino IDE) เนื่องจากคำสั่งเดิมที่เขียนมีการกำหนดให้ทำการวัดผลต่อเนื่องในจำนวนครั้งที่ไม่เพียงพอกับการทดสอบ จึงต้องเริ่มคำสั่งใหม่ ทำให้ระยะเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น และการทำงานไม่ต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทองอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้การ สนับสนุนและชี้แนะแนวทางการดำเนินการอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการสร้างขึ้นของดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ชัญญรัชต์ นิธิธีรพัชร์ ที่กรุณาเสียสละเวลาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จน ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่เป็นส่วนสำคัญในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้ ทำให้ดุษฎีนิพนธ์เล่มนี้สามารถ

บรรลุผลสำเร็จและ มีคุณค่ามากยิ่งขึ้นผู้วิจัยขอแสดงกตเวทิตาแด่บุพการีอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ค่อยเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน มอบความรักและกำลังใจตลอดจนให้การสนับสนุนในทุกๆด้านแก่ผู้วิจัยมาตั้งแต่เยาว์วัยมาจนถึงปัจจุบัน และขอขอบคุณทุกกำลังใจในครอบครัวที่เป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นที่จะประสบความสำเร็จตามความตั้งใจ นอกจากนี้ ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆในระดับชั้นที่คอยเป็นกำลังใจช่วยเหลือเกื้อกูลซึ่งกันแหละกันมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

[1] Building and Construction Authority. 2014. CONQUAS: The BCA Construction Quality

[2] Assessment System. Singapore: Building and Construction Authority.

[3] Chunyarat, Nititerapad. 2018. THE INNOVATIVE QUALITY INSPECTION OF INTERIOR WALL

[4] CONSTRUCTION IN THAILAND.

[5] Construction Industry Development Board Malaysia. 2006. Quality Assessment System for Building Construction Work. Malaysia: Construction Industry Development Board Malaysia.

[6] ความแตกต่างของผนัง Precast Concrete System, S-Wall System, FULFIL Wall และ Q-CON Wall. viewed 15 November 2020. <https://www.scgbuildingmaterials.com/th/LivingIdea/ArchitectLifestyle/Differencesof-Walls-from-SCG.aspx>

[7] คุณสมบัติของ SENSOR distance และความแตกต่าง <https://www.sparkfun.com/distance_sensor_comparison_guide>

[8] Ultrasonic Sensor distance viewed 10 January 2021. <https://mall.factomart.com/what-is-ultrasonic-sensor/>

[9] CODE ARDUINO Ultrasonic Sensor distance HC-SR40 viewed 10 January 2021. <https://www.arduitronics.com/?gclid=CjwKCAjw47eFBhA9EiwAy8kzNDfpFKrtzeCsUKdLq19vPzZjpOm8YmvIs9mkfwhxEXrktLIg1MzzyBoCLA4QAvD_BwE>

[10] เลเซอร์ VCSEL (เลเซอร์เปล่งพื้นผิวช่องแนวตั้ง) viewed 15 January 2021. <http://m.th.opticomfiber.com/info/vcsel-laser-vertical-cavity-surface-emitting-32239856.html>