

การประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ทโฟนเพื่อตรวจวัดดัชนีความขรุขระสากล ภายใต้เงื่อนไขการตรวจวัดที่แตกต่าง

ณัฐพล สุขสมกลิ่น^{1,*} สถาพร แสงมาศ² และ วีรภัทร มณีนาวาชัย³

^{1,2,3} บริษัท เอ สยาม อินฟรา จำกัด จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: asiainfra.ns@gmail.com

บทคัดย่อ

ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) เป็นมาตรฐานสากลที่ใช้ประเมินความเรียบของพื้นผิวถนน ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพการขับขี่ ความปลอดภัย และการวางแผนซ่อมบำรุง การตรวจวัด IRI สามารถแบ่งตามระดับความแม่นยำของอุปกรณ์และวิธีการวัด เช่น อุปกรณ์วัดโปรไฟล์ผิวถนนโดยตรง (เช่น Laser Profilometer) ที่ให้ข้อมูลระดับ IQL-1 ถึง IQL-3 และระบบวัดการสั่นสะเทือนจากยานพาหนะ (Response-Type Road Roughness Measuring System: RTRRMS) ซึ่งมีต้นทุนต่ำกว่า ปัจจุบันสมาร์ทโฟนที่มี Accelerometer ถูกนำมาใช้ร่วมกับแอปพลิเคชันต่าง ๆ เพื่อวัดค่า IRI อย่างสะดวกและประหยัด เช่น TotalPave, Roadroid, RoadLab Pro, Road Bump และ DRIMS . อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของการวัดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประเภทยานพาหนะ วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ และความเร็วในการขับขี่ ดังนั้นการใช้งานจึงควรดำเนินการด้วยความเข้าใจในข้อจำกัดและเงื่อนไขของแต่ละแอปพลิเคชันเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัด IRI ด้วย Smart Phone Application ภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน ตามเงื่อนไขที่ผู้พัฒนาแนะนำ และ ไม่แนะนำ ได้แก่ ประเภทของรถประเภท บนความเร็วในการขับขี่ 60,90 และ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าที่วัดได้ในสภาวะต่างกันบนพื้นที่จริงบนทางยกระดับ อุดรภูมิช่วงแจ้งวัฒนะจนถึงสุทธิสาร โดยค่าที่ได้จาก Laser Profiler และ สมาร์ทโฟนนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า IRI ซึ่งการตรวจวัดค่าของ IRI มีความแม่นยำเพียงพอที่สามารถนำไปใช้เทียบเคียง iQL-1 ได้ ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม ซึ่งการใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนในการวัดค่า IRI ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมสามารถให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประเมินสภาพพื้นผิวถนนและวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีต้นทุนต่ำและสะดวกต่อการใช้งานในภาคสนาม คุ่มค่าสำหรับการวิเคราะห์และบำรุงรักษายานยนต์ในอนาคต

คำสำคัญ: ดัชนีความขรุขระสากล (IRI), โทรศัพท์มือถือ, การตรวจสอบผิวทาง

Abstract

The International Roughness Index (IRI) is an index used to assess road conditions. It serves as an indicator of road level of service and aids in maintenance planning for the agencies. Measurement techniques vary based on the precision of equipment and calculation methods. High-precision tools, categorized under Information Quality Level (iQL) 1 to 3, include Laser Profilometers that directly measure road surface height variations. Alternatively, lower-cost systems, such as Response-type Road Roughness Measuring Systems (RTRRMS), utilize vehicle-based vibration measurements, including Bump Integrators and Accelerometer-Based Systems. Modern smartphones are equipped with built-in accelerometers, enabling the development of mobile applications for IRI measurement. These applications, such as Total Pave, Road Bounce, Roadroid, RoadLab Pro, Road Bump, and DRIMS, have gained popularity due to their low cost and ease of use. However, measurement accuracy depends on various factors, including the type of vehicle, installation method, and driving speed, as specified by the application developers.

This study focuses on testing and analyzing the accuracy of IRI measurements using smartphone applications under different conditions, including vehicle types and varying speeds, both within and outside developer-recommended guidelines. The objective is to evaluate the differences in measured values under actual conditions and determine whether smartphone-based measurements can achieve accuracy comparable to iQL-1 under appropriate conditions. The use of smartphone technology in road surface assessment presents a cost-effective and efficient alternative, enhancing the feasibility of road condition analysis and maintenance planning in the future.

Keywords: IRI, Smart Phone, Pavement inspection

1. คำนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีสมาร์ทโฟนได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นเซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง (accelerometer) ไจโรสโคป (gyroscope) และ GPS ซึ่งทำให้สมาร์ทโฟนสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์และตรวจวัดสภาพพื้นผิวถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [11] การประเมินคุณภาพของถนนเป็นปัจจัยสำคัญในการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคม โดยหนึ่งในตัวชี้วัดที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลคือ ดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ซึ่งใช้ในการบ่งชี้ระดับความเรียบของพื้นผิวถนน และมีบทบาทสำคัญต่อการออกแบบบำรุงรักษา และปรับปรุงเส้นทางคมนาคมเพื่อความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้ใช้ถนน [8]

ดัชนี IRI โดยทั่วไปถูกคำนวณจากข้อมูลที่ได้จากระบบตรวจวัดเฉพาะทาง เช่น เลเซอร์โปรไฟล์มิเตอร์ (laser profilometer) ซึ่งมีความแม่นยำสูงแต่มีต้นทุนที่สูงและต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการปฏิบัติงาน ทำให้การนำเทคโนโลยีสมาร์ทโฟนมาใช้ในการตรวจวัดค่าดัชนี IRI ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ ใช้งานได้ง่าย และสามารถนำไปใช้ได้ในพื้นที่โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทาง [4] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของการตรวจวัดค่าดัชนี IRI โดยใช้สมาร์ตโฟนนั้นอาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยหลายประการ เช่น ประเภทของยานพาหนะที่ใช้ในการตรวจวัด ความเร็วของยานพาหนะ รวมถึงตำแหน่งและวิธีการติดตั้งสมาร์ตโฟนภายในยานพาหนะ ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐาน

ดังนั้น การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ตโฟนเพื่อตรวจวัดค่าดัชนี IRI ภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อความถูกต้องและความแม่นยำของค่าที่วัดได้ การศึกษานี้จะช่วยให้สามารถพัฒนาแนวทางและวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการนำสมาร์ตโฟนมาใช้ในการตรวจวัดค่าดัชนี IRI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจนำไปสู่การใช้งานจริงในระบบบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคม และช่วยลดต้นทุนในการตรวจวัดคุณภาพถนนได้ในอนาคต

2. วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการตรวจวัด IRI ในปัจจุบัน

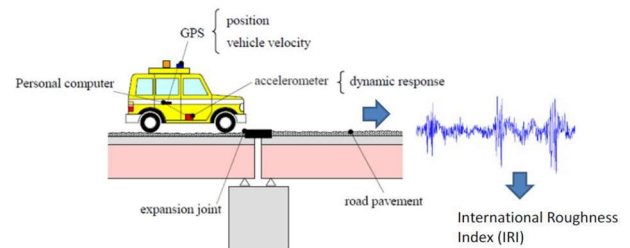
การตรวจวัด IRI สามารถดำเนินการได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับความละเอียดและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค โดยวิธีการแบบดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมได้แก่

2.1.1. การใช้โปรไฟล์มิเตอร์เลเซอร์ (Laser Profilometer)

โปรไฟล์มิเตอร์เลเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เซนเซอร์เลเซอร์ในการสแกนพื้นผิวถนนและวัดระดับความขรุขระในระดับมิลลิเมตร ข้อมูลที่ได้รับจะถูกนำไปคำนวณเป็นค่า IRI ผ่านอัลกอริทึมมาตรฐาน [7] ข้อดีของวิธีนี้คือมีความแม่นยำสูงและสามารถตรวจวัดได้อย่างละเอียด อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์มีต้นทุนสูงและต้องใช้เวลาในการใช้ความเชี่ยวชาญในการใช้งาน

2.1.2. การใช้ยานพาหนะติดตั้งระบบตรวจวัด (Inertial Road Profiler)

ระบบตรวจวัด IRI ที่ติดตั้งบนยานพาหนะประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเร่ง (accelerometer) และระบบ GPS เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของยานพาหนะขณะวิ่งบนถนนหรือเรียกว่า ระบบตรวจสอบอัจฉริยะของยานพาหนะ (Vehicle Intelligent monitoring System : VIMS) ดังแสดงในรูปที่ 1 ระบบนี้สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ทำให้เหมาะสมกับการสำรวจถนนในระยะทางไกล [1] ข้อเสียของวิธีนี้คือความแม่นยำอาจลดลงในกรณีที่ถนนมีความลาดเอียงหรือมีสภาพแวดล้อมที่มีการรบกวนของสัญญาณ GPS



รูปที่ 1 ระบบตรวจสอบอัจฉริยะของยานพาหนะ[1]

2.2 การใช้เซนเซอร์ของสมาร์ตโฟน และ เทคโนโลยีสมาร์ตโฟนในการตรวจวัดคุณภาพถนน

2.2.1 เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer)

Accelerometer เป็นเซนเซอร์ที่ตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร่งเชิงเส้นของวัตถุในแกน X, Y และ Z ซึ่งสามารถใช้ในการตรวจจับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นขณะยานพาหนะเคลื่อนที่บนถนนที่มีความขรุขระต่างกัน [6] ข้อมูลจาก accelerometer สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ได้

2.2.2 ไจโรสโคป (Gyroscope)

Gyroscope เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดอัตราการหมุนของวัตถุรอบแกนของมันเอง ซึ่งช่วยให้สามารถวัดการเอียงตัวของสมาร์ตโฟนหรือการเปลี่ยนแปลงมุมของยานพาหนะขณะเคลื่อนที่ [1] โดยการรวมข้อมูลจาก gyroscope และ accelerometer สามารถเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับความขรุขระของถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2.3 GPS (Global Positioning System)

GPS ถูกใช้เพื่อระบุพิกัดตำแหน่งของยานพาหนะและจับคู่กับข้อมูลการสั่นสะเทือนของ accelerometer และ gyroscope ทำให้สามารถสร้างแผนที่คุณภาพถนนตามพิกัดภูมิศาสตร์ได้ [10]

2.3 ความเร็วที่ใช้ในการขับสำหรับการตรวจวัด IRI ด้วยสมาร์ตโฟน

ความเร็วของยานพาหนะที่ใช้ในการตรวจวัดค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) มีผลกระทบต่อค่าที่ตรวจวัดได้ โดยเฉพาะเมื่อใช้เซนเซอร์ในสมาร์ตโฟนในการเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือนที่เกิดจากสภาพพื้นผิวถนน ค่าความเร่งที่

ตรวจวัดได้จากสมาร์โฟนมีความสัมพันธ์กับค่าความขรุขระของถนน และค่าที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อควบคุมความเร็วให้อยู่ในช่วง 30-50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยเฉพาะในเขตเมืองที่ความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย [1] การขับขึ้นความเร็วที่ต่างกันตั้งแต่ 20, 40 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าความเร็วที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มค่าความเร่งในแนวดิ่ง ซึ่งอาจเพิ่มความเบี่ยงเบนของค่าดัชนี IRI หากไม่มีการประมวลผลสัญญาณที่เหมาะสม [12] ความเร็วที่เสถียรและต่อเนื่องมีผลต่อความแม่นยำของค่าที่วัดได้ โดยแนะนำให้ขับขึ้นที่ความเร็วคงที่ประมาณ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับถนนในเขตเมือง และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับถนนนอกเมือง เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความสอดคล้องกับค่ามาตรฐาน [3]

2.4 ชนิดของรถที่ใช้ในการตรวจวัด IRI ด้วยสมาร์โฟน

ชนิดของยานพาหนะที่ใช้ติดตั้งสมาร์โฟนเพื่อวัดค่าความขรุขระของถนน มีผลต่อการตอบสนองของเซนเซอร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบกันสะเทือน น้ำหนักรถ และตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด งานวิจัยหลายชิ้นเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้รถประเภทต่าง ๆ การเปรียบเทียบการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลกับรถตู้ในการตรวจวัดค่าความขรุขระของถนน พบว่ารถที่มีระบบกันสะเทือนแข็งแรงเช่น รถตู้ หรือรถกระบะ จะส่งผลให้ค่าความเร่งในแนวดิ่งชัดเจนมากกว่า ทำให้การตีความค่าความขรุขระสากลทำได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับรถยนต์ขนาดเล็ก [5] และการตรวจวัดด้วยสมาร์โฟนที่ติดตั้งในรถยนต์ขนาดเล็ก และรถบัส พบว่าโครงสร้างและระบบกันสะเทือนของรถบัสช่วยลดความผันผวนของข้อมูลที่เกิดจากถนนขรุขระได้ดีกว่า แต่ในทางกลับกัน อาจลดทอนความไวในการตรวจจับหลุมหรือรอยต่อถนนที่มีขนาดเล็ก [7] และ การทดลองโดยติดตั้งสมาร์โฟนในรถหลายประเภท ทั้งรถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุก และจักรยานยนต์ โดยพบว่ารถจักรยานยนต์มีข้อได้เปรียบในด้านความไวในการตรวจจับความไม่เรียบของถนน แต่มีข้อจำกัดในเรื่องเสถียรภาพของข้อมูลจากแรงสั่นสะเทือนภายนอกที่ไม่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวถนน [9]

3. วิธีการดำเนินงาน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบความแม่นยำของการวัดค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ด้วยโทรศัพท์มือถือ กับค่าที่ได้จากอุปกรณ์มาตรฐานระดับสูงประเภท iQL-1 เช่น Laser Profiler โดยทำการวัดในสภาพการใช้งานจริงบนทางยกระดับอุดรธานี (Tollway) ช่วงตั้งแต่แจ้งวัฒนะถึงสุทธิสาร ในช่องจราจรซ้ายสุด 1 ช่องจราจร ฝั่งขาเข้า กรุงเทพฯ (South Bound) ผิวถนนแอสฟัลต์ ระยะทาง 8 กิโลเมตร ค่า IRI ของ Laser Profiler ใช้ผลที่มีอยู่จากการเก็บข้อมูลประจำปี โดยจำนวนรอบการวัดได้แก่ รถยนต์ SUV ขนาดเล็ก 3 รอบที่ความเร็ว 60, 90 และ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถยนต์ SUV ขนาดใหญ่ 1 รอบที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ รถกระบะ 1 รอบที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของข้อมูลที่ได้ และศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โทรศัพท์มือถือเป็นเครื่องมือวัด IRI ทดแทนอุปกรณ์มาตรฐานในเชิงวิศวกรรมและการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานทางถนน

3.1 การวัดค่าความเรียบความขรุขระของพื้นผิวถนนด้วย Laser Profiler และสมาร์โฟน

3.1.1 Laser Profiler

ใช้รถตู้ที่ติดตั้ง Laser Profiler ดังแสดงในรูปที่ 2 วัดค่าความเรียบและค่าความขรุขระของถนนบนเส้นทางยกระดับอุดรธานี โดยเริ่มตั้งแต่ทางแจ้งวัฒนะจนถึงทางสุทธิสาร ในช่องจราจรซ้ายสุด ทิศทางขาเข้า ขับด้วยความเร็วคงที่เป็นระยะทางรวม 8.1 กิโลเมตร



รูปที่ 2 รถตู้สำรวจติดตั้ง Laser Profiler

3.1.2 สมาร์โฟน

ติดตั้งสมาร์โฟนระบบปฏิบัติการ iOS หรือ IPHONE ตามที่ผู้พัฒนา Application แนะนำ ในรถยนต์แต่ละประเภท ดังแสดงในรูปที่ 3 พร้อมติดตั้ง Application DRIMS ดังรูปที่ 4 ในการทดสอบ IRI เริ่มตั้งแต่แจ้งวัฒนะจนถึงสุทธิสาร ในช่องจราจรซ้ายสุดทิศทางขาเข้าเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่า IRI ที่ได้จาก Laser Profiler โดยการติดตั้งสมาร์โฟนต้องติดตั้งในตำแหน่งที่สมาร์โฟนไม่สามารถเลื่อนไถลได้หรือใช้วัสดุที่ป้องกันการเลื่อนไถล



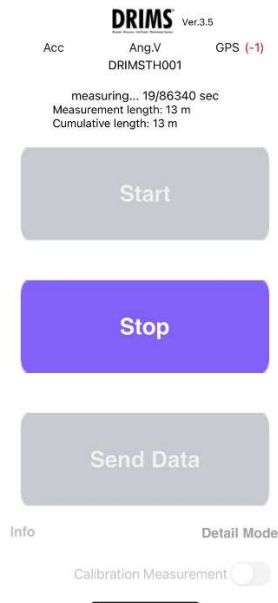
รูปที่ 3 การติดตั้งสมาร์โฟนในรถยนต์

3.2 การวัดค่า IRI ภายได้ความเร็วที่แตกต่าง

ติดตั้งสมาร์โฟนระบบปฏิบัติการ iOS ภายในรถยนต์ SUV ขนาดเล็ก และใช้แอปพลิเคชัน DRIMS ดังรูปที่ 4 ทำการขับขึ้นรถยนต์บนเส้นทางยกระดับอุดรธานีตั้งแต่แจ้งวัฒนะถึงสุทธิสาร ทิศทางขาเข้า โดยกำหนดด้วยความเร็ว 60, 90 และ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ทางผู้พัฒนาแอปพลิเคชัน DRIMS แนะนำให้ทำการขับขึ้นที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่แม่นยำ

อย่างไรก็ตาม ความเร็วดังกล่าวค่อนข้างต่ำกว่าความเร็วปกติของการขับขึ้น ในการทดสอบนี้จึงได้เพิ่มระดับความเร็วเป็น 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่ง

เป็นความเร็วที่ผู้ขับขี่ทั่วไปนิยมใช้ และ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่กฎหมายกำหนด



รูปที่ 4 หน้าจอแสดงผลแอปพลิเคชัน DRIMS สำหรับตรวจวัด IRI

บันทึกข้อมูลการสั่นสะเทือนจากเซนเซอร์ของสมาร์ทโฟนในแต่ละรอบการทดสอบ คำนวณค่า IRI ที่ได้จากแต่ละความเร็ว เพื่อตรวจสอบผลกระทบของความเร็วที่แตกต่างกัน

3.3 การเปรียบเทียบค่า IRI ระหว่างรถยนต์แต่ละประเภท

รถยนต์สามรุ่นที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ รถยนต์รถยนต์SUV ขนาดเล็ก, รถยนต์SUV ขนาดใหญ่ และรถกระบะ ดังแสดงในรูปที่ 5 ติดตั้งสมาร์ทโฟนที่ตำแหน่งภายในด้านหน้ารถยนต์ทั้งสามรุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3 บนทางยกระดับอุตราภิมุขของจราจรด้านซ้ายสุด ตั้งแต่แจ้งวัฒนะถึงสุทธิสาร มุ่งหน้าทางทิศใต้ (South Bound) ด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งตามข้อเสนอแนะในการใช้งานของแอปพลิเคชัน DRIMS ทางผู้ผลิตแนะนำการใช้รถยนต์SUVขนาดเล็กในการตรวจวัดเพื่อความแม่นยำของใช้สมาร์ทโฟนในการประมวลผล และไม่แนะนำรถยนต์SUVขนาดใหญ่และรถกระบะ ในการวัด IRI



(ก) รถยนต์SUV ขนาดเล็ก



(ข) รถยนต์ SUV ขนาดใหญ่



(ค) รถกระบะ

รูปที่ 5 รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

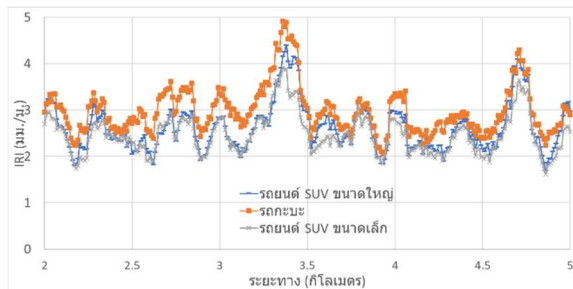
4. ผลการศึกษา

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่ได้จากการใช้งานแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ต่างกััน ทั้งในด้านประเภทของยานพาหนะ ความเร็วในการขับขี่ และเปรียบเทียบความแม่นยำของข้อมูลที่ได้กับค่ามาตรฐานจากอุปกรณ์วัด IRI ที่มีระดับคุณภาพข้อมูล iQL-1 ถึง iQL-3 ซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับสากลอย่าง Laser Profiler เพื่อประเมินศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีสมาร์ตโฟนในการตรวจวัดและประเมินสภาพพื้นผิวถนนจริงในภาคสนาม

4.1 ผลการทดสอบ IRI บนสมาร์ทโฟนที่ติดตั้งบนรถยนต์ แต่ละประเภท

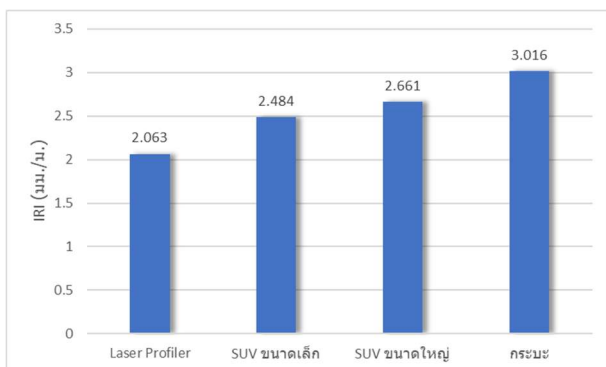
การวัดค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่ใช้สมาร์ทโฟนติดตั้งบนรถยนต์ในแต่ละประเภทโดยทดสอบที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้รถยนต์ 3 ประเภทคือ รถยนต์SUV ขนาดเล็ก, รถยนต์SUV ขนาดใหญ่ และรถกระบะ โดยวัดค่า IRI ผ่านแอปพลิเคชัน DRIMS ผลทดสอบแสดงดังรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อวัดค่าในหลายครั้งค่าที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความขรุขระที่วัดได้สะท้อนถึงลักษณะการตอบสนองของช่วงล่างรถแต่ละประเภทต่อสภาพถนนที่แตกต่างกัน รูปที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย IRI ของรถแต่ละประเภท ซึ่งจะเห็นว่ารถกระบะมีค่าความผันผวนสูงสุด ค่าเฉลี่ย IRI 3.016 มม./ม. ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน 46.19% บ่งบอกว่าระบบกันสะเทือนของรถรุ่นนี้ถ่ายทอดแรงสั่นสะเทือนจากพื้นถนนไปยังตัวรถได้มากกว่าเมื่อเทียบกับรถรุ่นอื่นๆ อาจเป็นเพราะการออกแบบของช่วงล่างที่เหมาะสมกับการรองรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าการให้ความนุ่มนวลขณะขับขี่ ส่งผลให้ค่าความขรุขระที่ตรวจจับได้มีแนวโน้มสูงขึ้นและมีความผันผวนมากกว่า เกิดความเปลี่ยนแปลงของค่า IRI มากขึ้น ในขณะที่รถยนต์SUVขนาดใหญ่ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย IRI เป็น 2.661 มม./ม. ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน 28.99 % มีความเสถียรมากกว่าค่าที่ตรวจจับได้จากรถกระบะ สะท้อนให้เห็นว่าระบบกันสะเทือนของรถยนต์SUV ขนาดใหญ่ อาจถูกออกแบบมาเพื่อให้

ความนุ่มนวลในการขับขี่ที่มากขึ้นส่งผลให้สามารถดูดซับแรงสะท้อนได้ดี และลดผลกระทบจากพื้นผิวถนนที่ไม่เรียบ ทำให้ค่าความขรุขระที่ตรวจวัดได้นั้นมีแนวโน้มคงที่และไม่ผันผวนมากนักเมื่อเทียบกับรถกระบะ ในส่วนของรถยนต์ SUV ขนาดเล็ก ซึ่งมีค่า IRI ต่ำสุดโดยค่า IRI เฉลี่ยเท่ากับ 2.483 มม./ม ค่าความคลาดเคลื่อน 20.40% ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก Laser Profiler มากที่สุด



รูปที่ 6 กราฟประเภทของรถที่ใช้ในการวัดค่า IRI ด้วยสมาร์ตโฟน

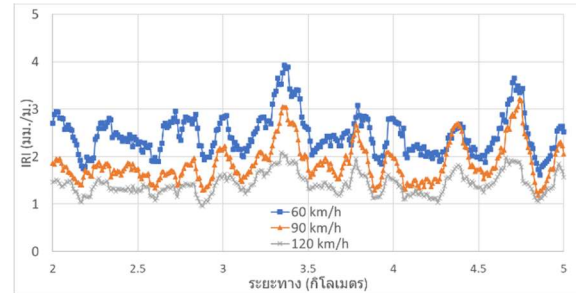
ซึ่งอาจเป็นผลมาจากช่วงล่างที่ให้ความนุ่มนวลและการกระจายแรงสั่นสะเทือนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ความแตกต่างของค่า IRI ที่ต่ำกว่ารถรุ่นอื่นสะท้อนให้เห็นว่ารถยนต์ SUV ขนาดเล็ก อาจมีช่วงล่างที่ออกแบบมาให้ลดแรงสั่นสะเทือนได้ดีที่สุดในการขับขี่บนพื้นถนนที่ไม่เรียบ ซึ่งทำให้ค่าความขรุขระของถนนที่ถูกวัดจากระบบสมาร์ตโฟนมีค่าต่ำกว่ารถรุ่นอื่นๆ



รูปที่ 7 กราฟค่าเฉลี่ย IRI ของรถแต่ละประเภทที่วัดด้วยสมาร์ตโฟน

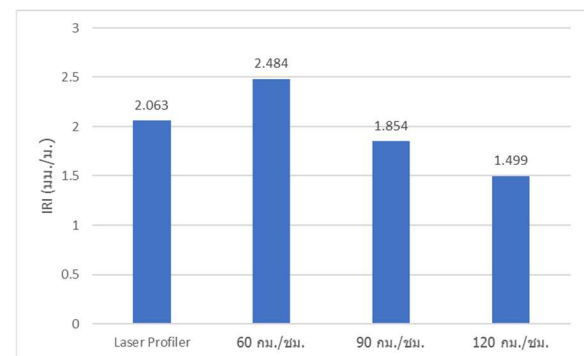
4.2 ผลการทดสอบ IRI บนสมาร์ตโฟนที่ติดตั้งบนรถยนต์ SUV ขนาดเล็ก ทดสอบที่ความเร็วต่างกัน

การทดสอบการเปรียบเทียบค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่ใช้สมาร์ตโฟนติดตั้งบนรถยนต์ SUV ขนาดเล็ก โดยวัดค่า IRI ผ่านแอปพลิเคชัน DRIMS ซึ่งทำการทดสอบโดยวิ่งที่ความเร็วต่างกันว่า 60, 90 และ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งผลทดสอบแสดงดังรูปที่ 8 แสดงให้เห็นแนวโน้มค่าการวัด IRI ในแต่ละระดับความเร็ว ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกันตลอดระยะทางการทดสอบ สะท้อนว่าสมาร์ตโฟนสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวถนนได้ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว



รูปที่ 8 กราฟความเร็วในการวัดค่า IRI ด้วยสมาร์ตโฟน

ผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าเฉลี่ย IRI อยู่ที่ 2.484 มม./ม. ซึ่งเป็นค่าที่มีเสถียรภาพและใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากที่สุด เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่า IRI เฉลี่ยลดลงเหลือ 1.854 มม./ม. โดยพบความผันผวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับช่วงความเร็วสูงสุดที่ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่า IRI เฉลี่ยลดลงเป็น 1.499 มม./ม. และมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 9 สาเหตุที่ค่า IRI ลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากผลกระทบของไดนามิกของยานพาหนะและการตอบสนองของเซนเซอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามแรงสั่นสะเทือนและการเคลื่อนที่ที่รวดเร็วขึ้น แนวโน้มค่าการวัด IRI จากทั้งสามระดับความเร็วมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงระยะทางการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าสมาร์ตโฟนสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวถนนได้โดยรวม แม้จะมีความเร็วแตกต่างกัน



รูปที่ 9 กราฟค่าเฉลี่ย IRI ที่ความเร็วต่างกัน

ซึ่งสามารถหาความเร็วที่เหมาะสมได้จากสมการเชิงเส้น
สมการความชัน ;

$$m = \frac{IRI_2 - IRI_1}{V_2 - V_1} \quad (1)$$

สมการความความเร็วในการวัด IRI ;

$$V = V_1 + \frac{IRI(\text{Laser Profiler}) - IRI}{m} \quad (2)$$

โดยที่

- V คือ ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- V1 คือ ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

- V2 คือ ความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- IRI1 คือ ค่าความขรุขระที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- IRI2 คือ ค่าความขรุขระที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- m คือ ค่าความชัน

จากข้อมูล

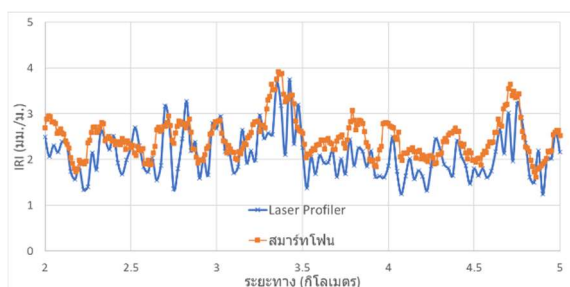
$$m = \frac{1.854 - 2.484}{90 - 60} = -0.021$$

$$V = 60 + \frac{2.063 - 2.484}{-0.021} = 80 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง}$$

ค่าความเร็วที่เหมาะสมในการวัด IRI ด้วยสมาร์ทโฟน ประมาณ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นจุดที่ค่า IRI มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จาก Laser Profiler มากที่สุด ผลการวิเคราะห์นี้บ่งชี้ว่า หากใช้แอปพลิเคชัน DRIMS ในการวัดค่า IRI ควรทำการทดสอบที่ความเร็วประมาณ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อให้ผลลัพธ์มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์มาตรฐาน

4.3 ผลการทดสอบ IRI ระหว่าง Laser Profiler และสมาร์ทโฟน

การเปรียบเทียบค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ Laser Profiler ที่ติดตั้งบนรถตู้ ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ให้ค่าความแม่นยำสูง และแอปพลิเคชัน DRIMS บนสมาร์ทโฟน ซึ่งใช้เซ็นเซอร์ Accelerometer ภายในอุปกรณ์เพื่อวัดความสั่นสะเทือนของตัวรถขณะขับขึ้นถนนจริง การทดสอบนี้ดำเนินการบนเส้นทางยกระดับอุตราภิมุข ตั้งแต่แจ้งวัฒนะไปจนถึงสุทธิสาร ในช่องจราจรซ้ายสุด มุ่งหน้าทางทิศใต้ (South Bound) ระยะทาง 8.1 กิโลเมตร ติดตั้งสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ iOS ภายในรถยนต์ยนต์ SUV ขนาดเล็ก และใช้แอปพลิเคชัน DRIMS



รูปที่ 10 กราฟผลการวัด IRI ระหว่าง Laser Profiler และ สมาร์ทโฟน

จากผลการทดลอง Laser Profile วัดค่าเฉลี่ย IRI ได้ 2.063 มม./ม. ซึ่งถ้าเทียบกับผลจากสมาร์ทโฟน ค่าเฉลี่ย IRI ที่ได้คือ 2.484 มม./ม. ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนจาก Laser profiler ประมาณ 20 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [2] ดังแสดงในรูปที่ 10 ค่าที่ได้จากสมาร์ทโฟนในบางช่วงมีแนวโน้มสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่ได้จาก Laser Profiler เล็กน้อย แต่โดยรวมแล้ว ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ $\pm 20\%$ สำหรับการประเมินสภาพพื้นผิวถนนเบื้องต้น

การวัด IRI ของสมาร์ทโฟนมีแนวโน้มเคลื่อนไหวไปในทิศทางเดียวกับค่าที่ได้จาก Laser Profiler ตลอดช่วงระยะทางที่ทดสอบ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการวัดด้วยสมาร์ทโฟนสามารถติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผิวถนนได้ในระดับหนึ่ง

5. บทสรุป

การวัดความเรียบความขรุขระของถนนด้วยสมาร์ทโฟนเปรียบเทียบกับ Laser Profiler สรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการวัด IRI ภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน

ประเภทรถ	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	IRI (มิลลิเมตรต่อเมตร)
Laser Profiler	60	2.063
รถยนต์ SUV ขนาดเล็ก	60	2.484
รถยนต์ SUV ขนาดเล็ก	90	1.854
รถยนต์ SUV ขนาดเล็ก	120	1.499
SUV ขนาดใหญ่	60	2.661
รถกระบะ	60	3.016

5.1 เปรียบเทียบ IRI ระหว่าง Laser Profiler และสมาร์ทโฟน

การใช้สมาร์ทโฟนในการวัดค่า IRI มีศักยภาพในการเป็นเครื่องมือเสริมสำหรับการตรวจสอบและประเมินสภาพถนนในเชิงปฏิบัติ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณหรือทรัพยากร ภายใต้เงื่อนไขที่มีการควบคุมปัจจัย เช่น ความเร็วที่เหมาะสมที่ความเร็วรถ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การติดตั้งอุปกรณ์ตามคำแนะนำ การใช้งานพาหนะที่เหมาะสม ค่าที่ได้จากสมาร์ทโฟนสามารถใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐานในระดับที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตาม ยังมีความจำเป็นต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) หรือพัฒนาวิธีการประมวลผลเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้สามารถเทียบเคียงระดับมาตรฐานที่สูงขึ้น เช่น iQL-1 ได้ในอนาคต

5.2 เปรียบเทียบ IRI ที่ใช้สมาร์ทโฟนในการทดสอบที่ความเร็วต่างกัน

ความเร็วในการขับซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำของค่าการวัด IRI ด้วยสมาร์ทโฟน โดยความเร็วที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการวัด เนื่องจากค่าที่ได้มีความเสถียรและแม่นยำมากที่สุด ความเร็วสูงเกิน 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อาจส่งผลต่อคุณภาพข้อมูล ทำให้ค่าที่ได้เบี่ยงเบนและลดความแม่นยำ ซึ่งจำเป็นต้องมีการควบคุมเงื่อนไขการทดสอบ หรือพิจารณาการปรับเทียบค่าระบบเพิ่มเติมหากต้องการใช้งานในความเร็สูง

5.3 เปรียบเทียบ IRI ที่ใช้สมาร์ทโฟนในการทดลองโดยใช้รถคนละประเภท

จากผลการวิเคราะห์ค่าความขรุขระของถนนที่ได้จากการยกยดทั้งสามรุ่น สามารถสรุปได้ว่าค่าที่แตกต่างกันนั้นมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะของระบบกันสะเทือนของรถยนต์แต่ละรุ่น โดยที่รถกระบะ มีค่าความขรุขระสูงสุด ซึ่งอาจเหมาะกับการใช้งานในสภาพถนนที่ต้องการความแข็งแรงและรองรับน้ำหนักมากกว่าความนุ่มนวล ในขณะที่รถยนต์ SUV ขนาดเล็ก และ รถยนต์ SUV ขนาดใหญ่ มีแนวโน้มให้ความนุ่มนวลมากขึ้นจากค่าความขรุขระที่ต่ำกว่า โดยเฉพาะรถยนต์ SUV ขนาดเล็กที่มีค่าต่ำที่สุด สะท้อนถึงความสามารถในการลดแรงสะเทือนจากพื้นถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ารถอื่นๆ ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเลือกใช้ยานพาหนะให้เหมาะสมกับสภาพถนน รวมถึงช่วยพัฒนาระบบประเมินสภาพพื้นถนนโดยอาศัยเซนเซอร์จากสมาร์ตโฟนให้มีความแม่นยำมากขึ้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

ปัจจัยที่มีผลต่อการวัดค่า IRI ด้วยสมาร์ตโฟน ได้แก่ สภาพผิวถนน ความเร็วของยานพาหนะ การติดตั้งสมาร์ตโฟน การรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก ปัจจุบันการพัฒนา Application ตรวจวัด IRI ถูกพัฒนาตลอดในทุกๆปีเพื่อให้ไม่เกิดการวิเคราะห์สามารถเรียนรู้และประเมินค่าความขรุขระได้ครอบคลุมทุกประเภทพื้นผิวอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการพัฒนากระบวนการสอบเทียบ (Calibration) อย่างเป็นระบบระหว่างข้อมูลจากสมาร์ตโฟนและข้อมูลจากอุปกรณ์มาตรฐาน เช่น Laser Profiler เพื่อเสริมความแม่นยำในการแปลผลข้อมูล และทำให้การประเมิน IRI ด้วยสมาร์ตโฟนสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้ในงานด้านโครงสร้างพื้นฐานและการบริหารจัดการถนนในอนาคตอย่างกว้างขวาง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัททางยกระดับ ดอนเมือง จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาให้การทดลองวิจัยบนทางยกระดับอุดรภูมิและให้ข้อมูลงานวิจัยในด้านต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] Douangphachanh, V., & Oneyama, H. (2014). A study on the use of smartphones for road roughness condition estimation. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 11, 1607-1622.

[2] E. E. Ekpenyong, A. S. P. Abu, and K. Z. Cinfwat, "Comparative Study of the Road Roughness Measurement of Roadlab Pro and Roadroid Applications for IRI Data Collection in Nigeria," *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, vol. 10, no. 5, pp. 14-19, 2021. DOI: 10.9790/1813-1005031419.

[3] Fukuda, D., Tsubaki, H., & Iwasaki, M. (2013). Road surface condition estimation by smartphone-based participatory sensing. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 11(2), 83-94.

[4] Gonzalez, A., O'Brien, E. J., Li, Y., & McGetrick, P. J. (2021). Using smartphones to measure road roughness: Effects of vehicle and measurement conditions. *Transportation Research Record*, 2675(3), 135-147.

[5] Lavin, S., Aparicio, F., & Camacho-Torregrosa, F. J. (2018). Validation of smartphone-based pavement roughness measures using IRI and PCI. *Transportation Research Procedia*, 33, 139-146.

[6] Mednis, A., Strazdins, G., Zviedris, R., Kanonirs, G., & Selavo, L. (2011). Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers. In 2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (pp. 1-6). IEEE

[7] Sayers, M. W. (1995). On the calculation of International Roughness Index from longitudinal road profile. *Transportation Research Record*, 1501, 1-12.

[8] Sayers, M. W., & Karamihias, S. M. (1986). *The Little Book of Profiling*. University of Michigan Transportation Research Institute.

[9] Perttunen, M., Mazhelis, O., Cong, F., Kauppila, R., & Kotilainen, N. (2014). Distributed road surface condition monitoring using mobile phones. *IEEE Sensors Journal*, 14(12), 4333-4346.

[10] Yu, F., & Yu, J. (2018). Road surface roughness evaluation based on smartphone sensors and machine learning. *Sensors*, 18(7), 2296.

[11] Zhang, Z., Wang, K. C., Liu, X., & Yu, X. (2020). Low-cost smartphone-based road roughness evaluation using machine learning techniques. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 146(2), 04020017.

[12] Zhou, F., & Wang, J. (2016). Road surface roughness detection using in-vehicle smartphone sensors and its application in trip-based emissions estimation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 112-122.