

อุปกรณ์เฝ้าระวังการสั่นสะเทือน SEISMIC Monitor

¹ศิริธรรัตน์ ภูงามเงิน ¹อาณนกร วิวาสุข

ที่ปรึกษา: สกลเกียรติ ชันทอง

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารัตนราชวิทยาลัย บุรีรัมย์, ตำบลสตึก, อำเภอสตึก, จังหวัดบุรีรัมย์, 31150, ประเทศไทย

*อีเมลล์: 467Sirunratphungamgnern@pcshsbr.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้นุ่งศึกษาการสร้างเครื่องมือวัดแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีเพนดูลัม โดยใช้เซนเซอร์ MPU6050 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP-32 จำนวน 2 ชุด ชุดแรกส่งข้อมูลตรงสู่คอมพิวเตอร์ผ่าน Wi-Fi ส่วนชุดที่สองส่งผ่าน Google Sheet แล้วประมวลผลด้วยโปรแกรม "Seismic Monitor" ที่พัฒนาด้วย Visual Basic เพื่อบันทึกข้อมูลและแจ้งเตือนเมื่อค่าการสั่นเกินเกณฑ์ ผลการทดสอบโดยจำลองการสั่นสะเทือน 800 วินาที พบความผิดพลาดร้อยละ 6.00 ซึ่งเกิดจากความล่าช้าของชุดเซนเซอร์ที่ 2 (ผ่าน Google Sheet) ขณะที่ชุดที่ 1 ทำงานได้แม่นยำกว่าสรุปได้ว่าเครื่องมือต้นแบบนี้เหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนแผ่นดินไหวต่อไป โดยควรรับข้อมูลตรงจากอุปกรณ์มากกว่าผ่าน Cloud เพื่อความรวดเร็วและแม่นยำ

คำสำคัญ: เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน, แผ่นดินไหว, เพนดูลัม, เซนเซอร์ MPU6050, ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP-32

บทนำ

ในปีพุทธศักราช 2568 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 8.2 ริกเตอร์ โดยมีศูนย์กลางอยู่ในประเทศเมียนมา ซึ่งสร้างแรงสั่นสะเทือนรุนแรงจนส่งผลกระทบต่อหลายพื้นที่ของประเทศไทยทำให้อาคารสูงหลายแห่งได้รับความเสียหายและมีผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตจำนวนมาก

จากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาโดยการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่จะช่วยวัดการสั่นสะเทือนอันเนื่องจากแผ่นดินไหวและบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดเฝ้าระวังและส่งข้อความเพื่อเตือนภัยแผ่นดินไหวให้ทราบและจะได้หาวิธีการเอาชีวิตรอดได้อย่างปลอดภัยและทันเวลา

ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการวัดแรงสั่นสะเทือนโดยวิธีเพนดูลัมโดยใช้เซนเซอร์วัดความแตกต่างของพิคตของตำแหน่งเพนดูลัมเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนและมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเพนดูลัมการศึกษาครั้งนี้

เป็นการหากระบวนการสร้างเครื่องมือวัดขนาดของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแผ่นดินไหววิธีวัดเพนดูลัม ซึ่งเป็นการจำลองการสั่นสะเทือนของโลก ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นการสั่นสะเทือนของคลื่นตามแนวยาว (Primary Wave) หรือ เป็นการสั่นตามแนวขวาง (Secondary Wave) ทฤษฎี หรือ แนวคิดที่ใช้ทำ

โครงการวิจัย และคำนวณอ้างอิงจากสูตรมาตราขนาดโมเมนต์ (Moment Magnitude Scale: (M_w)) คำนวณจาก โมเมนต์ทางแผ่นดินไหว (M_0) ซึ่งบอกถึงพื้นที่การแตกหักของรอยเลื่อนและระยะทางของการเคลื่อนตัว

$$\text{สูตร } M_w = \frac{2}{3} \log_{10}(M_0) - 10.7$$

(1) การทำให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือการสั่นทำให้เกิดคลื่นความถี่และส่งผ่านพลังงานให้กับวัตถุ รอบๆ เกิดการสั่นขึ้นดังนั้นจึงนำแนวคิดที่นำพลังงานที่เกิดจากการสั่นถ่ายเทให้กับเพนดูลัมทำให้เกิดแอมพลิจูดของการสั่นความถี่คาบซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ต้องการวัดแอมพลิจูดของการสั่นและการวัดแอมพลิจูดของการสั่นโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเพนดูลัมความเร่ง ในแนวแกน x y และ z ซึ่งโดยปกติเพนดูลัมจะแกว่งด้วยความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่ง (2) ในการวิจัยครั้งนี้อาศัยเซนเซอร์ที่สามารถวัดความเร่งในแนวแกน x y และ z ซึ่งเซนเซอร์จะทำหน้าที่แปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและประมวลผลออกมาเป็นความเร่งในแต่ละแกน และ (3) การพัฒนาวงจรรับค่าแอมพลิจูดผ่านบอร์ดรับค่าไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งแบบที่ส่งมายังคอมพิวเตอร์โดยตรงแล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์รับข้อมูลที่ได้มาประมวลผลและแบบที่ส่งข้อมูลขึ้นไบน Google cloud ก่อนแล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์รับค่าลงมาประมวลผล

และวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการสร้างเครื่องมือวัดแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยใช้วิธีเพนดูลัม

วิธีการดำเนินงาน

1. การออกแบบเพนดูลัม

ออกแบบชุดเครื่องวัดการสั่นสะเทือนแบบเพนดูลัม ประกอบโครงสร้างให้มีความแข็งแรง และลงมือสร้างตามแบบการแกว่งของลูกตุ้ม

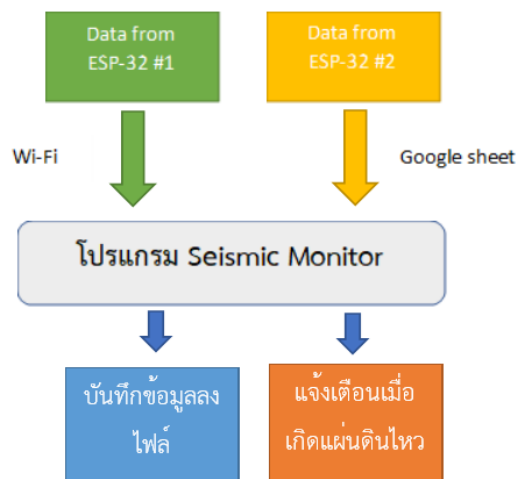
2. ออกแบบวงจรและโปรแกรม Seismic Monitor

ศึกษาแนวทางการเขียนโปรแกรม ติดตั้งโปรแกรม Visual Studio 2022 community แล้วเริ่มเขียนโปรแกรมแสดง วันที่ เวลา การรับข้อมูล การแสดงค่าข้อมูลออกทางจอคอมพิวเตอร์ การรับค่ารับข้อมูลจากบอร์ด ESP-32 ชุดที่ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ตไร้สาย และรับข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ 2 จากไฟล์ google sheet การอ่านข้อมูลลงมาเพื่อบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ และนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงพิกัดไปประมวลผลและคำนวณหาค่าผลต่างของพิกัด เพื่อตัดสินใจว่ามีการสั่นสะเทือนที่อุปกรณ์ชุดไหน คำนวณค่าการสั่นที่ได้ว่าเป็นค่าอันตรายหรือไม่ และประมวลผลส่งข้อความแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขึ้น และศึกษาการใช้งาน ESP-32 ในการอ่านค่าและรับค่าเข้าไปแสดงผล และเมื่อต่อและใช้งานอินเทอร์เน็ตเฟสกับโปรแกรม Visual basic 2022 แล้วจะต้องใช้อุปกรณ์อะไรบ้าง แล้วประกอบวงจร จากนั้นจึงออกแบบวงจรเซนเซอร์ MPU6050 เมื่อต่อเชื่อมกับ ESP-32 เพื่อรับข้อมูล ซึ่งเป็นโมดูลเซ็นเซอร์วัดการเคลื่อนไหว 6 แกน (6-axis motion tracking) ที่รวมไจโรสโคป (gyroscope) 3 แกน และ ตัว วัดความเร่ง (accelerometer) 3 แกน เข้าด้วยกัน และการใช้ Digital Motion Processor (DMP) ช่วยในการประมวลผลข้อมูล เมื่อมีการสั่นสะเทือน มักใช้ในงานที่ต้องการตรวจจับการเคลื่อนไหว 3 มิติ เขียนโปรแกรมบน Arduino IDE เวอร์ชัน 1.8.19 เพื่อรับและส่งค่าที่ได้จากเซนเซอร์ MPU6050 ชุดที่ 1 ลงบนบอร์ด ESP-32 เพื่อทำงานเสมือนเป็นฝั่งเซิร์ฟเวอร์ให้ไคลเอนท์เข้ามารับข้อมูล โดยให้มีการส่งข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์ MPU6050 ทุกๆ 1 วินาที และเขียนโปรแกรมบน Arduino IDE เวอร์ชัน 1.8.19 เพื่อรับและส่งค่าที่ได้จากเซนเซอร์ MPU6050 ชุดที่ 2 ลงบนบอร์ด ESP-32 แล้วส่งข้อมูลไปเก็บและบันทึกข้อมูลบน Google sheet โดยให้มีการส่งข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์ MPU6050 ทุกๆ 1 วินาที เพื่อรอการรับข้อมูลไปประมวลผลต่อไป จากนั้นประกอบวงจร ทั้ง 2 ชุด พร้อมทดสอบโปรแกรม Seismic Monitor เพื่อทดสอบอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อเก็บค่า

ความผิดพลาดและค่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว

3. หลักการทำงานของวงจร

ในการทดลองครั้งนี้สามารถเขียนไดอะแกรมในการออกแบบวงจรการรับส่งข้อมูลและการประมวลผลดัง



แผนภาพ

ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงการทำงานของชุดตรวจการเกิดแผ่นดินไหว

4. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เริ่มการทำงานโดยต่อไฟฟ้าให้กับวงจรเซนเซอร์ชุดที่ 1 และ วงจรเซนเซอร์ชุดที่ 2 ที่ชุดเพนดูลัม ตามวงจรดังภาพ ESP-32 จะสแกนหาไอพีแอดเดรสอัตโนมัติตามที่ติดตั้งโปรแกรมไว้ในโค้ด Arduino IDE แล้ววงจรเซนเซอร์ชุดที่ 1 จะส่งค่าไปที่คอมพิวเตอร์และวงจรเซนเซอร์ชุดที่ 2 จะส่งค่าไปที่ Google sheet ที่กำหนดไว้ทุกๆ 1 วินาที จากนั้นเรียกใช้งานโปรแกรม Seismic Monitor V.0.1a จากเครื่องคอมพิวเตอร์ จะมีหน้าต่างและอินเตอร์เฟซต่างๆ ดังภาพ แล้วคลิกที่ปุ่ม Sensor #1 และ Sensor #2 เพื่อเปิดรับข้อมูลและบันทึกค่าที่ส่งมาลงในไฟล์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลเมื่อมีการสั่นสะเทือนที่อุปกรณ์เซนเซอร์ชุดที่ 1 หรืออุปกรณ์ชุดที่ 2 จนถึงค่าที่ตั้งไว้โปรแกรมจะประมวลผลและส่งสัญญาณเตือนไปที่ไลน์ว่าเกิดเหตุแผ่นดินไหว และส่งสัญญาณเสียงแจ้งเตือนออกทางลำโพง สามารถดูข้อมูลที่วงจรเซนเซอร์ชุดที่ 1 และ วงจรเซนเซอร์ชุดที่ 2 ได้ทางโทรศัพท์โดยใช้เว็บเบราว์เซอร์

5. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลข้อมูล

ออกแบบโปรแกรมและเขียนเพื่อสร้างกระบวนการรับข้อมูลจาก ESP-32 ผ่านทางอินเทอร์เน็ตไร้สาย และสร้างชุดคำสั่งในการเขียนและบันทึกข้อมูลที่

รับมาประมวลผล แสดงข้อมูลออกทางอินเทอร์เน็ตเฟสเพจ แสดงค่า ประมวลผลเพื่อตัดสินใจว่าเป็นข้อมูลที่สนใจหรือไม่ และบันทึกข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงผลออกทางจอภาพ ส่งสัญญาณแจ้งเตือน ว่าเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เซนเซอร์ชุดไหน อยู่ที่ตำแหน่งไหน

6.ทดสอบการรับข้อมูลจาก ESP-32 จากอุปกรณ์ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ด้วยการรับค่า มีขั้นตอน ดังนี้

6.1 ทดสอบหาความผิดพลาดในการรับและส่ง ข้อมูลจากเซนเซอร์ชุดที่ 1 เป็นเวลา 300 วินาที ได้ จำนวน 300 ชุดข้อมูล และเขียนลงไปยังไฟล์ที่ตำแหน่ง C:\data\DataFromLocal.txt ผลการทดลองพบว่า ไม่มีความผิดพลาดในการรับและส่ง ข้อมูลที่บันทึกลงในไฟล์มี จำนวน 300 ชุดข้อมูล

6.2 ทดสอบหาความผิดพลาดในการรับและส่ง ข้อมูลจากเซนเซอร์ชุดที่ 2 จำนวน 300 ชุดข้อมูล โดยรับ ข้อมูลจาก google sheet ลงมาแสดงยังเครื่อง คอมพิวเตอร์และบันทึกไฟล์บนคอมพิวเตอร์ ชื่อว่า DataFromGGSHEET.txt ผลการทดลองพบว่า มีความ ผิดพลาดในการรับข้อมูลจาก Google sheet ลงมาแต่ไม่มีผลต่อการบันทึกเนื่องจากการบันทึกข้อมูลซ้ำๆ เนื่องจากข้อมูลถูกเขียนลงในไฟล์ใน Google sheet แต่ละชุดข้อมูลใช้เวลา 3 -6 วินาที ในแต่ละชุดข้อมูล

6.3 ทดสอบการส่งสัญญาณเตือนแผ่นดินไหวกับ อุปกรณ์ชุดที่ 1 โดยการจำลองการเกิดแผ่นดินไหวจำนวน 5 ครั้ง โดยการสุ่ม เป็นเวลา 100 วินาที ผลปรากฏว่า มีการส่งสัญญาณเตือนภัย 5 ครั้ง มีกระบวนการรับส่ง ข้อมูลและประมวลผล คิดเป็นร้อยละ 100

ครั้งที่	ชุด เซนเซอร์ ที่	ช่วง การส่ง วินาทีที่	การ บันทึก ข้อมูล	ผลการ แจ้ง เตือน
1.	1	10.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง
2.	1	30.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง
3.	1	50.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง
4.	1	70.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง

5.	1	95.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง
----	---	-------	---------------------	------------

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการสุ่มการเกิดการ สั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของอุปกรณ์ชุดที่ 1

6.4 ทดสอบการส่งสัญญาณเตือนแผ่นดินไหวกับ อุปกรณ์ชุดที่ 2 โดยการจำลองการเกิดแผ่นดินไหวจำนวน 5 ครั้ง เป็นเวลา 100 วินาที ผลปรากฏว่า มีการส่ง สัญญาณเตือนภัย 5 ครั้ง มีกระบวนการรับส่งข้อมูลและ ประมวลผล คิดเป็นร้อยละ 100

ครั้งที่	ชุด เซนเซอร์ ที่	ช่วงการ สั่น วินาทีที่	การ บันทึก ข้อมูล	ผลการ แจ้ง เตือน
1.	1	10.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง
2.	1	20.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง
3.	1	40.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง
4.	1	60.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง
5.	1	80.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบการสุ่มการเกิดการ สั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของอุปกรณ์ชุดที่ 2

7. ทดสอบการทำงานรับข้อมูลจากทั้ง 2 ชุดอุปกรณ์ พร้อมกัน

จำลองการสั่นสะเทือนจำนวนชุดเซนเซอร์ละ 10 ครั้ง สลับกันในแต่ละครั้ง ในเวลา 200 วินาที พบว่ามีความผิดพลาดในการทำงาน จากเซนเซอร์ชุดที่ 2 จำนวน 1 ครั้ง

ครั้งที่	ชุด เซนเซอร์ ที่	ช่วงการ สั่น วินาทีที่	การ บันทึก ข้อมูล	ผลการ แจ้ง เตือน
1.	1	10.00	มีการ บันทึก ข้อมูล	มีการ แจ้ง

2.	2	20.00	มีการบันทึกข้อมูล	มีการแจ้ง
3.	1	40.00	มีการบันทึกข้อมูล	มีการแจ้ง
4.	2	60.00	มีการบันทึกข้อมูล	มีการแจ้ง
5.	1	80.00	มีการบันทึกข้อมูล	มีการแจ้ง
6.	2	100.00	มีการบันทึกข้อมูล	ไม่มีการแจ้ง
7.	1	130.00	มีการบันทึกข้อมูล	มีการแจ้ง
8.	2	140.00	มีการบันทึกข้อมูล	มีการแจ้ง
9.	1	170.00	มีการบันทึกข้อมูล	มีการแจ้ง
10.	2	190.00	มีการบันทึกข้อมูล	มีการแจ้ง

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบการเกิดการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของอุปกรณ์ทั้ง 2 ชุดพร้อมกัน

8. ผลการทดสอบ

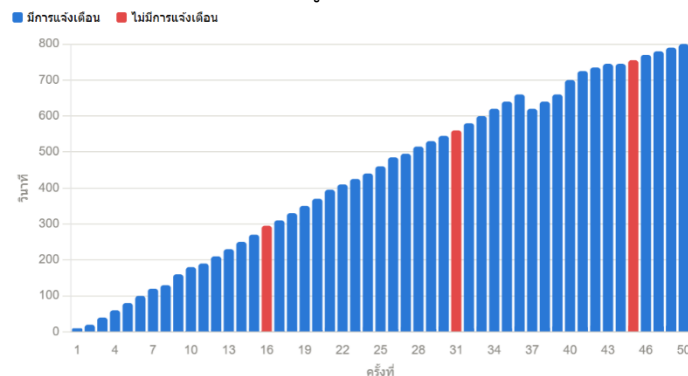
มีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากจุดรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตไม่ค่อยมีเสถียรภาพจึงปรับตำแหน่งให้สามารถรับส่งข้อมูลที่ดีขึ้นให้ดีขึ้น แต่การส่งข้อมูลไปยัง google sheet มีการบันทึกค่าที่ห่างกัน 5 - 6 วินาทีทำให้ไม่มีการแจ้งเตือน

ผลและอภิปรายผล

1. ผลการทำงาน ของวงจรและโปรแกรม Seismic Monitor เวอร์ชัน 1.0a

การทดสอบผลการทำงานทั้งระบบของชุดอุปกรณ์ ในการรับและส่งข้อมูลจากทั้ง 2 ชุดอุปกรณ์ พร้อมกัน และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Seismic Monitor โดยการจำลองการสั่นสะเทือนจำนวนชุดเซนเซอร์ละ 50

ครั้ง สลับกันในแต่ละครั้ง ในเวลาช่วงเวลา 800 วินาที พบว่ามีความผิดพลาดในการทำงาน 3 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 6.00 คือช่วงวินาทีที่ 295,560 และ 755 ไม่มีการเตือนภัย และไม่มีการบันทึกข้อมูล ดังตารางด้านล่าง



รูปที่ 1 กราฟแสดงผลการทดสอบการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของอุปกรณ์ทั้ง 2 ชุด

สรุปผล

ชุดเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบเพนดูลัม โดยใช้ลูกตุ้มที่มีมวล 295 กรัม ความยาวลูกตุ้ม 30 เซนติเมตร ยึดกับโครงเหล็ก มีฝาครอบที่เรียบรอยขีดข่วนและติดชุดเซนเซอร์ไว้ที่ลูกตุ้มให้แน่นและแข็งแรง วงบนพื้นที่แข็งแรงทนทาน ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรเซนเซอร์วัดใช้ ESP-32 และ MPU6050 ในการอ่านค่าจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของลูกตุ้มเมื่อมีการแกว่งเมื่อสั่นสะเทือน สามารถเชื่อมต่อกับระบบสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สายแบบอัตโนมัติ เคลื่อนย้ายตำแหน่งได้อย่างเหมาะสม โปรแกรม Seismic Monitor ที่รันบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 11 ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ มีหน้าจอและอินเตอร์เฟซที่เข้าใจง่าย คอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบเป็นพีซีแบบออลอินวัน ซีพียู i5 8400 แรมขนาด 8 กิกะไบต์ หน้าจอขนาด 20 นิ้ว และผลการวิเคราะห์ข้อมูลหลังเริ่มกระบวนการทั้งระบบ มีความผิดพลาดจากการทำงานของระบบ ร้อยละ 6.00 ซึ่งเกิดจากการบันทึกข้อมูลล่าช้าของชุดเซนเซอร์ที่ 2 ซึ่งเครื่องมือวัดนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์เป็นเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้

ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ พบว่าการเก็บข้อมูลต้องใช้ข้อมูลจากการอ่านค่าที่ถูกต้องแม่นยำจากอุปกรณ์โดยตรงแล้วนำเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์และประมวลผลด้วยโปรแกรม การอ่านหรือรับข้อมูลจาก Google cloud เป็นข้อมูลที่ล่าช้าไป 4 - 6 วินาทีซึ่งการประมวลผลไม่ถูกต้องถึงแม้จะสะดวกในการเก็บข้อมูล

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการเรื่อง Seismic Monitor ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยคำแนะนำและการสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษา คณะครู โรงเรียน รวมทั้งกำลังใจจากเพื่อนและผู้ปกครอง ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้การจัดทำบทความฉบับนี้สำเร็จด้วยดี ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความวิชาการฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับระบบ Seismic Monitor และหากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2569). การตรวจวัดแผ่นดินไหว. สืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2569, จาก <https://www.tmd.go.th/info/การตรวจวัดแผ่นดินไหว>
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2569). แผ่นดินไหว (Earthquake). สืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2569, จาก <https://www.tmd.go.th/info/แผ่นดินไหว>
- ภาสกร พาเจริญ. (2565). พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino ด้วย ESP32. กรุงเทพฯ: โปริวิชั่น.
- มิตรเอิร์ธ. (2566). เครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว (Seismometer). สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2569, จาก <https://www.mitrearth.org/4-37-seismometer/>
- ศูนย์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวทช.). (2568). เครื่องวัดความไหวสะเทือนทำงานอย่างไร. สืบค้นเมื่อ 27

มิถุนายน 2569, จาก

<https://www.stkc.go.th/stiarticle/เครื่องวัดความไหวสะเทือนทำงานอย่างไร>

- Ariat Technology. (n.d.). Optimizing performance with MPU-6050: setup, calibration, and applications. Retrieved June 27, 2026, from <https://th.ariattech.com/blog/optimizingperformance-with-mpu-6050-setup,calibration,and-applications.html>
- InvenSense Inc. (2013). MPU-6000 and MPU-6050 product specification (Revision 3.4). Sunnyvale, CA: InvenSense Inc. Retrieved June 27, 2026, from https://www.cdiweb.com/datasheets/invensense/mpu6050_datasheet_v3%204.pdf
- Michigan Technological University. (n.d.). Seismology: Earthquake epicenter. Retrieved June 27, 2026, from <https://www.mtu.edu/geo/community/seismology/learn/earthquake-epicenter/>
- U.S. Geological Survey. (n.d.). Earthquake magnitude, energy release, and shaking intensity. Retrieved June 27, 2026, from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquake-magnitude-energy-release-and-shaking-intensity>