

# การประเมินประสิทธิภาพการใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งเพื่อการทำแผนที่ถนนขรุขระ

สันติชัย บัวแก้ว<sup>1</sup> และ คัมภีร์ ชีระเวช<sup>2</sup>

<sup>1</sup> คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี

<sup>2</sup> อาจารย์วิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี

Email: Blackbog@hotmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทำแผนที่ถนนขรุขระของถนนด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร่ง โดยผู้วิจัยใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ArduPilot MEGA 2.5 (APM 2.5) ในการนำมาเก็บข้อมูลถนน โดยภายในฮาร์ดแวร์มีเซ็นเซอร์ที่สำคัญคือเซ็นเซอร์วัดความเร่งและเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม การศึกษาครั้งนี้ใช้เฉพาะข้อมูลจากเซ็นเซอร์ความเร่งมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลถนนขรุขระ โดยในการเก็บข้อมูลจะเก็บสองลักษณะคือการเก็บข้อมูลโดยอุปกรณ์ซึ่งจะมีพองน้ำรองที่อุปกรณ์และไม่มีพองน้ำรองที่อุปกรณ์ ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจะถูกนำมาทำให้เรียบด้วยเทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่โดยกำหนดขนาดหน้าต่างเท่ากับห้าสิบ จากนั้นทำการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็นสามช่วง คือ 0.00-0.33 หมายถึงถนนเรียบ, 0.34-0.66 หมายถึงขรุขระปานกลาง, และ 0.64-1.00 หมายถึงขรุขระมาก จากนั้นจึงเปรียบเทียบผลที่ได้กับสภาพพื้นที่จริงที่ผู้วิจัยกำหนดจุดเปรียบเทียบตลอดเส้นทางทุก ๆ สิบเมตร โดยสรุปพบว่าการวัดความขรุขระด้วยเซ็นเซอร์ความเร่งให้ผลที่ดี

## ABSTRACT

An objective of this study is to evaluate a performance of using accelerometer for mapping road roughness. This study uses a ArduPilot MEGA 2.5 (APM 2.5), a UAV flight controller, to collect the acceleration data along the study area, which have multiple roughnesses. In addition, a simple sponge is also used to study effects of vibration on the device. The acceleration along the Z-axis is normalized and splitted into three classes: low, medium and high. Finally, the roughnesses are evaluated with the ground truth data collected by researchers

**คำสำคัญ** วัดถนนขรุขระ; เซ็นเซอร์ความเร่ง;

ArduPilot MEGA 2.5;

## 1. บทนำ

ถนนเป็นเส้นทางที่ใช้ในการสัญจรไปมาทั้งทางเดินเท้า รถจักรยานยนต์ หรือรถยนต์ก็ใช้ถนนในการเดินทางทั้งสิ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะเวลาในการใช้งานของถนนที่นานขึ้นและหนักขึ้นก็ทำให้ถนนมีสภาพทรุดโทรมไปตามการเวลาและการใช้งาน

ในการตรวจสอบความเสียหายด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความขรุขระของผิวถนนที่มีสามารถตรวจสอบความเสียหายของถนนที่มีมาตรฐานในการตรวจสอบสภาพพื้นผิวของถนนได้ถูกต้องและแม่นยำโดยประกอบด้วยอุปกรณ์เทคโนโลยีหลายอย่าง เช่น เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ เครื่องวัดระยะทาง อุปกรณ์อื่นอีกหลายชนิด และเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (accelerometer sensor) เป็นต้น

เนื่องด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ใช้ในการวัดความขรุขระ ดังนั้นถ้าหากว่าใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งเพียงอย่างเดียวจะสามารถบอกอะไรได้บ้าง

## 2. วัตถุประสงค์

- 1) พัฒนาอุปกรณ์ด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร่งเพื่อทำการวัดความขรุขระของถนน
- 2) ประเมินความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ทำการวัดความขรุขระของถนน

## 3. บทบาทวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการเรื่องการประเมินประสิทธิภาพการใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งเพื่อการทำแผนที่ถนนขรุขระที่จัดทำขึ้นในส่วนของบทนี้

จะกล่าวถึงส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งผู้จัดทำได้ศึกษารวบรวมเนื้อหาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

### 3.1. ถนน



รูปที่ 1 รูปถนน

จากรูปที่ 1 ในรูป (ก) จะเป็นรูปตัวอย่างของถนนลาดยางและในรูป (ข) จะเป็นรูปตัวอย่างของถนนคอนกรีตซึ่งเป็นทางสัญจรในทางบกกระหว่างสถานที่สองแห่ง ที่ได้รับการปูพื้นผิว หรือได้รับการปรับปรุงเพื่อให้การเดินทางทางเท้าหรือยานพาหนะต่าง ๆ รวมถึงม้า เกวียน จักรยาน และยานยนต์ โดยลักษณะของถนนออกเป็นสามประเภท คือ ถนนลาดยาง ถนนคอนกรีต และถนนลูกรัง ซึ่งผิวถนนที่ทำการสร้าง จะนิยมสร้างด้วยคอนกรีตหรือลาดยาง ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน

### 3.2. ArduPilot Mega 2.5



รูปที่ 2 ArduPilot MEGA 2.5 (APM 2.5)

จากรูปที่ 2 เป็นชุดขับเคลื่อนอัตโนมัติซึ่งเป็นระบบ Autopilot โอเพนซอร์สที่สมบูรณ์และเป็นเทคโนโลยีที่ขยาดที่สุดซึ่งได้รับรางวัลการแข่งขัน UAV ในปี 2012 รุ่นนี้พร้อมใช้งานโดยไม่จำเป็นต้องประกอบ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนปีกหมุนหรือปีกหมุนได้หลายรูปแบบ ลงในยานพาหนะที่ได้อย่างอิสระเต็มที่ สามารถทำการติดตั้งระบบ GPS เพื่อบังคับอัตโนมัติโดยเชื่อมต่อกับโปรแกรมไปยังจุดที่กำหนดไว้

### 3.3. โปรแกรม Matlab



รูปที่ 3 โปรแกรม Matlab

จากรูปที่ 3 Matlab เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Computing: อธิบายด้านล่าง) แสดงผลกราฟฟิก และเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้เราสามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง และแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมาก ภายในตัวของโปรแกรม Matlab ประกอบไปด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ ทูลบ็อกซ์ (Toolbox: กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชา) และฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธีพร้อมกับคำตอบที่รวดเร็วกว่าโปรแกรมตารางคำนวณ (Spreadsheet) หรือภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น C, C++, Fortran, Java และอื่นๆ

### 3.4. โปรแกรม Quantum GIS



รูปที่ 4 โปรแกรม Quantum GIS

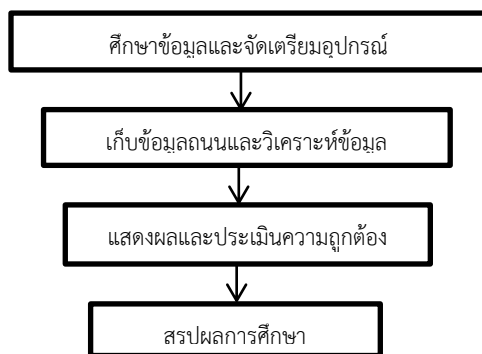
จากรูปที่ 4 Quantum GIS หรือ QGIS เป็นโปรแกรม Desktop GIS ประเภทหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้จัดการข้อมูลปริภูมิจัดอยู่ในกลุ่มซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Free and Open Source Software: FOSS) ที่ใช้งานง่าย ลักษณะการใช้งานเป็นแบบ Graphic User Interface ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการเรียกใช้ข้อมูลภาพ ข้อมูลตาราง การแสดงผลตาราง การแสดงผลกราฟ ตลอดจนสามารถสืบค้นข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอข้อมูลได้ในรูปแบบแผนที่ที่สามารถเรียกใช้ข้อมูลเวกเตอร์แรสเตอร์ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานแพร่หลาย

### 3.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ. 2559 Jakob Eriksson และคณะ ได้ศึกษาเรื่อง การใช้เครื่องมือถือการตรวจสอบพื้นผิวถนน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบและรายงานสภาพพื้นผิวถนน โดยใช้คอเลกชันของยานพาหนะที่มีอุปกรณ์เซนเซอร์ครบครัน โดยเรียกระบบนี้ว่า Pothole Patrol (P2) ในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการสั่นสะเทือนและข้อมูลจีพีเอสและการประมวลผลข้อมูลเพื่อประเมินสภาพพื้นผิวถนน ซึ่งผู้ทำวิจัยได้นำหลักการดังกล่าวไปใช้กับรถแท็กซี่ที่ทำงานอยู่ในพื้นที่ของบอสตัน โดยใช้วิธีการในการระบุหลุมบ่อและพื้นผิวถนนจากข้อมูล accelerometer ที่มีรูปร่างผิดปกติ จากข้อมูลที่ได้รวบรวมจัดเก็บ จึงสามารถที่จะสร้างเครื่องตรวจจับตรวจสอบถนนที่ดีว่ามีหลุมบ่อน้อยกว่า 0.2 % ของเวลา ในการประเมินระบบข้อมูลจากหลายพันกิโลเมตรของการขับรถแท็กซี่ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถประสบความสำเร็จในการตรวจสอบจำนวนของหลุมบ่อจริงในพื้นที่ของบอสตันเพื่อลดการตรวจจบบการปลอมคู่มือการตรวจสอบหลุมบ่อและจากรายงานแสดงให้เห็นว่ากว่า 90 % มีความผิดปกติบนท้องถนนมีความต้องการการซ่อมแซมของถนน

### 4. วิธีการดำเนินงาน

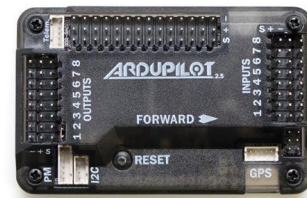
ในส่วนของวิธีการดำเนินงานจะเป็นการนำ ArduPilot MEGA 2.5 (APM 2.5) มาทำการเก็บข้อมูลถนนซึ่งจะเก็บในบริเวณรอบมหาวิทยาลัยที่ทำการทดลองโดยจะใช้ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร็วและ GPS มาทำวิเคราะห์และแสดงผลตำแหน่งความขรุขระบนแผนที่จากนั้นจะทำการตรวจสอบและประเมินความถูกต้องของผลที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายก็จะเป็นการสรุปผลการศึกษามีแนวคิดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แนวคิดของงานวิจัย

### 4.1 ศึกษาข้อมูล จัดเตรียมอุปกรณ์

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์จะใช้ในการวัดความขรุขระของถนนโดยใช้ ArduPilot MEGA 2.5 (APM 2.5) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ArduPilot MEGA 2.5 (APM 2.5)

โดยส่วนประกอบของ ArduPilot MEGA 2.5 ซึ่งภายใน ArduPilot MEGA 2.5 จะประกอบไปด้วย Barometer, Gyro, Magnetometer, Accelerometer และ GPS ซึ่งข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร็วและ ข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GPS จะนำมาทำการวิเคราะห์บอกความขรุขระของถนน

เซ็นเซอร์วัดความเร็ว คือ เครื่องวัดความเร็ว ของการเคลื่อนที่ของวัตถุ (ในหน่วย m/s<sup>2</sup>) โดยจะมีหลักการทำงานในการวัดค่าของแกนสามแกน คือ แกน X แกน Y และแกน Z ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลของแกน Z เพียงแกนในวิเคราะห์ข้อมูลของความขรุขระ

GPS อุปกรณ์รับสัญญาณระบุพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลก เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบุพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลก โดยจะใช้ในการเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งของพื้นที่ที่ทำการศึกษา ข้อมูลวันและ เวลา เพื่อใช้บอกตำแหน่งของถนนที่ได้ทำการเก็บข้อมูลของพื้นที่

### 4.2 การเก็บข้อมูลถนน

ในการเก็บข้อมูลจะเป็นการนำอุปกรณ์มาทำการเก็บข้อมูลถนนโดยจะวิ่งเก็บข้อมูลของถนนในเส้นรอบมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนที่เส้นถนนที่ทำการเก็บข้อมูล

จากรูปที่ 7 ในเส้นสีแดงบนแผนที่จะเป็นเส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลถนนซึ่งในถนนเส้นนี้มีทั้งถนนขรุขระและไม่ขรุขระดังตัวอย่างในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นรูปตัวอย่างลักษณะของถนนที่ทำการเก็บข้อมูลโดยจะประกอบไปด้วยถนนในลักษณะต่อไปนี้ ถนนลาดยางดังรูปที่ 8 (ก) รูปถนนลาดยาง, ถนนคอนกรีตดังรูปที่ 8 (ข) รูปถนนคอนกรีต, ถนนลูกรังดังรูปที่ 8 (ค) รูปถนนลูกรัง และถนนชำรุดดังรูปที่ 8 (ง) รูปถนนชำรุด



(ก) ถนนลาดยาง



(ข) ถนนคอนกรีต



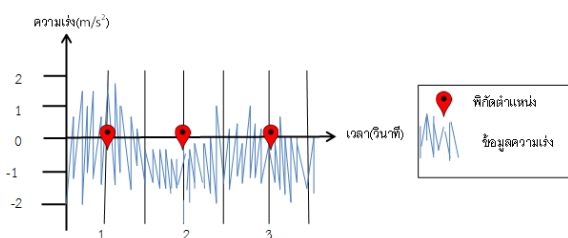
(ค) ถนนลูกรัง



(ง) ถนนชำรุด

รูปที่ 8 ภาพถนนประเภทต่างๆ

ขั้นต่อไปจะเป็นแนวคิดในการเก็บข้อมูลดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นแนวคิดก่อนการเก็บในแกน X จะเป็นค่าของเวลา ในแกน Y จะเป็นค่าของความเร่ง จุดสีแดงจะเป็นตำแหน่งพิกัด เส้นสีฟ้าจะเป็นเส้นข้อมูลความเร่ง



รูปที่ 9 แนวคิดในการเก็บข้อมูล

โดยจะเก็บข้อมูลของเซ็นเซอร์ความเร่งและพิกัดตำแหน่งไปพร้อมกันในขณะที่พาหนะเคลื่อนที่ เส้นของแกว่งมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเร็วของอุปกรณ์ ซึ่งในขณะที่รถเคลื่อนที่เก็บข้อมูลในทุกๆ 1 วินาทีจะได้ ข้อมูลพิกัด 1 พิกัด และข้อมูลความเร่งประมาณ 100 ข้อมูลเคลื่อนที่ โดยจะใช้รถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะในการเก็บข้อมูลโดยให้คนหนึ่งเป็นคนขี่

รถจักรยานยนต์และคนซ้อนเป็นคนถืออุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์จะวางอยู่บนโน้ตบุ๊กที่โดยคนซ้อนถือดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ภาพการเก็บข้อมูล

ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลในสองลักษณะ คือการเก็บข้อมูลแบบมีพองน้ำร่องที่ตัวอุปกรณ์ในรูปที่ 11 รูป (ก) และการเก็บข้อมูลแบบไม่มีพองน้ำร่องที่ตัวอุปกรณ์ในรูปที่ 11 รูป (ข) โดยจะทำการวิ่งเก็บข้อมูลเป็นจำนวนสองรอบ ให้รอบแรกเป็นการเก็บข้อมูลแบบมีพองน้ำร่องที่ตัวอุปกรณ์และรอบที่สองเป็นแบบไม่มีพองน้ำร่องที่ตัวอุปกรณ์ ดังรูปที่ 11



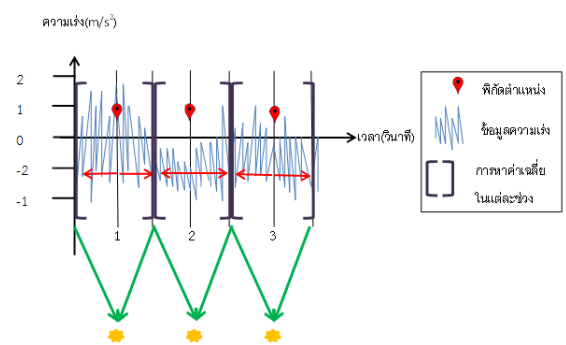
(ก)



(ข)

รูปที่ 11 การเก็บข้อมูลแบบมีพองน้ำร่องและไม่มีพองน้ำร่อง

เนื่องจากว่าข้อมูลความเร่งมีจำนวนมากจึงต้องทำการหาค่าเฉลี่ยให้เหลือข้อมูลเดียวเพื่อนำไปใช้กับข้อมูลพิกัดตำแหน่ง โดยแบ่งช่วงข้อมูลแต่ละช่วงในลักษณะของหน้าต่าง



รูปที่ 12 แนวคิดในการหาค่าเฉลี่ยความเร่ง

ในครั้งนี้ได้กำหนดขนาดความกว้างของหน้าต่างในการทดลอง 4 ขนาด คือ 20, 50, 100 และ 200 โดยจะดึงข้อมูลจากทางซ้ายและทางขวาข้อมูลที่ตั้งมาจะนำไปหาค่าเฉลี่ย ซึ่งใช้เทคนิคในลักษณะของ Moving Average ดังรูปที่ 12

จากข้อมูลที่ถูกทำการหาค่าเฉลี่ยเรียบร้อยแล้วจะนำไปใช้ในการกำหนดระดับความขรุขระซึ่งจะแบ่งออกเป็นสามระดับคือเรียบ ปานกลาง และขรุขระ ซึ่งจะกำหนดเป็นจุดสีต่างช่วงค่าของข้อมูล โดยให้ข้อมูลที่เป็นจุดสีแดงในค่าช่วง 0.00 – 0.33 แทนถนนเรียบ, จุดสีเขียวในค่าช่วง 0.34 – 0.66 แทนถนนขรุขระปานกลาง และจุดสีแดงในค่าช่วง 0.67 – 1.00 แทนถนนขรุขระดังตาราง 1.

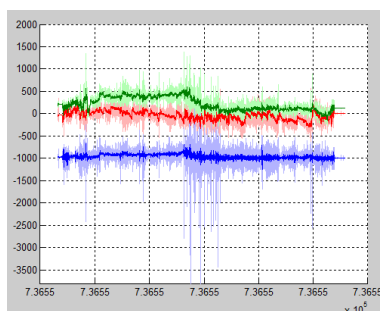
ตาราง 1. ตารางกำหนดข้อมูล

ระดับ	ช่วงค่าข้อมูล	กำหนดสี	ถนน
1	0.00-3.33	●	เรียบ
2	0.34-0.66	●	ปานกลาง
3	0.67-1.00	●	ขรุขระ

ซึ่งจะทำการลงพื้นที่สำรวจสภาพของถนนจริงกับข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์

## 5. ผลการทดลอง

จากการทดลองในการชี้รถจักรยานยนต์รอบมหาวิทยาลัยเป็นจำนวน 2 รอบโดยแบ่งเป็นแบบมีพองน้ำร่องอุปกรณ์วัดความเร่งและแบบไม่มีพองน้ำร่อง ได้แสดงผลในรูปแบบของกราฟในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การแสดงผลข้อมูล

ในเส้นสีกราฟสีแดงจะเป็นข้อมูลความเร่งของแกน X, ในเส้นของกราฟสีเขียวจะเป็นข้อมูลความเร่งในแกน Y และในเส้นของกราฟสีน้ำเงินจะเป็นข้อมูลความเร่งในแกน Z โดยในเส้นสีอ่อนนั้นจะเป็นข้อมูลดิบที่ได้จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลและในเส้นสีเข้มจะเป็นข้อมูลที่ทำการหาค่าเฉลี่ยแล้วข้อมูลในส่วนนี้จะถูกนำไปแสดงเป็นข้อมูลความขรุขระบนแผนที่ซึ่งในรูปที่ 14 (ก) จะเป็นรูปแผนที่ที่แสดงความขรุขระบนถนนแบบมีพองน้ำร่องที่ตัวอุปกรณ์และในรูปที่ 14 (ข) จะเป็นรูปแผนที่ที่แสดงความขรุขระบนถนนแบบไม่มีพองน้ำร่องที่ตัวอุปกรณ์



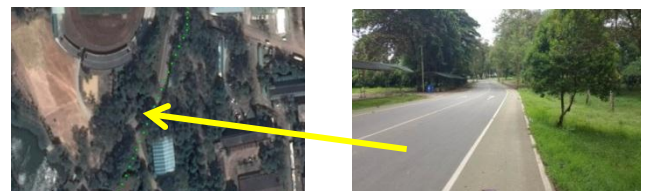
(ก)



(ข)

รูปที่ 14 การแสดงผลข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์จะนำตรวจสอบความถูกต้องว่าข้อมูลมีความถูกต้องตรงกับพื้นที่จริงหรือไม่จากตัวอย่างในรูปที่ 14 เป็นรูปตัวอย่างของการตรวจสอบความถูกต้องในพื้นที่ซึ่งตรงกับสภาพความเป็นจริง

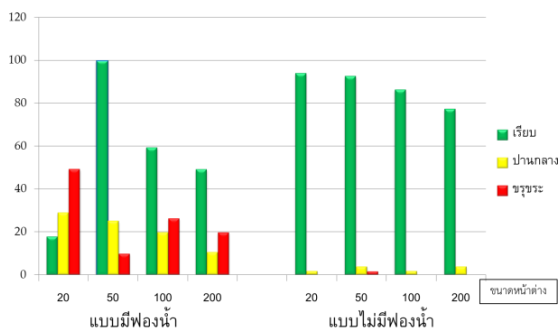


รูปที่ 15 การตรวจสอบความถูกต้อง



## 6. การประเมินความถูกต้อง

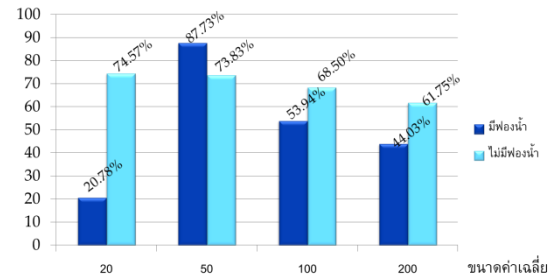
ในการประเมินความถูกต้องจากกราฟข้อมูลซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนสองรอบโดยในรอบแรกใช้ฟองน้ำรองที่อุปกรณ์และรอบที่สองไม่ได้ใช้ฟองน้ำรองที่อุปกรณ์โดยจะแสดงข้อมูลความถูกต้องของถนนทั้งสามประเภท คือ กราฟแท่งสีเขียวแทนถนนเรียบ กราฟแท่งสีเหลืองแทนถนนขรุขระปานกลาง และกราฟแท่งสีแดงแทนถนนขรุขระมาก ซึ่งได้ทำการทดลองกับช่วงความกว้างของขนาดหน้าต่างทั้งสี่ขนาด คือ 20, 50, 100 และ 200



รูปที่ 16 กราฟประเมินความถูกต้องของถนนทั้งสามประเภท

จากกราฟในรูปที่ 16 เป็นการแสดงความถูกต้อง ทางด้านซ้ายกราฟแท่งสีเขียว แบบมีฟองน้ำขนาด 50 ได้ให้ความถูกต้องมากที่สุดและขนาด 20 ได้ให้ความถูกต้องน้อยที่สุด, กราฟแท่งสีเหลืองแบบมีฟองน้ำขนาด 20 ได้ให้ความถูกต้องมากที่สุดและขนาด 200 ได้ให้ความถูกต้องน้อยที่สุดและกราฟแท่งสีแดงแบบมีฟองน้ำขนาด 20 ได้ให้ความถูกต้องมากที่สุดและขนาด 50 ได้ให้ความถูกต้องน้อยที่สุด ส่วนทางด้านขวากราฟแท่งสีเขียว แบบไม่มีฟองน้ำขนาด 20 ได้ให้ความถูกต้องมากที่สุดและขนาด 200 ได้ให้ความถูกต้องน้อยที่สุด แต่กราฟแท่งสีเหลืองและสีแดงแบบไม่มีฟองน้ำแทบจะไม่มีค่าความถูกต้องเลย

เมื่อเปรียบเทียบกราฟแบบมีฟองน้ำและไม่มีฟองน้ำจะเห็นว่าความถูกต้องของถนนเรียบแบบมีฟองน้ำส่วนใหญ่ถูกมากกว่าแบบมีฟองน้ำแต่ในส่วนความถูกต้องของถนนขรุขระปานกลางและขรุขระมากแบบมีฟองน้ำได้ให้ความถูกต้องมากกว่าแบบไม่มีฟองน้ำซึ่งแบบไม่มีฟองน้ำไม่มีความถูกต้องในส่วนนี้เลยโดยรวมแล้วข้อมูลของแบบมีฟองน้ำรองให้ความถูกต้องมากกว่าแบบไม่มีฟองน้ำรอง



รูปที่ 17 กราฟประเมินความถูกต้องโดยรวมของถนนทั้งสามประเภท

จากกราฟในรูปที่ 17 จะเป็นความถูกต้องรวมของถนนทั้งสามประเภทเห็นได้ว่ากราฟแท่งสีฟ้าส่วนใหญ่มีความถูกต้องมากกว่ากราฟแท่งสีน้ำเงิน ซึ่งความถูกต้องของกราฟแท่งสีฟ้าอยู่ในช่วงประมาณ 60-75 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้องของกราฟแท่งสีน้ำเงินอยู่ในช่วงประมาณ 20-80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความถูกต้องนี้อาจจะยังไม่ใช้ความถูกต้องที่แน่นอนยังมีปัจจัยในส่วนอื่นๆอีกที่ส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูล

## 7.อภิปราย

ในส่วนอภิปรายนี้ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบมีฟองน้ำและไม่มีฟองน้ำรองที่อุปกรณ์โดยการนำค่าของแกน XYZ เข้าวิเคราะห์หาความถูกต้องแล้วนำความถูกต้องทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับความถูกต้องของแกน Z เพียงแกนเดียว

ตาราง 2. ตารางเปรียบเทียบความถูกต้อง

ขนาดช่วง ค่าข้อมูล	ความถูกต้องทั้งหมด			
	แบบมีฟองน้ำรอง		แบบไม่มีฟองน้ำรอง	
	Z	XYZ	Z	XYZ
20	20.78%	74.52%	74.57%	59.47%
50	87.73%	22.28%	73.83%	40.57%
100	53.94%	error	68.50%	44.55%
200	44.03%	error	61.75%	39.27%

จากตารางที่ 2 ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลที่มีอยู่ในแบบมีฟองน้ำและแบบไม่มีฟองน้ำระหว่างค่าแกน Z แกนเดียวกับค่าแกน XYZ โดยความถูกต้องของแบบมีฟองน้ำรองแกน Z แกนเดียวขนาด 50 ได้ให้ความถูกต้องมากที่สุดและ

ความถูกต้องของแบบไม่มีพองน้ำรองขนาด 20 ได้ให้ความถูกต้องมากที่สุดแต่จากตารางข้อมูลในแกน XYZ ของแบบมีพองน้ำรองข้อมูลทีขนาด 100 และ 200 ยังมีความผิดพลาดอยู่ซึ่งความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นในขณะที่ทำการเก็บข้อมูลสายต่ออุปกรณ์อาจจะเคลื่อนทำให้ไม่สามารถบันทึกข้อมูลได้ซึ่งยังจะต้องทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

นอกจากนี้ยังพบปัญหาหลักๆอยู่ 5 ปัจจัย

- ในเรื่องของโซลาร์ แรงสปริงของโซลาร์ที่อุปกรณ์ได้รับนั้นส่งผลต่อข้อมูลความเร่งที่ได้
- ความเร็ว ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ส่งผลต่อข้อมูลความเร่งที่ได้
- การติดอุปกรณ์กับตัวรถ ในการทดลองนี้ได้วางอุปกรณ์ไว้บนตักคนซ้อน ซึ่งถ้าติดอุปกรณ์กับตัวรถจะทำอุปกรณ์ได้รับข้อมูลจากแรงสั่นที่ได้จากรถโดยตรง
- ความผิดพลาดในการรับสัญญาณ GPS ซึ่งไม่สามารถรับสัญญาณได้ในขณะที่ทำการเก็บข้อมูลทำให้ข้อมูลบางส่วนหายไป
- ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการกำหนดความเรียบและขรุขระของถนน การศึกษาในครั้งนี้ได้ทดลองแบ่งช่วงความขรุขระออกเป็นสามช่วงเท่าๆกันในช่วง 0 – 1 ซึ่งความถูกต้องที่กล่าวมาส่วนใหญ่เป็นผลมาจากปัจจัยนี้ ซึ่งในการศึกษาต่อไปกำหนดช่วงความขรุขระให้ใกล้เคียงกับถนนจริงมากที่สุด

## 8.สรุป

จากผลรายงานการประเมินความถูกต้องของอุปกรณ์ซึ่งได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลโดยใช้พองน้ำรองที่อุปกรณ์และไม่มีพองน้ำรองที่อุปกรณ์อย่างละรอบจากผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบในส่วนอภิปรายนั้นจะเห็นว่าข้อมูลแบบไม่มีพองน้ำดีกว่าเนื่องจากความถูกต้องที่ได้มีความใกล้เคียงและไปในทางเดียวกันต่างจากแบบมีพองน้ำซึ่งความถูกต้องที่ได้ค่อนข้างแตกต่างกันค่อนข้างมากในแต่ละช่วงขนาดที่กำหนด

หลังจากที่ได้ทดลองเพิ่มเติมโดยนำค่าของแกน XYZ เข้ามาวิเคราะห์แล้วเทียบกับค่าที่วิเคราะห์โดยใช้แกน Z เพียงแกนเดียวจากตารางเปรียบเทียบค่าที่ได้ของแกน Z เพียงแกนเดียวและแกน XYZ ทั้งแบบมีพองน้ำและไม่มีพองน้ำ ซึ่งเห็นได้ว่าค่า

ของแกน Z เพียงแกนเดียวได้ให้ความถูกต้องมากกว่าค่าของแกน XYZ ทั้งแบบมีพองน้ำรองและไม่มีพองน้ำรองที่ตัวอุปกรณ์ดังนั้นการใช้แกน Z เพียงแกนเดียวจึงดีกว่าแกน XYZ

## แหล่งอ้างอิง

- [1] Wikipedia. ถนน, (2559). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มี.ค.2560. จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%96%E0%B8%99%E0%B8%99>
- [2] Matt Rude. ArduPilot Mega 2.5 Flight Control Board, (2017). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 29 มี.ค. 2560. จาก <https://mattrude.com/flight/components/flight-control-boards/ardupilot-25/>
- [3] Phakinee Anunonthat. Matlab for Thai people, (2017). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มี.ค. 2560. จาก <http://matabthai.blogspot.com/2013/04/matlab.html>
- [4] gisparty6. Quantum GIS คืออะไร, (2558). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มี.ค. 2560. จาก <http://gisparty6.blogspot.com/2015/03/quantum-gis.html>
- [5] วิมล ขาญชนะจิตกุล. Accelerometer. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, (2554). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มี.ค. 2559. จาก <http://bme231metrology.blogspot.com/2011/07/accelero-meter-iphoneaccelerometer.ht-ml>