การพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อทดสอบค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อการวางแผนงานบำรุงทาง

Developing Prototype Equipment for Evaluate Mean Profile Depth for Maintenance Planning

หมายเลขบทความ: YRF13-047

นันทวัฒน์ ลือสิงหนาท[1],วิศณุ ทรัพย์สมพล[2],สืบสกุล พิภพมงคล[3]

Nuntawat Lersinghanart, Wisanu Subsompon, Suebskul Phiphobmongkol

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-218-6463 โทรสาร 0-251-7304
E-mail: Nuntawat_n@hotmail.com

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์,
หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-218-6463 โทรสาร 0-251-7304
E-mail: wisanu.s@chula.ac.th

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์,
หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-218-6978
E-mail: suebskul.p@chula.ac.th

Abstract

This article focuses on developing prototype equipment for evaluating mean profile depth (MPD) of pavement, which indicates the characteristic of the pavement in macro texture. Theoretically, the macro texture is one of the factors that affect pavement friction. Thus, the main idea of this project is to measure the texture of the surface and classify into specific level of friction by evaluating Mean Profile Depth (MPD).On the other hand, there is one obvious limitation of surveying and evaluating mean profile depth (MPD) caused from high cost of the equipment, "high speed laser", which is currently and widely used by other countries around the world. To enhance the better and sustainable standard of this evaluation, the research and development on the prototype equipment used for measuring the pavement in macro texture should be operated. Accordingly, the high speed laser measurement referred from ASTM E 1845-09 standard. Not only such stated research should be in action, but the study of relationship between mean profile depth (MPD) and coefficient friction of road surface is also necessary. and the study of relationship between mean profile depth (MPD) and coefficient friction will also be brought to use for this analysis. In conclusion, the success of development stated above will definitely has a great impact on contributing the road's safety for the future use.

Keywords: prototype equipment, mean profile depth, macro texture, pavement friction, high speed laser

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อเก็บค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง ซึ่งบอกถึงลักษณะของผิวทางในระดับประเมินผิวทางแบบหยาบ อันเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเสียดทานของผิวทาง จึงเป็นแนวคิดการวัดลักษณะของพื้นผิวเพื่อคัดกรองผิวทางให้ระดับความเสียดทานต่างๆ โดยการสำรวจข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย อย่างไรก็ตาม การเก็บข้อมูลดังกล่าว มีข้อจำกัดในด้านต้นทุนการเก็บข้อมูลที่

สูง ซึ่งเป็นผลมาจากราคาของเครื่องมือสำรวจเลเซอร์ความเร็วสูง ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ทั้งนี้เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของงานสำรวจและประเมินสภาพความเสียดทานของผิวทางในระดับโครงข่ายอย่างยั่งยืน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อประเมินค่าลักษณะของผิวทางในระดับประเมินผิวทางแบบหยาบ โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM E 1845-09 รวมถึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) เพื่อให้สามารถสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลความเสียดทานของผิวทางระดับโครงข่ายได้ โดยการพัฒนาเครื่องมือเพื่อสำรวจค่าความเสียดทานของผิวทางดังกล่าว จะช่วยในการวางแผนการซ่อมบำรุงผิวทางเพื่อยกระดับความปลอดภัยบนท้องถนนอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ : ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย, ระดับประเมินผิวทางแบบหยาบ, ค่าความเสียดทานของผิวทาง, เลเซอร์ความเร็วสูง

1. บทนำ

อุบัติเหตุทางถนน เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ จากการศึกษาของศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (TARC, 2007) พบว่าสาเหตุหนึ่งของการเกิดอุบัติเหตุมีปัจจัยมาจากการขับรถเร็วร่วมกับสภาพของถนนที่มีความเสียดทานของผิวทางต่ำ ดังนั้นเพื่อยกระดับความปลอดภัยบนท้องถนนจึงจะเป็นต้องให้ความสำคัญกับค่าความเสียดทานผิวทาง (Pavement Friction) สำหรับเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบค่าความเสียดทานผิวทางในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายประเภทตามคุณลักษณะกลุ่มของผิวทางและมาตรฐานการวัดซึ่งพัฒนามาตรฐาน ASTM E 1845 - 09 โดยสามารถจำแนกตามประเภทตามวิธีการวัดได้ดังนี้

1) วิธีสำรวจค่าความเสียดทานที่ความเร็วสูง (High Speed Friction Measuring Devices) ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

2) วิธีการวัดค่าความเสียดทานที่ความเร็วต่ำหรือวัดเป็นจุดทดสอบ (Low Speed or Spot Friction Measuring Devices) วิธีการวัดนี้สามารถวัดค่าความเสียดทานได้โดยตรง สามารถระบุจุดที่วัดได้และมีราคาไม่แพง แต่มีข้อจำกัดในการนำมาใช้กับการจัดการถนนในระดับโครงข่ายได้ เนื่องจากเก็บข้อมูลได้ช้า ไม่ทันต่อการประเมินข้อมูลทั้งหมด

ข้อจำกัดดังกล่าว ส่งผลให้ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลความเสียดทานของผิวทางระดับโครงข่ายในประเทศไทยอย่างเป็นรูปธรรม กล่าวคือ ถ้าเครื่องมือที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องมืออย่างง่าย ราคาไม่แพง จะต้องทำการปิดช่องจราจรและทำการสำรวจได้ช้า ในขณะที่เครื่องมือที่วัดด้วยความเร็วสูง ส่วนใหญ่จะมีราคาแพง ต้องมีการฝึกอบรมในการบำรุงรักษา และการใช้งาน จึงยังไม่สามารถวางแผนการจัดการค่าความเสียดทาน รวมถึงการยกระดับความปลอดภัยที่ได้รับผลจากค่าความเสียดทานได้ แต่จากการศึกษางานวิจัยในต่าง (NCHRP, 2005), (Don L. Ivey et al, 1973), (I.A. Fulop,I et al, 2000) ประเทศพบว่า ลักษณะของผิวทาง (Surface Texture) เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบและมีความสัมพันธ์ต่อค่าความเสียดทานของผิวทาง งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อคัดกรองค่าความเสียดทานของผิวทางจากการวัดลักษณะของพื้นผิวแบบหยาบ ซึ่งสามารถใช้ความเร็วในการเก็บข้อมูลได้อย่างรวดเร็วกว่าการวัดค่าความเสียดทางโดยตรง โดยวัดค่า Mean Profile Depth (MPD) โดยใช้การวัดระยะทางแนวดิ่งด้วยเลเซอร์ความเร็วสูง ทำให้ได้ลักษณะของผิวทางในระดับประเมินผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) ได้ในช่วง 0.5 – 50 มิลลิเมตร และตัวเลเซอร์ติดตั้งที่ตัวรถจึงสามารถเก็บข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง ในงานวิจัยนี้ยังพัฒนาเครื่องมือและซอฟต์แวร์ต้นแบบในการสำรวจและวิเคราะห์ค่า Mean Profile Depth (MPD) โดยสามารถสำรวจค่า MPD อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว มีระบบวัดระยะทางความละเอียดสูง มีระบบระบุตำแหน่งพิกัดจีพีเอส รวมถึงการสอบเทียบเครื่องมือโดยการสำรวจข้อมูลค่า Mean Profile Depth (MPD) จากเครื่องมือต้นแบบ ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องมือ High-speed Laser Measurement ที่มีมาตรฐานในระดับสากล

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานของผิวทางในประเทศไทยและค่า MPD ที่ได้จากเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถสำรวจได้รวดเร็วและมีราคาไม่แพง เพื่อกำหนดค่าพึงระวังในการวางแผนการจัดการการซ่อมบำรุงเพื่อเพิ่ม ค่าความเสียดทาน ในถนนที่อยู่ในระดับเสี่ยง

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก เริ่มต้นจากการศึกษาแนวคิดและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสารและงานวิจัยรวมถึงบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วย การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางข้อดี (NCHRP, 2005) ข้อจำกัดของเทคโนโลยีและเครื่องมือสำรวจและเก็บข้อมูลความเสียดทานของผิวทางในปัจจุบัน (กรมทางหลวงชนบท, 2554) หลักการและคุณสมบัติของค่า Mean Profile Depth (MPD) (ASTM, 2009) รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD กับค่าความเสียดทานผิวทาง (Murat Ergun et al, 2005) ตลอดจนการศึกษาแนวทางการวางแผนและการจัดการแรงเสียดทานผิวทางในต่างประเทศ (NCHRP, 2005)

ขั้นตอนหลักที่สองคือพัฒนาเครื่องมือและซอฟต์แวร์ต้นแบบการสำรวจและประเมินค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) โดยใช้เทคโนโลยี High-speed Laser Measurement ที่ทันสมัย ซึ่งในการ

วิจัยนี้ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E 1845 – 09 สำหรับการคำนวณค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ (Pavement Macrotexture Mean Profile Depth)

ขั้นตอนหลักที่สามเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่า Mean Profile Depth ที่ได้จากเครื่องมือทดสอบ High-speed Laser Texture Measurement กับค่าความเสียดทานจากเครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งสามารถทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ความเร็วต่างๆ โดยได้ดำเนินการในบริเวณพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นถนนเลียบคลอง บนถนนสาย รังสิต-นครนายก มีลักษณะเป็นทางตรง มีปริมาณจราจรต่ำ ทำให้สะดวกในการเก็บข้อมูล และมีช่วงสายทางที่มีคุณภาพในหลายระดับที่ต้องการทดสอบ เพื่อให้ได้สายทางที่คัดเลือกเป็นตัวแทนที่เหมาะสมในการศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ จึงใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกคือ

- เลือกช่วงทดสอบบนที่เป็นทางตรงที่ผิวทางมีความเป็น Homogenous ตลอดช่วงการทดสอบ
- คัดเลือกสายทางที่มีความยาวในช่วงแปลงทดสอบอย่างน้อยกว่า 200 เมตร โดยเลือกช่วงที่เป็นเส้นตรง ไม่ลาดชัน และควรมีช่วงทางตรงก่อนถึงแปลงทดสอบไม่น้อยกว่า 50 เมตร
- เลือกสายทางที่มีปริมาณการจราจรใกล้เคียงกันทั้ง 4 แปลงทดสอบ (และพิจารณาที่ปริมาณการจราจรน้อย) เพื่อลดผลกระทบจากความแตกต่างของปริมาณการจราจร
- เนื่องจาก ชนิดของผิวทางมีความเสียดทานแตกต่างกัน งานวิจัยนี้จะครอบคลุมเฉพาะผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีต
- การทดสอบด้วยเครื่องมือ DFT นั้นจะเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้ ณ ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยในการทดสอบ ทำตำแหน่งละ 1 ครั้ง แต่แปลงทดสอบจะต้องสามารถวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบค่าได้โดยจำนวนตัวอย่างทดสอบไม่น้อยกว่า 100 จุด จำนวนรวมไม่น้อยกว่า 5 สายทาง
- การทดสอบค่า Mean Profile Depth (MPD) ข้อมูลดิบที่ได้จะเป็นค่าความลึกผิวทางทุกระยะ10 เซนติเมตร ในการวิเคราะห์จะใช้ค่า Moving Average ของ MPD ในช่วง 1 เมตร

ในการหาความสัมพันธ์ของของค่า MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement กับค่าความเสียดทานผิวทาง (μ) จากเครื่อง Dynamic Friction Tester เพื่อให้สามารถใช้ค่า MPD ในการคัดกรองสายทางที่มีโอกาสที่ค่าความเสียดทานของผิวทางต่ำ เนื่องจากค่า MPD สามารถเก็บได้รวดเร็วกว่าการเก็บค่าความเสียดทานของผิวทางโดยตรง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการปรับปรุงสายทางในระดับโครงข่าย

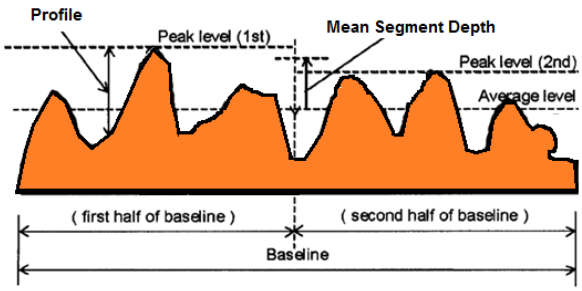
ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการว่ามีความเหมาะสมเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ก่อนจะสรุปผลการวิจัย

3. หลักการประมวลผลหาค่า MPD

ค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ (Mean Profile Depth, MPD) คือค่าที่บอกถึงลักษณะของผิวทางระดับผิวทางหยาบ (Macro-texture) ซึ่งอุปกรณ์เลเซอร์ที่ใช้ต้องมีความสามารถในการสำรวจสภาพผิวทางมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 50 มิลลิเมตร และ ความสูงคลื่นอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 20 มิลลิเมตร โดยชี้ถึงคุณภาพของผิวทางที่เกิดจากคุณสมบัติวัสดุผสม และวิธีการปูในสนาม ในปัจจุบันนิยมใช้การวัดค่าเนื้อผิวด้วยเลเซอร์ความเร็วสูง (High-speed Laser Texture Measurement) เป็นอุปกรณ์ในการสำรวจซึ่งคำนวณให้ผลออกมาในหน่วย มิลลิเมตรต่อช่วงความยาว จาก ASTM E 1845 – 09 มาตรฐานสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ ระบุไว้เกี่ยวกับมาตรฐานการเก็บข้อมูล MPD ไว้ดังนี้

- ต้องมีการกรองค่าที่วัดได้จากการสำรวจเพื่อกำจัดค่าลักษณะของผิวทางที่เป็นสัญญาณรบกวนออก รวมทั้งกำจัดสัญญาณที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสูงมากเกินไป เพื่อมิให้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องเหล่านี้เข้าสู่การคำนวณได้
- เมื่อได้ข้อมูลแล้ว นำมาหาค่าระดับเฉลี่ย จากนั้นแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน เท่าๆกัน เพื่อหาระดับสูงสุดของแต่ส่วน แล้วจึงคำนวณเป็นค่า Mean Segment Depth (MSD) ดังสมการที่ (1) จากนั้นทำการเฉลี่ยค่า MSD ตามระยะทางที่กำหนดในสายทางแล้วมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ค่า Mean Profile Depth (MPD)

$$\text{Mean Segment Depth} = \frac{Peak\ level\ (1_{st}) + Peak\ level\ (2_{nd})}{2} \qquad (1)$$



Computation of Mean Segment Depth

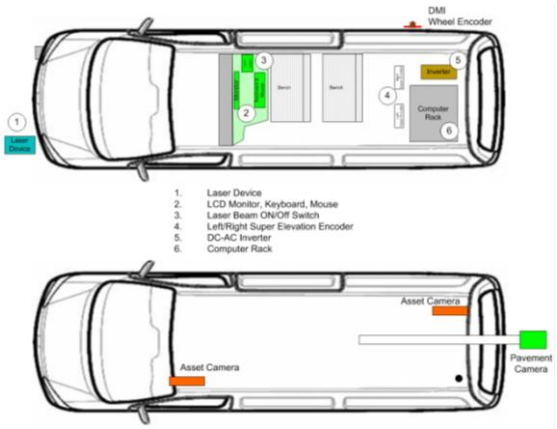
รูปที่ 4 การคำนวณค่า Mean Segment Depth
ที่มา: ASTM E 1845 – 09

4. การพัฒนาเครื่องมือและซอฟต์แวร์ต้นแบบการสำรวจและประเมินค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture)

เครื่องมือต้นแบบสำหรับสำรวจและวิเคราะห์ค่า Mean Profile Depth (MPD) ในงานวิจัยนี้ ใช้การติดตั้งอุปกรณ์ Laser Profiler

และอุปกรณ์วัดความเร่งแนวดิ่ง (Accelerometer) ซึ่งเป็นการพัฒนาระบบกล่องควบคุมอุปกรณ์สำรวจ กล่าวคือ หากกล่องควบคุมระบบสำรวจบางตัวชำรุด อุปกรณ์สำรวจที่เหลือจะมีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถทำงานต่อไปได้ ทำให้การสำรวจยังสามารถเดินหน้าไปได้ แต่อาจจะมีการเก็บข้อมูลสำรวจบางตัวไม่ครบ และเวลาในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้งสั้นลง การออกแบบในลักษณะนี้จะช่วยให้ผู้สำรวจใช้สามารถเข้าใจการทำงานของอุปกรณ์ระบบง่ายมากขึ้นกว่าเดิม รวมทั้งผู้สำรวจสามารถระบุปัญหาได้ตรงจุด

อุปกรณ์สำรวจค่า Mean Profile Depth (MPD) ที่ได้พัฒนาขึ้นถูกติดตั้งบนรถตู้สำรวจ ควบคุมการทำงานโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟภายในของรถ ที่แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้ในการทำงานระหว่างการสำรวจ สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่เดินเครื่องยนต์ไว้ โดยอุปกรณ์ต่างๆในภาพรวมแสดงในรูปที่ 1

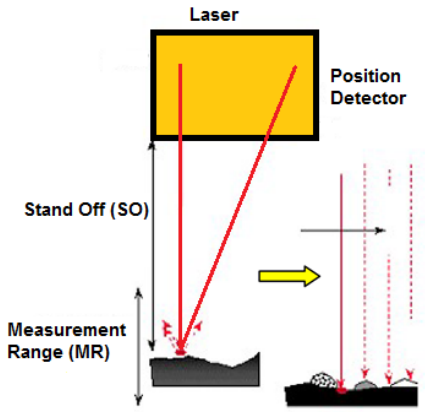


รูปที่ 1 ภาพรวมชุดอุปกรณ์สำรวจค่า MPD

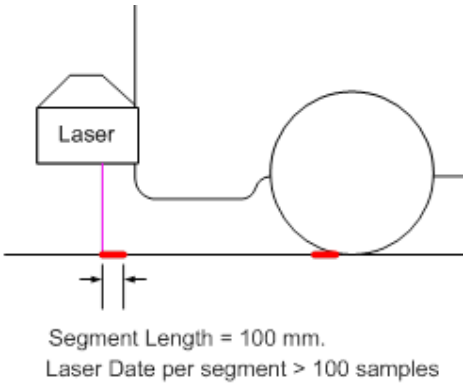
ในงานวิจัยนี้มีอุปกรณ์ Laser Profiler ทำหน้าที่หลักในการตรวจวัดค่าเนื้อผิวทาง โดยใช้การยิงลำแสงเลเซอร์ที่มีความถี่สูง ประมาณ 62,500 ครั้งต่อวินาที เพื่อวัดค่าความลึกของแต่ละจุดบนผิวทาง จากนั้นจึงจะส่งข้อมูลต่อไปยังโปรแกรมควบคุมหลักเพื่อบันทึกค่าเพื่อประมวลผลเป็นค่า MPD ในการหาค่า MPD นั้น เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้จะใช้อุปกรณ์เลเซอร์ในการวัดระยะห่างและบันทึกค่าโพรไฟล์ของผิวทาง โดยบันทึกเป็นช่วง (Segment) ช่วงละ 100 มม. แต่ละช่วงห่างกัน 900 มม. หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเก็บค่าโพรไฟล์สั้นๆทุกๆระยะ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 และ3 และในแต่ละช่วงจะเก็บค่าเลเซอร์โพรไฟล์ไม่น้อยกว่า 100 ค่า นอกจากนี้จะบันทึกค่าตำแหน่งพิกัดจีพีเอส และข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผลหาค่า MPD ต่อไป ทั้งนี้การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเก็บข้อมูลมีดังนี้

- Samples Interval $\leq$ 1 mm.

  ในการเก็บข้อมูล profile ของผิวทางเพื่อเป็นข้อมูลดิบเพื่อนำไปคำนวณหาค่า Macrotexture Mean Profile Depth นั้น ASTM E 1845 – 09 ระบุไว้ว่าต้องมีการเก็บข้อมูลในทุกๆระยะไม่เกิน 1 mm. โดยจะใช้ข้อมูลที่มีระยะสม่ำเสมอเพื่อ



รูปที่ 2 หลักการวัดโพรไฟล์ด้วยเลเซอร์



รูปที่ 3 การบันทึกค่าโพรไฟล์เป็นช่วง

ให้เพียงพอต่อความละเอียดในระดับ Macrotexture ให้มากที่สุด ในการนี้จึงออกแบบให้อุปกรณ์วัดระยะ (DMI) ส่งสัญญาณเพื่อการเก็บข้อมูลทุกๆ ระยะไม่เกิน 1 mm. ค่าที่ใช้งานวิจัยนี้คือ 0.8 mm.

- Vertical Resolution $\leq$ 0.05 mm.

  ในทุกๆ ข้อมูล profile ที่จะใช้อุปกรณ์ laser วัดในแนวดิ่งนั้นเป็นการวัดลักษณะโพรไฟล์ โดยเป็นการวัดในระดับ Macro texture ซึ่งต้องมีความละเอียดสูง ตามมาตรฐานASTM E 1845 – 09 ได้กำหนดไว้ว่าความละเอียดในแนวดิ่งต้องไม่มากกว่า 0.05 mm. ซึ่งอุปกรณ์เลเซอร์ที่จะติดตั้งสามารถทำงานที่ความละเอียดดังกล่าวได้ คือ ที่ 0.045 mm.

- Vertical Range ≥ 20 mm.
  เนื่องจากผิวทางในสภาพจริงอาจมีความสูงต่ำสลับกันไปขึ้นกับสภาพผิวทางในที่ต่างๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความสูงต่ำนี้ อุปกรณ์เลเซอร์ต้องคงความสามารถในความละเอียดแนวดิ่ง ≤ 0.05 mm. ตามที่ได้กล่าวมาและต้องมีค่าพิสัย (Range) ของความสูงต่ำตามมาตรฐาน ASTM E 1845 – 09 ระบุไว้ว่าต้องไม่น้อยกว่า 20 mm. สำหรับอุปกรณ์เลเซอร์ที่ติดตั้งนี้ มีความสามารถวัดที่ความละเอียดดังกล่าวได้ในพิสัย 180 mm. ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานดังกล่าว
- Vertical Non Linearity ≤ 2%
  เนื่องจากอุปกรณ์การวัดด้วยแสงเลเซอร์นั้นต้องมีการแปลงระยะที่วัดได้ในแนวดิ่งจาก จากค่าอานาล็อกเป็นค่าดิจิทัลซึ่งกระบวนการวัดแล้วแปลงค่านี้อาจมีความไม่เป็นเชิงเส้นได้ ASTM E 1845 – 09 ได้กำหนดไว้ให้ความไม่เป็นเชิงเส้นต้องไม่เกิน 2% สำหรับอุปกรณ์เลเซอร์ที่จะติดตั้งนี้ มีความไม่เป็นเชิงเส้นไม่เกิน 0.025 % ซึ่งดีกว่าค่ามาตรฐาน
- Angle: Emitting Device Surface Receiving Device ≤ 30°
  ในการวัดระยะห่าง (Displacement) ด้วยเลเซอร์นั้น ASTM E 1845 – 09 กำหนดไว้ว่ามุมระหว่างแนวตกกระทบของแสงเลเซอร์บนผิวทางกับแนวที่แสงสะท้อนไปสู่ตัววัดแสงนั้นต้องไม่เกิน 30° สำหรับอุปกรณ์เลเซอร์ที่จะติดตั้งนี้มีค่ามุมดังกล่าว ประมาณ 19° ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน
- Segment Length 100 mm. ± 2 mm.
  Segment length คือหนึ่งระยะของช่วงผิวทางย่อยที่เครื่องมือฯ จะต้องเก็บข้อมูลโพรไฟล์เป็นข้อมูลดิบเพื่อนำไปคำนวณค่า MPD ต่อไป เครื่องมือที่ติดตั้งนี้ มีตัววัดระยะทางที่ละเอียดไม่เกิน 1 mm. ซึ่งสามารถตั้งค่า Segment length ให้บันทึกค่าตามที่ ASTM E 1845 – 09 กำหนดได้
- Maximum Laser Spot Size 1 mm.
  Maximum Laser Spot Size คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแสงเลเซอร์ที่ใช้วัดระยะห่าง ASTM E 1845 - 09 กำหนดไว้ว่าไม่ให้เกิน 1 mm.สำหรับเครื่องมือที่ติดตั้งนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแสงเลเซอร์ 0.5 mm. เท่านั้น ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

5. ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) จากเครื่องมือ DFT และค่า MPD จากเครื่องมือต้นแบบ

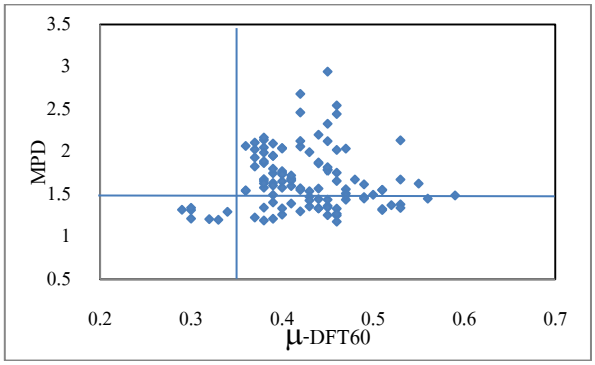
หลังการขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จึงมีการเก็บข้อมูลทั้งหมด 113 ตัวอย่าง จาก 5 สายทาง ซึ่งเป็นข้อมูลค่าความเสียดทานผิวทาง (μ) จากเครื่องมือ DFT และค่า MPD จากเครื่องมือต้นแบบ ณ ตำแหน่งเดียวกัน เวลาใกล้เคียงกัน โดยผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการใช้เครื่องมือต้นแบบเพื่อเป็นเกณฑ์คัดกรองค่าความเสียดทานผิวทาง จึงอ้างอิงถึงเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ระดับพึงระวังของต่างประเทศ (กรมทางหลวงชนบท, 2554) ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ โดยพิจารณาลักษณะทางตรงตามลักษณะเรขาคณิตของถนนที่ต้องการกำหนดหรือจำแนกเป็นเกณฑ์ในการซ่อมบำรุงถนน พบว่าเกณฑ์ค่าระดับพึงระวังของแต่ละประเทศมีลักษณะคล้ายกัน นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางถนนที่อยู่ในช่วงทางตรงจะมีค่าความเสียดทานผิวทางอยู่ในช่วง 0.35-0.45 ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยการกำหนดค่าขึ้นอยู่กับประเภทถนนและปริมาณจราจรบนถนน และพิจารณาว่าเป็นถนนสายหลักหรือสายรอง ถ้าเป็นถนนสายรอง ให้ใช้ค่าน้อย ซึ่งเมื่อพิจารณาถนนที่เลือกในการวิจัยนี้พบว่ามีปริมาณจราจรค่อนข้างต่ำ จึงควรพิจารณาเลือกใช้ค่าที่น้อยในการกำหนดเกณฑ์ระดับพึงระวัง สำหรับโครงข่ายถนน

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ระดับพึงระวังในผิวทางตรงในต่างประเทศ (กรมทางหลวงชนบท, 2554)

ลักษณะทางเรขาคณิต	ระดับพึงระวัง (Investigatory Level)		
	ออสเตรเลีย	นิวซีแลนด์	สหรัฐอเมริกา
ทางตรง	0.35-0.40	0.35-0.45	0.35-0.45

จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ให้ความสนใจ ณ ตำแหน่งค่าความเสียดทางผิวทางมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าความเสียดทานผิวทางที่ผ่านเกณฑ์ระดับพึงระวัง

ในรูปที่ 4 สังเกตได้ว่า ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD น้อยกว่า 1.5 ค่าความเสียดทางผิวทางมีการกระจายตัวสูง อาจกล่าวได้ว่าข้อมูลไม่สามารถเชื่อถือได้ แต่ ณ ตำแหน่ง MPD มากกว่า 1.5 จะให้ค่าความเสียดทานผิวทานมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิว



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางจากเครื่องมือ DFT ที่ความเร็ว 60 กม./ชม.กับค่า MPD

ทางที่ระดับพึงระวังในผิวทางตรงที่สากลยอมรับ (กรมทางหลวงชนบท, 2554) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ค่า MPD เพื่อคัดกรองค่าความเสียดทานของผิวทางที่อยู่เหนือระดับพึงระวัง แต่อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยยังขาดข้อมูล ณ ตำแหน่งที่มีความเสียดทานผิวทางต่ำ ในอนาคตจึงควรมีการสำรวจข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียทางผิวทางและค่า MPD เพิ่มเติม

6. สรุป

ผลจากการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อเก็บข้อมูล Mean Profile Depth (MPD) โดยใช้เทคโนโลยี High-Speed Laser Texture Measurement ทำให้สามารถเข้าใจถึงการสำรวจและการประเมินลักษณะของผิวทางระดับผิวทางหยาบ (Macro-texture) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของค่าความเสียดทานผิวทาง เพื่อการเตรียมความพร้อมของงานสำรวจและเก็บข้อมูลในระดับโครงข่ายอย่างยั่งยืน โดยสามารถพัฒนาเครื่องมือต้นแบบได้ตามที่มาตรฐานสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ (ASTM, 2009) กำหนดไว้ และจากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) จากเครื่องมือทดสอบ DFT และค่า MPD จากเครื่องมือต้นแบบ High-Speed Laser Texture Measurement ผู้วิจัยได้พบข้อสังเกตเบื้องต้นในการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ กล่าวคือ อาจสามารถใช้ข้อมูล MPD เพื่อคัดกรองค่าความเสียดทานที่มีค่ามากกว่าระดับพึงระวัง โดยอ้างอิงถึงเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ระดับพึงระวังของต่างประเทศ เพื่อลดข้อจำกัดทางด้านต้นทุนและระยะเวลาใน เก็บข้อมูลเพื่อวางแผนและยกระดับค่าความเสียดทานของผิวทางได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวงชนบท ที่ให้ทุนสนับสนุนในการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบสำหรับทดสอบค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย และให้คำเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทางหลวงชนบท. (2554). โครงการศึกษาค่าความเสียดทานของผิวทางเพื่อปรับปรุงสภาพกายภาพของทางหลวงชนบท. เข้าถึงได้จาก http://masterplan.drr.go.th/homePage.html

[2] กรมทางหลวงชนบท. (2554). รายงานการสำรวจและวิเคราะห์สภาพค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ในบริเวณจุดเสี่ยงอันตราย.

[3] คุณามาศ พันธุเตชะ, วิศณุ ทรัพย์สมพล, สมเกียรติ ทองโต, ชูชัย พนัสอัมพร, และ วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร. (2554). ระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวงชนบท. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16. มหาวิทยาลัยมหิดล.

[4] ภาควิชาวิศวกรรมขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. (2007). ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย Thailand Accident Research Center (TARC). เข้าถึงเมื่อ 6 2, 2013, from http://www.tarc.or.th

[5] ASTM. (2009). *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth,* West Conshohocken.

[6] NCHRP. (2005). *Guide for Pavement Friction*. WASHINGTON, D.C.: Transportation Research Board.

[7] Jeffrey S. Kuttesch. (2004). Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data. *Thesis.*

[8] Amin El Gendy and Ahmed Shalaby(2004). Mean Profile Depth of Pavement Surface Macrotexture Using Photometric Stereo Techniques. ASCE.

[9] Murat Ergun. Sukriye Iyinam. And A. Faik Iyinam. (2005). Prediction of Road Surface Friction Coefficient Using Only Macro- and Microtexture Measurements. ASCE.

[10]Don L. Ivey, Lindsayi. Griffin, III, Tommy M. Newton and Robertl . Lytton. (1973). *Predicting Wet Weather Accidents*. State Department of Highways and Public Transportation. Austin.

[11]I.A. Fulop,I Bogardi,A Gulyas and M Csicsely Tarpay. (2000). Use of Friction and Texture In Pavement Performance Modeling.