



โครงการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบการสำรวจและ
ประเมินค่าความเสียดทานของผิวทางเพื่อความปลอดภัย
Study and Development of Prototype to Explore
and Evaluate the Pavement Friction for Safety.

สมัย โชติสกุล¹, สันติภาพ ศิริยงค์¹, พรหมชาติ พรหมชาติ¹, วิศณุ ทรัพย์สมพล¹, สืบสกุล พิภพมงคล¹
นันทวัฒน์ ลือสิงหนาท² และ วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร³

^{1,2,3} สำนักอำนวยความปลอดภัยกรมทางหลวงชนบทกระทรวงคมนาคม

^{4,5,6,7} หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการโครงสร้างพื้นฐานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิธีการเก็บข้อมูลความเสียดทานในปัจจุบันยังไม่สามารถนำมาใช้กับการจัดการในระดับโครงข่ายได้ โดยมีข้อจำกัดคือระยะเวลาในการเก็บข้อมูลไม่ทันต่อการนำไปใช้บริหารจัดการสายทางของกรมทางหลวงชนบท โครงการนี้จึงกล่าวถึงการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR เพื่อเก็บค่าเฉลี่ยความลึกโปรไฟล์ของผิวทาง อันเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเสียดทานของผิวทาง จึงเป็นที่มาของแนวคิดการเก็บค่าเฉลี่ยความลึกโปรไฟล์ (MPD) เพื่อใช้คัดกรองผิวทางให้ระดับความเสียดทานต่างๆ อย่างไรก็ตามการเก็บข้อมูลดังกล่าว มีข้อจำกัดด้านต้นทุนที่สูง ซึ่งเป็นผลมาจากราคาของเครื่องสำรวจ ทั้งนี้เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของงานสำรวจและประเมินสภาพความเสียดทานของผิวทางในระดับโครงข่ายของกรมทางหลวงชนบทอย่างยั่งยืน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อประเมินค่าลักษณะของผิวทางในระดับประเมินผิวทางแบบหยาบ โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM E 1845 และทำการสอบเทียบกับเครื่องมือสำรวจค่าเฉลี่ยความลึกโปรไฟล์ที่ได้มาตรฐานสากล รวมถึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความลึกโปรไฟล์กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) โดยพบว่าผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางมากกว่าระดับพึงระวัง ที่ 0.35 ดังนั้นค่า MPD จึงสามารถใช้เพื่อคัดกรองสายทางที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากกว่าระดับพึงระวังได้โครงการนี้ยังได้เสนอแนวทางการปรับปรุงสายทางในระดับโครงข่ายที่ทราบค่า MPD เพื่อช่วยการวางแผนการซ่อมบำรุงผิวทางจากค่าความเสียดทานของผิวทางเพื่อยกระดับความปลอดภัยบนท้องถนน

คำสำคัญ: ค่าเฉลี่ยความลึกโปรไฟล์, ระดับประเมินผิวทางแบบหยาบ, ค่าความเสียดทานของผิวทาง, เลขอร์ความเร็วสูง

Abstract

This project presents the development of a prototype device to measure Mean Profile Depth (MPD) as Laser MPD: DRR, which indicates the characteristic of macro pavement texture. Theoretically, macro texture is a key factor that affects pavement friction. The main idea of this research is to use MPD as a surrogate factor to reflect the pavement friction at the investigatory level, since MPD can be measured with faster and more cost-effective than measuring pavement friction directly. The MPD measuring device is developed based on the ASTM E 1845. From correlation analysis between MPD and coefficient of friction (μ) of sample pavements, it was found that if MPDs are higher than 1.5 millimeter, all coefficients of pavement friction (μ) would be higher than the required investigatory level at 0.35. Therefore, MPD can be used as a threshold to reduce needs of direct friction measurement of all pavements especially at the investigatory level. As a result, it can save cost and time of data collection for friction management at a network level planning, in order to promoting the current security standard of maintenance plan for rural roads safety.

Keywords: Mean Profile Depth, Macro-texture, Pavement Friction

1. คำนำ

กรมทางหลวงชนบท ซึ่งมีภารกิจในงานด้านการอำนวยความปลอดภัยทางถนน ครอบคลุมถึง การยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยโครงข่ายทางหลวงชนบท เพื่อให้ผู้ใช้ทางสามารถใช้ถนนและสัญจร

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)

E-mail address: Nuntawat_n@hotmail.com

ได้อย่างปลอดภัย อย่างไรก็ตามงานระดับมาตรฐานความปลอดภัยในปัจจุบันนี้ยังไม่มี การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลความปลอดภัยของผิวทางในระดับโครงข่ายอย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูงอันเนื่องมาจากความปลอดภัยของผิวทาง

จากโครงการศึกษาค่าความปลอดภัยของผิวทางเพื่อปรับปรุงสภาพกายภาพของทางหลวงชนบท ได้เสนอแนวทางการบริหารจัดการความปลอดภัยของผิวทางโครงข่ายทางหลวงชนบท โดยอาศัยเทคโนโลยีการสำรวจสภาพความปลอดภัยของผิวทางที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมกับสายทางของกรมทางหลวงชนบท อันสามารถดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว ใช้จำนวนเจ้าหน้าที่และค่าใช้จ่ายในการสำรวจไม่มาก โดยได้นำเสนอเครื่องมือสำรวจ High-speed Laser Measurement มาประยุกต์ใช้กับกรมทางหลวงชนบท

จากการศึกษาวิจัยในต่างประเทศพบว่าข้อมูลค่า Mean Profile Depth (MPD) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของผิวทาง (μ) [1] โดยขึ้นกับวัสดุก่อสร้างและเทคโนโลยีการก่อสร้างหรือซ่อมบำรุงแต่เนื่องจากเครื่องมือสำรวจค่า MPD ประเภท High-speed Laser Measurement ของต่างประเทศมีราคาสูง จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อประเมินค่า MPD ของผิวทาง ประกอบกับศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD กับค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของผิวทาง (μ) บนสายทางของกรมทางหลวงชนบท เพื่อสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลค่า MPD ในการวางแผนงบประมาณและงานอำนวยความสะดวกได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. บททบทวนปริทัศน์และทฤษฎีพื้นฐาน

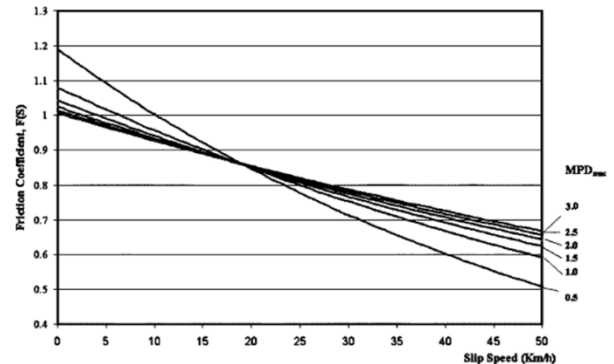
จาก Guide for Pavement Friction [2] ระบุว่าความปลอดภัยของผิวทางได้รับผลมาจากสองปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น โดยองค์ประกอบนั้นคือแรง Adhesion และ Hysteresis แม้ว่ามีส่วนประกอบอื่น ๆ ในแรงเสียดทานผิวทาง เช่น ผิวยางล้อรถ แต่ส่วนประกอบอื่นนั้นไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแรง Adhesion และ Hysteresis ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าความปลอดภัยสามารถทดสอบได้จากผลรวมของแรง Adhesion และ Hysteresis

แรง Adhesion เป็นแรงเสียดทานที่เกิดจากการเชื่อมหรือหน่วงจากวัสดุขนาดเล็กกับยางยานพาหนะ โดยค่าของแรง Adhesion จะแปรผันตรงกับแรงเฉือนและขนาดพื้นที่ที่สัมผัส ซึ่งส่วนใหญ่จะขึ้นกับลักษณะพื้นผิวละเอียด (Micro Texture)

แรง Hysteresis เป็นองค์ประกอบหลักของแรงเสียดทานซึ่งเกิดจากการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของยาง เมื่อยางบีบอัดกับพื้นผิวทาง การกระจายความเครียดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างยางถูกเก็บไว้ภายในยาง พลังงานส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแรงเสียดทานเพื่อช่วยหยุดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในขณะที่ส่วนอื่น ๆ จะหายไปในรูปแบบของความร้อน ส่วนใหญ่จะขึ้นกับลักษณะพื้นผิวหยาบ (Macro Texture)

และในปัจจุบันนิยมใช้ค่า MPD เป็นตัวแทนในการวัดค่าพื้นผิวหยาบ (Macro Texture)

นอกจากนี้ยังมีวิจัยของ Murat Ergun [3] ได้วิจัยเกี่ยวกับการคาดการณ์ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยจากการวัดค่าลักษณะพื้นผิวหยาบ (Macro Texture) โดยสำรวจค่า MPD จากตัวอย่างสายทางในประเทศเบลเยียมจำนวน 18 สายทาง จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า MPD มีผลต่อการระบายน้ำระหว่างล้อรถกับผิวทางและมีผลต่อความปลอดภัยของผิวทาง กล่าวคือ เมื่อรถใช้ความเร็วมากกว่า 18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยจะแปรผันตรงกับค่า MPD



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD และค่าความปลอดภัย

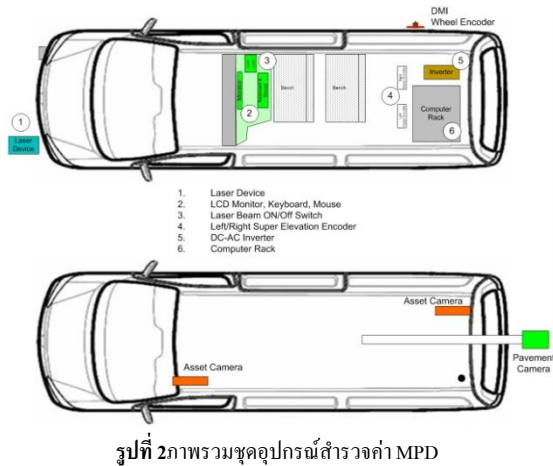
ค่า Mean Profile Depth (MPD) คือตัวชี้วัดสภาพความขรุขระของผิวทางระดับผิวทางหยาบ (Macro-texture) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 50 มิลลิเมตร และ ความสูงคลื่นอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 20 มิลลิเมตร โดยชี้ถึงคุณภาพความขรุขระของผิวทางที่เกิดจากคุณสมบัติวัสดุผสม และวิธีการปูในสนาม นิยมใช้ High-speed Laser Texture Measurement เป็นอุปกรณ์ในการสำรวจซึ่งคำนวณให้ผลออกมาในหน่วย มิลลิเมตร ตาม ASTM E 1845 [4] มาตรฐานสำหรับการคำนวณค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ (Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth) และงานวิจัยของ Nicholas R. Fisco [5]

3. การพัฒนาเครื่องมือต้นแบบ

เครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR สำหรับสำรวจและวิเคราะห์ค่า Mean Profile Depth (MPD) ในงานวิจัยนี้ ทำโดยติดตั้งอุปกรณ์ Laser MPD และอุปกรณ์วัดความเร่งแนวตั้ง (Accelerometer) อันเป็นการพัฒนาระบบกล้องควบคุมอุปกรณ์สำรวจ กล่าวคือ หากกล้องควบคุมระบบสำรวจบางตัวชำรุด อุปกรณ์สำรวจที่เหลือจะมีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถทำงานต่อไปได้ ทำให้การสำรวจยังสามารถเดินหน้าไปได้ เวลาในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้งสั้นลง การออกแบบในลักษณะนี้จะช่วยให้ผู้สำรวจใช้สามารถเข้าใจการทำงานของอุปกรณ์ระบบง่ายมากขึ้นกว่าเดิม ทั้งผู้สำรวจสามารถระบุปัญหาได้ตรงจุด

อุปกรณ์สำรวจค่า Mean Profile Depth (MPD) ที่ได้พัฒนาขึ้นถูกติดตั้งบนรถผู้สำรวจ ควบคุมการทำงานโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟภายในของรถ ที่แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้ใน

การทำงานระหว่างการสำรวจ สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา
ที่เดินเครื่องยนต์ไว้ โดยแสดงภาพรวมของอุปกรณ์ต่างๆดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพรวมชุดอุปกรณ์สำรวจค่า MPD

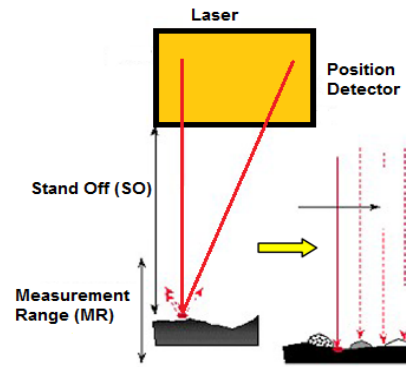
ในงานวิจัยนี้มีอุปกรณ์ Laser MPD ทำหน้าที่หลักในการตรวจวัดค่า
เนื้อผิวทาง โดยทำการยิงลำแสงเลเซอร์ซึ่งมีความถี่สูง 62,500 ครั้งต่อ
วินาที เพื่อการคำนวณค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง จากนั้นจึงจะ
ส่งข้อมูลไปยังโปรแกรมควบคุมหลักเพื่อบันทึกค่าเพื่อประมวลผลใน
การประมวลผลค่า MPD นั้น เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นจะใช้อุปกรณ์เลเซอร์
ในการวัดระยะห่างและบันทึกค่าโพรไฟล์ของผิวทาง โดยบันทึกเป็นช่วง
(Segment) ช่วงละ 100 มิลลิเมตร แต่ช่วงห่างกัน 900 มิลลิเมตร หรือ
อีกนัยหนึ่งคือเก็บค่าโพรไฟล์ทุกๆระยะ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3, 4 และ
ในแต่ละช่วงจะเก็บค่าเลเซอร์โพรไฟล์ไม่น้อยกว่า 100 ค่านอกจากนี้
บันทึกค่าตำแหน่งพิกัดจีพีเอส และข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆไว้อีกด้วย ค่าที่
ได้จะถูกบันทึกไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผลต่อไป ใน
การประมวลผลเพื่อหาค่า MPD นั้นมีค่าพารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับ
การเก็บข้อมูลดังนี้

- Samples Interval ≤ 1 มิลลิเมตร

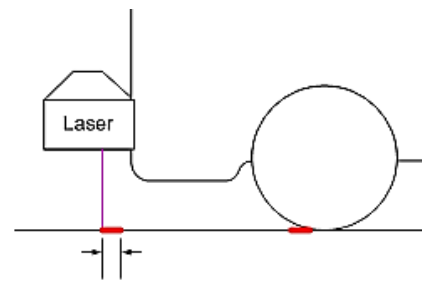
ในการเก็บข้อมูลของผิวทางเพื่อเป็นข้อมูลดิบเพื่อนำไป
คำนวณหาค่า MeanProfileDepth นั้น ASTM E-1845 ระบุไว้ว่า
ต้องมีการเก็บข้อมูลในทุกๆ ระยะไม่เกิน 1 มิลลิเมตร โดยจะใช้
ข้อมูลที่มีระยะสม่ำเสมอเพื่อให้เพียงพอต่อความละเอียดใน
ระดับ Macro texture มากที่สุด จึงออกแบบให้อุปกรณ์วัดระยะ
(DMI) ส่งสัญญาณเพื่อการเก็บข้อมูลทุกๆ ระยะไม่เกิน 1
มิลลิเมตร ค่าที่ใช้งานวิจัยนี้คือ 0.8 มิลลิเมตร

- Vertical Resolution ≤ 0.05 มิลลิเมตร

ในทุกๆข้อมูลที่จะใช้อุปกรณ์ Laser วัดในแนวตั้งนั้นเป็นการ
วัดลักษณะโพรไฟล์ โดยเป็นการวัดในระดับ Macro texture ซึ่ง
ต้องมีความละเอียดสูง ตามมาตรฐานASTME-1845 ได้กำหนด
ไว้ว่าความละเอียดในแนวตั้งต้องไม่มากกว่า 0.05 มิลลิเมตรซึ่ง
อุปกรณ์เลเซอร์ที่จะติดตั้งสามารถทำงานที่ความละเอียด
ดังกล่าวได้ คือ ที่ 0.045 มิลลิเมตร



รูปที่ 3 หลักการวัดโพรไฟล์ด้วยเลเซอร์



รูปที่ 4 การบันทึกค่าโพรไฟล์เป็นช่วง

- Vertical Range ≥ 20 มิลลิเมตร

เนื่องจากผิวทางในสภาพจริงอาจมีความสูงต่ำสลับกันไปขึ้นกับ
สภาพผิวทางในที่ต่างๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความสูงต่ำนี้
อุปกรณ์เลเซอร์ต้องคงความสามารถในความละเอียด
แนวตั้ง ≤ 0.05 มิลลิเมตร ตามที่ได้กล่าวมาและต้องมีค่าพิสัย
(Range) ของความสูงต่ำตามมาตรฐาน ASTM-1845 ระบุไว้ว่า
ต้องไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร สำหรับอุปกรณ์เลเซอร์ที่ติดตั้งนี้
มีความสามารถวัดที่ความละเอียดดังกล่าวได้ในพิสัย 180
มิลลิเมตรซึ่งเกินกว่ามาตรฐานดังกล่าว

- Vertical Non Linearity $\leq 2\%$

เนื่องจากอุปกรณ์การวัดด้วยแสงเลเซอร์นั้นต้องมีการแปลง
ระยะที่วัดได้ในแนวตั้งจาก จากค่าอานาล็อกเป็นค่าดิจิทัลซึ่ง
กระบวนการแปลงค่านี้มีอาจมีความไม่เป็นเชิงเส้นได้ASTME-
1845 ได้กำหนดไว้ให้ความไม่เป็นเชิงเส้นต้องไม่เกิน 2%
สำหรับอุปกรณ์เลเซอร์ที่จะติดตั้งนี้ มีความไม่เป็นเชิงเส้นไม่
เกิน 0.025 % ซึ่งดีกว่ามาตรฐาน

- Angle: Emitting Device Surface Receiving Device $\leq 30^\circ$

ในการวัดระยะห่าง (Displacement) ด้วยเลเซอร์นั้น ASTM-
1845 กำหนดไว้ว่ามุมระหว่างแนวคกระทบของแสงเลเซอร์
บนผิวทางกับแนวที่แสงสะท้อนไปสู่ตัววัดแสงนั้น ต้องไม่เกิน
 30° สำหรับอุปกรณ์เลเซอร์ที่จะติดตั้งนี้มีค่ามุมดังกล่าว
ประมาณ 19° ซึ่งไม่เกินค่าดังกล่าว

- Segment Length 100 มิลลิเมตร ± 2 มิลลิเมตร

Segment length คือหนึ่งระยะของช่วงผิวทางย่อยที่เครื่องมือจะต้องเก็บข้อมูลโพรไฟล์เป็นข้อมูลดิบเพื่อนำไปคำนวณค่า MPD ต่อไป เครื่องมือที่คิดตั้งนี้ มีตัววัดระยะทางที่ละเอียดไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถตั้งค่า Segment length ให้บันทึกค่าตามที่ ASTM-E-1845 กำหนดได้

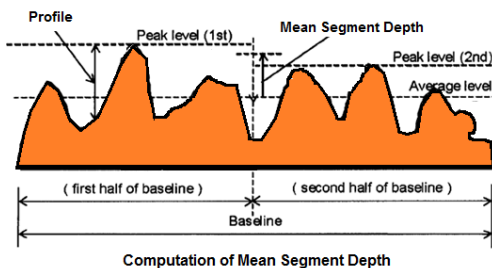
- Maximum Laser Spot Size 1 มิลลิเมตร

Maximum Laser Spot Size คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแสงเลเซอร์ที่ใช้ระยะห่าง ASTM E-1845 กำหนดไว้ว่าไม่ให้เกิน 1 มิลลิเมตร สำหรับเครื่องมือที่คิดตั้งนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแสงเลเซอร์ 0.5 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

ซึ่งข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ต้นแบบนี้จะบอกถึงค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ (Mean Profile Depth, MPD) ค่าที่บอกถึงลักษณะของผิวทางระดับผิวทางหยาบ (Macro-texture) ในปัจจุบันนิยมใช้การวัดค่าเนื้อผิวด้วยเลเซอร์ความเร็วสูง (High-speed Laser Texture Measurement) ซึ่งมีมาตรฐานสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ (Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth) ASTM E 1845 - 09 เป็นตัวกำหนดวิธีการวัด โดยระบุไว้เกี่ยวกับมาตรฐานการเก็บข้อมูล MPD ดังนี้

- ต้องมีการกรองค่าที่วัดได้จากการสำรวจเพื่อกำจัดค่าลักษณะของผิวทางที่เป็นสัญญาณรบกวนออก รวมทั้งกำจัดสัญญาณที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสูงมากเกินไป เพื่อมิให้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องเหล่านี้เข้าสู่การคำนวณได้
- เมื่อได้ข้อมูลแล้วนำมาหาค่าระดับเฉลี่ย จากนั้นแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน เท่าๆกัน เพื่อหาระดับสูงสุดของแต่ละส่วน แล้วจึงคำนวณเป็นค่า Mean Segment Depth (MSD) ดังสมการข้างล่างนี้ จากนั้นทำการเฉลี่ย MSD ตามระยะทางที่กำหนดในสายทางแล้วมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ค่า Mean Profile Depth (MPD) ซึ่งสมการในการคำนวณค่า MPD ที่ได้จากเครื่องมือสำรวจ คือ

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



รูปที่ 5 การคำนวณค่า Mean Segment Depth ที่มา: ASTM E 1845 - 09

4. การสอบเทียบเครื่องมือ

ในโครงการนี้ได้จัดทำการสอบเทียบเครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR กับเครื่องมือที่ได้มาตรฐานสากลโดยเลือกให้เครื่องมือ Laser MPD : HAWKEYE เป็นตัวสอบเทียบ ข้อสังเกตเบื้องต้นจากผลจากการเปรียบเทียบข้อมูลจากเครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR และเครื่องมือทดสอบ Laser MPD : HAWKEYE คือ ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) ที่ได้จากเครื่องมือต้นแบบจะให้ค่าที่ต่ำกว่าเครื่องมือทดสอบ Laser MPD : HAWKEYE ในทุกๆสายทางแต่มีรูปแบบคลื่นที่สอดคล้องกัน ($R^2 = 0.68$) จึงสุ่มเลือกข้อมูลจาก 3 สายทางเพื่อมาสร้างสมการปรับความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือต้นแบบ โดยสายทางที่เลือกคือ สายทางที่ 3023, 3025, 5026 และใช้อีกหนึ่งสายทางที่เหลือคือสายทางที่ 3022 เป็นตัวทดสอบสมการที่ได้สร้างขึ้น โดยได้สมการดังนี้

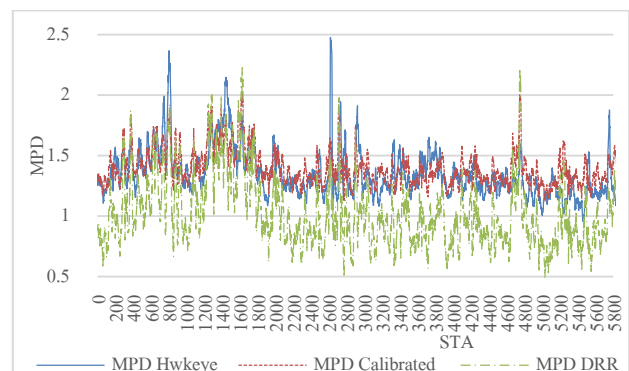
$$MPD_{\text{Calibrated}} = 0.5188 \times MPD_0 + 0.8657(2)$$

โดย

$MPD_{\text{Calibrated}}$ = ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยที่ได้ปรับค่าให้เท่ากับเครื่องมือตรวจวัดสภาพผิวทาง Laser Profiler: HAWKEYE

MPD_0 = ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR

จากนั้นใช้สายทางที่เหลือคือสายทางที่ 3022 เป็นตัวทดสอบสมการที่ได้สร้างขึ้นโดยนำไปเทียบกับค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือทดสอบ Laser MPD : HAWKEYE โดยได้ผลการสอบเทียบใหม่ ดังนี้



รูปที่ 6 ผลการสอบเทียบหลังใช้สมการแก้ไข

จากการใช้สมการที่สร้างขึ้นจากสายทางที่ 3023, 3025, 5026 มาปรับค่าเพื่อสอบเทียบสายทางที่ 3022 จะเห็นได้ว่าค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยเครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR และ เครื่องมือตรวจวัดสภาพผิวทาง Laser MPD : HAWKEYE มีความสอดคล้องกันมากขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่าสมการที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้เพื่อปรับค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยที่ได้เครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR ให้เป็นค่าที่จะนำไปใช้อ้างอิงในการสำรวจได้

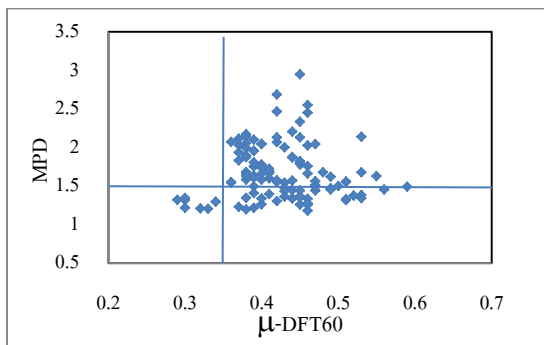
5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

จากการเก็บข้อมูลทั้งหมด 113 ตัวอย่างทดสอบ จาก 5 สายทางได้มีข้อสังเกตเบื้องต้นในการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) จากเครื่องมือทดสอบ DFT และค่า MPD จากเครื่องมือทดสอบต้นแบบ Laser MPD : DRR โดยอ้างอิงถึงเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ระดับพึงระวังของแต่ละประเทศอันได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศออสเตรเลีย และประเทศนิวซีแลนด์โดยพิจารณาลักษณะทางตรง ตามลักษณะเรขาคณิตของถนนที่ต้องการกำหนดหรือจำแนกเป็นเกณฑ์ในการซ่อมบำรุงถนน เมื่อพิจารณาพบว่าเกณฑ์แต่ละประเทศมีลักษณะคล้ายกัน นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางถนนที่อยู่ในช่วงทางตรงจะมีค่าความเสียดทานผิวทางอยู่ในช่วง 0.35-0.45 ดังตารางที่ 1 โดยการกำหนดค่าในลักษณะช่วงขึ้นอยู่กับประเภทถนนและปริมาณจราจรบนถนนนั้นๆ

ตารางที่ 1 ระดับพึงระวังในผิวทางตรงในต่างประเทศ

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

จากข้อมูลดังกล่าวจึงได้ให้ความสนใจ ณ ตำแหน่งที่ MPD มีค่ามากกว่า 1.5 มิลลิเมตรซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเสียดทานผิวทางมากกว่า 0.35 ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นค่าความเสียดทานผิวทางที่ต่างประเทศแนะนำ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ความเสียดทานของผิวทางกับค่า MPD

สังเกตได้ว่า ณ ตำแหน่ง MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตรจะให้ค่าความเสียดทานผิวทางมากกว่า 0.35 แต่ ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) มากจึงไม่สามารถสรุปได้และจากการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่างโดยโปรแกรม SPSS ที่ระดับความมั่นใจ 99 %ออกกล่าวได้ว่า ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ค่าความเสียดทานจะมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ระดับพึงระวังในผิวทางตรงที่

สากลยอมรับจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ค่า MPD เพื่อคัดกรองค่าความเสียดทานของผิวทางที่อยู่เหนือระดับพึงระวัง

6. การจัดการความเสียดทานของโครงข่ายทางหลวงชนบท

การบริหารจัดการความเสียดทานของผิวทางโครงข่ายทางหลวงชนบท ในระดับบริหาร โครงข่าย (Network Level) โดยพิจารณาข้อมูลจากเครื่องมือสำรวจต้นแบบ Laser MPD : DRR เป็นตัวคัดกรองข้อมูลค่าความเสียดทานก่อน จากนั้นพิจารณาสายทางที่มีอุบัติเหตุเนื่องจากการลื่นไถล ซึ่งภายหลังจากที่ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลความเสียดทานของผิวทางโครงข่ายของกรมทางหลวงชนบททั่วประเทศเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงเป็นขั้นตอนการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) ที่ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) ควบคู่กับข้อมูลอุบัติเหตุ ซึ่งสามารถจำแนกแนวทางการวิเคราะห์ได้ 2 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) โดยใช้เครื่องมือสำรวจ Laser MPD : DRR เพื่อคัดกรองค่าความเสียดทานผิวทาง หากพบว่า มีค่าสูงกว่าระดับพึงระวัง (Investigatory Level) แสดงให้เห็นว่า สายทางหรือช่วงบริเวณนั้น ณ เวลานั้น มีความปลอดภัยจากอุบัติเหตุทางกายภาพที่เกิดจากความเสียดทานของผิวทาง แต่ทั้งนี้ให้พิจารณาข้อมูลอุบัติเหตุที่เกิดจากความเสียดทานต่ำ ประกอบหากพบว่าสายทางหรือช่วงบริเวณนั้นเกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง ให้พิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีชี้วัดความปลอดภัยทางถนน (Road safety index: RSI) ในการอำนวยความสะดวกและ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายต่อไป

กรณีที่ 2 ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) โดยใช้เครื่องมือสำรวจ Laser MPD : DRR บนสายทางหรือช่วงบริเวณนั้นหากพบว่า มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับพึงระวัง (Investigatory Level) ให้พิจารณาข้อมูลอุบัติเหตุที่เกิดจากความเสียดทานต่ำ ควบคู่กันไป เมื่อพบว่า มีจำนวนอุบัติเหตุบ่อย ให้ดำเนินการอำนวยความสะดวกเบื้องต้น เช่น ติดตั้งป้ายเตือนติดตั้งราวกันอันตราย เพิ่มไฟสัญญาณจราจร เป็นต้น พร้อมทั้งควรตรวจสอบและเฝ้าติดตามระดับค่าความเสียดทานของผิวทาง โดยเครื่องมือสำรวจอย่างละเอียดเช่น Dynamic Friction Tester: DFT หรือ Locked-wheel Friction Tester หรือ British Pendulum เป็นระยะๆ แต่ถ้าพบว่า มีจำนวนอุบัติเหตุบ่อยให้รีบดำเนินการสำรวจค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง (μ) อย่างละเอียดโดยใช้เครื่องมือ Dynamic Friction Tester: DFT หรือ Locked-wheel Friction Tester หรือ British Pendulum ประกอบกับผู้เชี่ยวชาญดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบและวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางอำนวยความสะดวก และ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตราย ต่อไป โดยระหว่างที่รอการดำเนินการอำนวยความสะดวก และ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยง

อันตราย ให้มีการอำนวยความสะดวกเบื้องต้น เช่น ติดตั้งป้ายเตือน ติดตั้งรั้วกั้นอันตราย เพิ่มไฟสัญญาณจราจร เป็นต้น

ขั้นตอนถัดไปเป็นการจัดทำแผนงานอำนวยความสะดวก และ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายที่มีปัญหาทางด้านความเสียหายของผิวทาง ประจำปีงบประมาณ โดยรวบรวมแผนงานจากหน่วยงานทั่วประเทศ ได้แก่ สำนักทางหลวงชนบท และสำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัด ประกอบกับข้อมูลจากฐานข้อมูลระบบบริหารวิศวกรรมความปลอดภัย (Safety Maintenance System: SMS) ในการจัดทำแผนงาน และเสนอกรอบงบประมาณต่อไป

ภายหลังจากได้งบประมาณขั้นตอนถัดไปเป็นการอำนวยความสะดวก และ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายที่มีปัญหาทางด้านความเสียหายของผิวทาง ตามแผนงานที่ได้เสนอ ทั้งนี้ให้มีการติดตามและการรายงานผลข้อมูลการอำนวยความสะดวก และ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายพร้อมทั้งดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลความเสียหายของผิวทางในโครงข่ายของกรมทางหลวงชนบททั่วประเทศเป็นประจำในทุกๆ ปีแนวทางการบริหารจัดการความเสียหายของผิวทางโครงข่ายทางหลวงชนบทในระดับโครงข่ายของกรมทางหลวงชนบทแสดงดังรูปที่ 8

7. ผลการสำรวจสภาพผิวทาง ในบริเวณจุดเสี่ยงอันตราย

การจากกลุ่มสำรวจค่าความเฉลี่ยความลึกโพรงไฟร์ระยะทาง 210 กิโลเมตร และอ้างอิงจากเกณฑ์ที่ทางที่ได้กล่าวมา คือ ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ค่าความเสียหายจะมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพื้นผิวในผิวทางตรงที่สากลยอมรับ จึงแบ่งระดับสายทางที่ทำการสำรวจมาแล้วออกเป็น 3 ระดับได้แก่

- ค่า MPD เกิน 1.5 มิลลิเมตรมากกว่า 50% ของระยะทาง ซึ่งไม่จำเป็นต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อปรับปรุง แต่ในสายทางอาจมีค่า MPD ที่น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตรเป็นบางจุด ซึ่งอาจทำการสำรวจค่าความเสียหายโดยละเอียดเพื่อปรับปรุงค่าความเสียหายผิวทางเป็นระยะทางสั้นๆ ได้จากผลการสำรวจพบมีจำนวน 8 สายทาง

- ค่า MPD เกิน 1.5 มิลลิเมตรมากกว่า 25% แต่ไม่ถึง 50% ของระยะทาง เป็นสายทางที่บางระยะทางมีความเสี่ยงต้องเข้าไปเพื่อตรวจสอบค่าความเสียหายผิวทางโดยละเอียด อาจตรวจสอบร่วมกับประวัติอุบัติเหตุในสายทางนั้นๆ เพื่อเป็นตัวชี้วัดความปลอดภัยในสายทางนั้น จากผลการสำรวจพบมีจำนวน 8 สายทาง

- ค่า MPD เกิน 1.5 มิลลิเมตรน้อยกว่า 25% ของระยะทาง มีความเสี่ยงต้องเข้าไปเพื่อตรวจสอบค่าความเสียหายผิวทางโดยละเอียดตลอดทั้งสาย จากผลการสำรวจพบมีจำนวน 4 สายทาง

ดังสรุปในตารางที่ 2

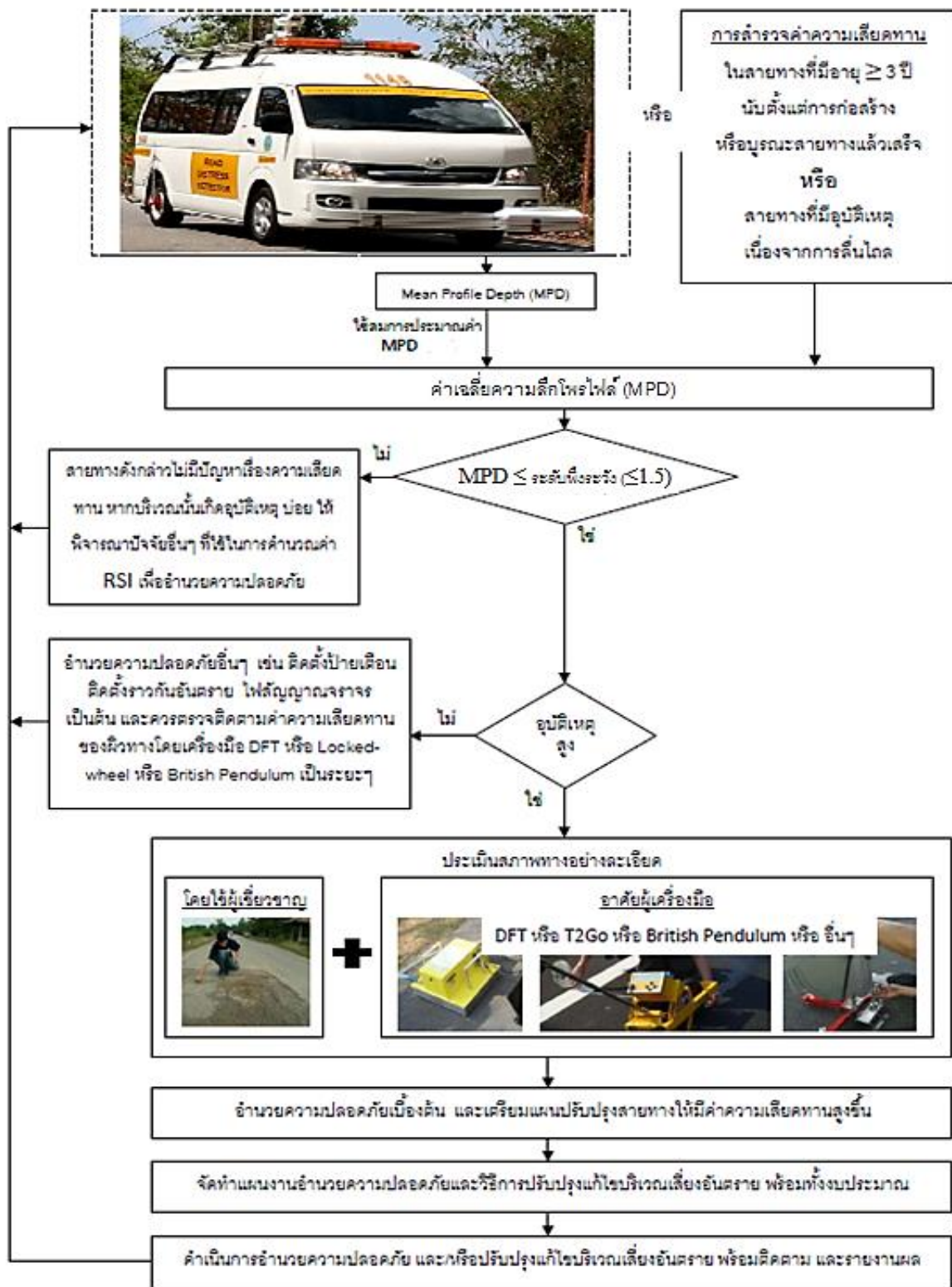
8. สรุป

ผลการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR สำรวจ MPD โดยการสอบเทียบเครื่องมือระหว่างเครื่องมือต้นแบบกับเครื่องมือทดสอบที่ได้มาตรฐานสากลซึ่งได้พัฒนาสามารถปรับแก้ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อปรับแก้ค่าความลึกโพรงไฟร์เฉลี่ยที่ได้เครื่องมือต้นแบบ จากการสอบเทียบหลังจากใช้สามารถปรับแก้พบว่า ค่าจากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องมือทดสอบ Laser MPD : HAWKEYE มีความใกล้เคียงกันดังนั้นสามารถปรับแก้ที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น สามารถใช้เพื่อปรับแก้ค่าความลึกโพรงไฟร์เฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือต้นแบบ เพื่อให้ผลของการวัดสามารถเทียบได้กับเครื่องมือมาตรฐาน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทาง (μ) กับค่า MPD ของเครื่องมือต้นแบบ Laser MPD : DRR จากการทดสอบทางสถิติอาจกล่าวได้ว่า ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมีความแตกต่างและแยกกันอิสระอย่างชัดเจน โดยเชื่อมโยงถึงการพิจารณาลักษณะสภาพพื้นผิวของถนนในระดับ Macro Texture และ Micro Texture ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของค่าความเสียหายผิวทาง แต่ค่า MPD สามารถสะท้อนได้ถึงระดับ Macro Texture เพียงอย่างเดียวจึงได้ตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง ณ ระดับความมั่นใจ 99% จึงสามารถบอกได้ว่า ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD มากกว่า 1.5 ค่าความเสียหายจะมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพื้นผิวในผิวทางตรงที่สากลยอมรับ จึงมีสามารถ MPD เพื่อคัดกรองค่าความเสียหายของผิวทางที่อยู่เหนือระดับพื้นผิว อันสามารถลดจำนวนข้อมูลที่ต้องจัดเก็บโดยตรง ทำให้ประหยัดเงินและระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อวางแผนและยกระดับค่าความเสียหายของผิวทางในระดับโครงข่ายได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] PIARC. (1995) "Inventory of Road Surface Characteristics Measuring Equipment," ISBN 2 84060-29-3, PIARC Technical Committee on Surface Characteristics, Paris, France.
- [2] NCHRP. (2005). Guide for Pavement Friction. WASHINGTON, D.C.: Transportation Research Board.
- [3] Murat Ergun, Sukriye Iyınam, And A. Faik Iyınam. (2005). Prediction of Road Surface Friction Coefficient Using Only Macro- and Microtexture Measurements. ASCE.
- [4] ASTM. (2009). Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth, West Conshohocken.
- [5] Fisco R. N. (2009), Comparison of Macrotexture Measurement Methods, Master's Thesis, The Ohio State University, USA.
- [6] ASTM. (2009). Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth, West Conshohocken.



รูปที่ 8 แนวทางการบริหารจัดการความเสียหายของผิวทางโครงข่ายทางหลวงชนบท

ตารางที่ 2 สรุปผลการสำรวจค่า MPD ระยะทาง 210 กิโลเมตร

	สายทาง	กม.เริ่มต้น	กม.สิ้นสุด	ระยะทาง	ค่า MPD เฉลี่ยตลอดระยะทาง	%ของระยะทางที่ค่า MPD เกิน 1.5
1	นย.3022	0+000	8+300	8.3	1.571	63.6%
2	นย.3004	0+000	14+000	14	1.542	63.6%
3	นย.3012	0+000	14+785	14.785	1.487	41.4%
4	นย.3033	0+000	5+022	5.022	1.479	43.5%
5	นย.4015	0+000	13+430	13.43	1.491	45.2%
6	นย.2014	0+000	5+919	5.919	1.621	84.5%
7	นย.6030	0+000	7+588	7.588	1.619	79.1%
8	นย.3001	0+000	18+850	18.85	1.417	23.5%
9	ชบ.1094	2+035	12+370	10.335	1.568	61.4%
10	ชบ.1095	2+185	11+940	9.755	1.429	23.5%
11	ชบ.1063	0+000	9+450	9.45	1.460	37.2%
12	ชม.3002	0+000	7+812	7.812	1.554	60.6%
13	ชบ.5010	0+000	2+540	2.54	1.286	4.2%
14	ชบ.1003	0+000	12+750	12.75	1.437	25.1%
15	ชบ.1008	0+000	9+650	9.65	1.452	31.6%
16	ชบ.3083	0+000	17+865	17.865	1.430	28.4%
17	ชบ.4064	0+000	13+465	13.465	1.535	54.7%
18	ชบ.3018	0+000	16+872	16.872	1.655	79.9%
19	ชบ.3014	49+462	55+020	5.558	1.511	48.6%
20	ฉช.3005	0+000	6+076	6.076	1.404	16.8%

[12]กรมทางหลวงชนบท. (2554). รายงานการสำรวจและวิเคราะห์สภาพ
ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ในบริเวณจุดเสี่ยงอันตราย.

[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 Macrottexture Using Photometric Stereo Techniques. ASCE.

[9] 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.

[10]I.A. Fulop,IBogardi,AGulyas and M CsicselyTarpay. (2000). Use of Friction and Texture In Pavement Performance Modeling.

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