

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียหายและค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อใช้ใน
การจัดการความเสียหายของผิวทางในระดับโครงข่าย



นายณภัทร เจนบรรณกิจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN PAVEMENT FRICTION AND MEAN PROFILE
DEPTH FOR PAVEMENT FRICTION MANAGEMENT AT NETWORK LEVEL

Mr. Napat Janbavonkij



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียหายและค่า
ความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อใช้ในการจัดการ
ความเสียหายของผิวทางในระดับโครงข่าย

โดย

นายณภัทร เจนบวรกิจ

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชร เพ็ญสุภาพ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม)

ณภัทร เจนบวรกิจ : การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อใช้ในการจัดการความเสียดทานของผิวทางในระดับโครงข่าย (ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN PAVEMENT FRICTION AND MEAN PROFILEDEPTH FOR PAVEMENT FRICTION MANAGEMENT AT NETWORK LEVEL)
 อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล, 61 หน้า.

ค่าความเสียดทานเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการประเมินความปลอดภัยของสายทาง ปัจจุบันวิธีการเก็บค่าความเสียดทานของผิวทางโดยตรง ยังมีข้อจำกัดด้านเวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล จึงทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลความเสียดทานของผิวทางทั้งโครงข่ายในระดับประเทศได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานผิวทางผ่านตัวแปรดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index, IFI) และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) เพื่อเสนอแนวคิดในการประยุกต์ใช้ค่า MPD ในการจัดการความเสียดทานของผิวทางในระดับโครงข่ายเนื่องจากค่า MPD สามารถเก็บข้อมูลได้รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย เพราะสามารถเก็บพร้อมกับค่าดัชนีความขรุขระสากล (Internatioanl Roughness Index, IRI) ด้วยเครื่องมือ Laser Profilometer ได้ จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่า IFI ร่วมกับ MPD จากข้อมูลที่เก็บจากภาคสนาม 300 ข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมจากฐานข้อมูลในอดีตของกรมทางหลวง 1,266 ข้อมูล พบว่า ผิวทางที่มี MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร จะมีค่า IFI มากกว่า 0.25 ซึ่งเป็นค่าความเสียดทานแนะนำในการปรับปรุงของกรมทางหลวง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อนำข้อมูลสถิติอุบัติเหตุอันเกิดจากเส้นไถลมาพิจารณาร่วมด้วย พบว่า ผิวทางที่มีค่า MPD น้อยกว่าหรือเท่า 1.2 มิลลิเมตร จะมีสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่สูงอย่างมีนัยยะสำคัญ ดังนั้นค่า MPD จึงเป็นตัวแปรที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในการคัดกรองสายทางเบื้องต้น เพื่อลดจำนวนระยะทางการสำรวจด้วยเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานโดยตรง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนความปลอดภัยของถนนในระดับโครงข่าย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5870291921 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: PAVEMENT FRICTION / MEAN PROFILE DEPTH / PAVEMENT FRICTION MANAGEMENT / ROAD SAFETY

NAPAT JANBAVONKIJ: ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN PAVEMENT FRICTION AND MEAN PROFILEDEPTH FOR PAVEMENT FRICTION MANAGEMENT AT NETWORK LEVEL. ADVISOR: ASSOC. PROF.WISANU SUBSOMPON, Ph.D., 61 pp.

Pavement friction is one of the key factors that are used to evaluate road safety. Nowadays, direct measurement of pavement friction consumes a lot of time and cost. As a result, the road agency cannot measure pavement for the entire road network every year. This thesis aim to study the relationship between International Friction Index (IFI) and Mean Profile Depth (MPD.) in order to applying MPD as a surrogate factor to reflect pavement friction. This is because MPD can be collected faster and more cost effective since it can be collected simultaneously with International Roughness Index (IRI) using laser profilometer. The first analysis is to find correlation between IFI and MPD, based on 300 samples from feild data and 1,266 samples from historical maintenance database. It is found that if pavement has MPD more than 1.2 millimeters, the pavement friction of that pavement would be higher than 0.25 which is a recommended friction value for pavement maintenance at a level of confidential 95%. The second analysis is based on historical accident rate and MPD to find their correlations. It is also found that there is high correlation between accident rate and MPD when MPD is less than 1.2 millimeter. Therefore, there is possibility of applying MPDs as a filter to reduce needs for measuring pavement friction directly. This concept can be benefit to safety planning for a road network.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วิศณุ ทรัพย์สมพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง ที่คอยชี้แนะ อบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดระยะเวลาในการจัดทำ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ รวมไปถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่สละเวลามาให้คำแนะนำ และสอบวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ที่ให้การสนับสนุนในการใช้เครื่องมือสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ต่างๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล

ผู้ศึกษาขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการโครงสร้างพื้นฐานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในการใช้เครื่องมือสำรวจค่าลักษณะพื้นผิวของผิวทาง

สุดท้ายนี้ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณพระคุณบิดาและมารดา และพี่ๆของผู้ศึกษาที่คอยให้การสนับสนุน ชี้แนะ และให้กำลังใจในการวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่านในอดีตที่เคยอบรมสั่งสอนผู้ศึกษา จนทำให้ผู้ศึกษาประสบความสำเร็จการศึกษาในปัจจุบัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ความเสียหายของผิวทาง.....	6
2.2 ความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD).....	11
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียหายและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD).....	12
2.4 เครื่องมือทดสอบค่าความเสียหายและลักษณะผิวทาง	15
2.5 การวางแผนและจัดการความเสียหายของผิวทาง.....	22
2.6 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Pavement)	23
2.7 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	28
3.1 วิธีการเก็บข้อมูล	28
3.2 การคัดเลือกสายทางตัวอย่าง.....	28
3.3 ผลการคัดเลือกสายทาง	32

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection).....	32
3.5 ผลการเก็บข้อมูล.....	33
3.6 สรุปผลการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	34
บทที่ 4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และแนวทางในการใช้ค่า MPD ในการจัดการ ความเสียหาย ..	39
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยและดัชนีความเสียหายสากล	39
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยและสถิติการเกิดอุบัติเหตุ	46
4.3 แนวทางการประยุกต์ใช้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยในการบริหารความเสียหายระดับ โครงข่าย.....	49
4.4 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปผลการศึกษา	54
5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
รายการอ้างอิง	57
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	61

สารบัญรูป

รูปที่ 2-1 กลไกการเกิดค่าความเสียหาย..... 11

รูปที่ 2-2 วิธีการคำนวณค่า Mean Segment Depth 12

รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) และสัมประสิทธิ์ความเสียหาย (μ)..... 14

รูปที่ 2-4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ ASFT T-10 (ที่มา : ASFT)..... 21

รูปที่ 3-1 การกระจายตัวของปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปีของกรมทางหลวง (2558).....30

รูปที่ 3-2 ตัวอย่างการสืบค้นข้อมูลการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปี (AADT) และจำนวนช่องทางการจราจร (ระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง, 2555) 31

รูปที่ 3-3 การเก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางด้วยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement 33

รูปที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน.....39

รูปที่ 4-2 การกระจายตัวระหว่างค่า MPD และ IFI 40

รูปที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง..... 41

รูปที่ 4-4 การกระจายตัวของค่า MPD และ IFI แบ่งตามอายุผิวทาง 42

รูปที่ 4-5 การกระจายตัวระหว่างค่า MPD และค่า IFI..... 45

รูปที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่างที่ MPD > 1.2 มม. (Roadnet) 45

รูปที่ 4-7 การแจกแจงข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุตามค่า MPD 49

รูปที่ 4-8 แนวทางในการบริหารความเสียหายระดับโครงข่ายด้วย MPD..... 53

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานแบบความเร็วสูง (Pavement Friction High-Speed Measurement Devices) (ที่มา : Hall et al. (2009)	17
ตารางที่ 2-2 เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานแบบความเร็วต่ำ (Pavement Friction Low-Speed Measurement Devices) (ที่มา : Hall et al. (2009)	19
ตารางที่ 2-3 เครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทาง (Pavement Texture Measurement Devices) (ที่มา : Hall et al. (2009)	20
ตารางที่ 2-4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement ..	22
ตารางที่ 2-5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) ที่แนะนำในต่างประเทศ (Henry, 2000)	24
ตารางที่ 2-6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับพึงระวังและระดับปรับปรุงแก้ไขของกรมทางหลวงชนบท	25
ตารางที่ 3-1 จำนวนสายทางที่คัดเลือกแบ่งตามปริมาณการจราจรและอายุผิวทาง.....	30
ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างข้อมูลผิวทางที่ก่อสร้างหรือปรับปรุงล่าสุดไม่เกิน 3 ปี (สำนักทางหลวงที่ 15)	31
ตารางที่ 3-3 ผลการคัดเลือกสายทางแบ่งตามปริมาณการจราจร และอายุผิวทาง	32
ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างข้อมูลจากการสำรวจด้วยเครื่องมือ ASFT T-10 และ High Speed Laser Texture Measurement	35
ตารางที่ 3-5 ผลการเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานและ MPD.....	36
ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ระหว่างค่า IFI และ MPD แบ่งตามอายุผิวทาง.....	43
ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ระหว่างค่า IFI และ MPD แบ่งตามอายุผิวทางและปริมาณการจราจร	44
ตารางที่ 4-3 ลักษณะการชนอันมีสมมติฐานจากการลื่นไถล.....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุบัติเหตุทางถนนเป็นสาเหตุหลักของการเสียชีวิตของประชากรในประเทศไทย ในปี 2558 ประเทศไทยมีสถิติการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนเป็นอันดับสองของโลกมีอัตราการเสียชีวิต 36.2 คนต่อประชากรหนึ่งแสนคน (World Health Organization, 2015) อุบัติเหตุทางถนนส่งผลต่อความเสียหายต่อประเทศอย่างมาก ทั้งทางด้านสาธารณสุขและเศรษฐกิจของประเทศ สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2557) ได้แบ่งสาเหตุหลักของอุบัติเหตุการจราจรทางบกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ สาเหตุจากบุคคลหรือผู้ขับขี่ สาเหตุจากถนนและสิ่งแวดล้อม และสาเหตุจากยานพาหนะ พบว่าอุบัติเหตุที่มีสาเหตุมาจากถนนและสิ่งแวดล้อมมีจำนวน 14,946 ครั้ง โดยเกิดจากฝนตกและถนนลื่นกว่า 1,884 ครั้ง มากเป็นอันดับสามรองจากถนนมืดและถนนแคบตามลำดับ จากการศึกษาของ Kuttesch (2004) และ Wallman and Åström (2001) มีผลการศึกษาไปในทิศทางเดียวกันคือ สายทางที่มีค่าความเสียหายสูงมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุต่ำกว่าสายทางที่มีค่าความเสียหายต่ำ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ค่าความเสียหายของผิวทางเป็นตัวแปรที่เหมาะสมและใช้อย่างแพร่หลายในการประเมินความปลอดภัยของผิวทาง

การประเมินความปลอดภัยของสายทางเป็นจุดประสงค์ที่สำคัญของการบริหารความเสียหายของผิวทาง (Pavement Friction Management) ซึ่งเป็นการวางแผนเพื่อให้มั่นใจว่าสายทางไม่อยู่ในเกณฑ์เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากความเสียหาย การประเมินค่าความเสียหายของผิวทางประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอนคือ การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลมีข้อมูลที่สำคัญคือ ข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทาง ซึ่งในปัจจุบันมีเครื่องมือทดสอบค่าความเสียหายของผิวทางหลายประเภท American Association of State Highway and Transportation Officials (ASHTO) และ American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้จำแนกเครื่องมือการทดสอบค่าความเสียหายของผิวทางตามวิธีการวัดเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือทดสอบความเสียหายของผิวทางประเภทความเร็วสูง (High Speed Friction Measuring Devices) และเครื่องมือทดสอบความเสียหายที่ความเร็วต่ำหรือวัดเป็นจุดทดสอบ (Low Speed or Spot Friction Measuring Devices) ซึ่งเครื่องมือทดสอบความเสียหายประเภทความเร็วสูงสามารถเก็บข้อมูลความเสียหายได้ต่อเนื่องและรวดเร็ว แต่มีค่าใช้จ่ายในการสำรวจค่อนข้างแพง ในทางตรงกันข้ามเครื่องมือทดสอบความเสียหายที่ความเร็วต่ำมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่ถูกลงและได้ข้อมูลความเสียหายโดยตรง แต่ใช้เวลาในการทดสอบนานจำเป็นต้องปิดการจราจร

เพื่อทำการทดสอบ และข้อมูลที่ได้เป็นจุดไม่ต่อเนื่อง จากปัญหาของเครื่องมือทดสอบความเสียดทานข้างต้น Ergun et al. (2005) จึงได้เสนอแนวคิดการใช้ค่าลักษณะผิวทาง (Pavement Texture) ในการทำนายค่าความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ ค่าผิวทางแบบละเอียด (Micro-texture) และค่าผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture)

ข้อมูลจากกรมทางหลวง (2558) ระบุว่าทางหลวงทั่วประเทศไทยในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงมีระยะทางรวม 68,793 กิโลเมตร แบ่งเป็นสายทางประเภทแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Pavement) ระยะทางรวม 63,425 กิโลเมตร สายทางประเภทคอนกรีต (Concrete Pavement) ระยะทางรวมกว่า 5,155 กิโลเมตร และสายทางลูกรังระยะทางรวม 212 กิโลเมตร และมีการก่อสร้างสายทางเพิ่มขึ้นทุกๆปี จะเห็นว่าจำนวนสายทางทั่วประเทศมีจำนวนมาก แต่จำนวนเครื่องมือทดสอบค่าแรงเสียดทานของกรมทางหลวงและงบประมาณสำหรับสำรวจสายทางในแต่ละปีมีจำกัด ทำให้กรมทางหลวงไม่สามารถสำรวจและติดตามข้อมูลความเสียดทานของทางหลวงทั่วทั้งประเทศในทุกปีได้

จากที่กล่าวมาพบว่าการวางแผนบริหารความเสียดทานของสายทางระดับโครงข่ายมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องจำนวนเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานของกรมทางหลวงที่มีจำกัดและจำนวนสายทางที่มีมากกว่าหนึ่งแสนกิโลเมตรของประเทศไทย ทำให้การใช้เครื่องมือทดสอบความเสียดทานสำรวจค่าความเสียดทานโดยตรงของสายทางทุกสายทางในประเทศไทยทำได้ยาก งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย เพื่อนำค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ซึ่งสามารถเก็บได้จากเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement ที่มีคุณสมบัติในการเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่อง รวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าเครื่องมือทดสอบความเสียดทานของผิวทางโดยตรงเนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลได้พร้อมกับการสำรวจค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Friction Index, IRI) มาใช้ประเมินค่าความเสียดทานของสายทางเบื้องต้น เพื่อคัดกรองว่าสายทางไหนอยู่ในเกณฑ์เสี่ยงในด้านความปลอดภัย ควรได้รับการประเมินค่าความเสียดทานเชิงลึกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาแนวทางการนำค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยมาใช้คัดกรองผิวทางเบื้องต้นในการบริหารค่าความเสียดทานของสายทางระดับโครงข่ายบนพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) และค่าดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index, IRI)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- ผิวทางที่ศึกษาเป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete 60/70) เนื่องจากเป็นผิวทางของทางหลวงที่มีมากที่สุดในประเทศไทย มีมากกว่า 91% (กรมทางหลวง, 2558)
- งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลความเสียหายของผิวทางจากเครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT T-10) ประเภท Fixed-Slip และข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) จากเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement
- งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากฐานข้อมูลอุบัติเหตุของกรมทางหลวง (HAIMS, Highway Accident Information Management System)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของ (Mean Profile Depth, MPD) และค่าดัชนีความเสียหายสากล (International Friction Index, IFI)
- สามารถใช้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) เพื่อคัดกรองสายทางเบื้องต้น ในการบริหารค่าความเสียหายของสายทางระดับโครงข่าย

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 6 ขั้นตอน ดังนี้

1) ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

ในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการศึกษาองค์ความรู้ ทฤษฎีต่างๆ ตลอดจนงานวิจัยที่เคยมีการศึกษามาแล้ว ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยครอบคลุมเรื่อง

- ค่าความเสียหายของผิวทาง (Pavement Friction) กลไกการเกิดแรงเสียหายของผิวทาง และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเสียหายของผิวทาง ค่าลักษณะผิวทาง (Pavement Texture) และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD)
- เครื่องมือเก็บข้อมูลความเสียหายและลักษณะผิวทาง
- ศึกษาการวางแผนและจัดการความเสียหายของผิวทางทั้งในประเทศและต่างประเทศ
- ศึกษามาตรฐานการก่อสร้างผิวทางประเภทแอสฟัลต์คอนกรีต

2) คัดเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเสียดทานของผิวทางพบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้คือ

- ปัจจัยทางด้านอายุผิวทางโดยศึกษาจากอายุของผิวทางหลังจากการก่อสร้างหรือปรับปรุงล่าสุด
- ปัจจัยทางการจราจรโดยศึกษาจากปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปีต่อช่องจราจร (Lane AADT)

3) คัดเลือกสายทางเพื่อทำการศึกษา

ในขั้นตอนการคัดเลือกสายทางที่ใช้ในการศึกษานี้คัดเลือกจากสายทางลาดยางของกรมทางหลวง ประเภทแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete 60/70) เนื่องจากเป็นผิวทางที่มากที่สุดในประเทศไทย โดยใช้การคัดเลือกอายุของสายทางนับจากการก่อสร้างหรือปรับปรุงล่าสุดไม่เกิน 3 ปีและคัดเลือกสายทางที่มีปริมาณการจราจรตามการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปี (AADT) ของกรมทางหลวง

4) เก็บรวบรวมข้อมูลของสายทาง

การเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลขั้นปฐมภูมิ (Primary Data) ทั้งหมด โดยแบ่งข้อมูลของสายทางเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- ข้อมูลความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) สํารวจด้วยเครื่องมือทดสอบความเสียดทานประเภท Fixed Slip ชื่อ Airport Friction Tester T-10 (ASFT T-10) เนื่องจากเป็นเครื่องมือทดสอบความเสียดทานของผิวทางประเภทความเร็วสูงและเป็นเครื่องมือที่กรมทางหลวงมีใช้ในปัจจุบัน
- ข้อมูลลักษณะผิวทาง (Pavement Texture) หรือค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) สํารวจด้วยด้วยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement เนื่องจากเป็นเครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทางประเภทความเร็วสูงสามารถเก็บข้อมูลได้รวดเร็ว

5) การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index, IFI) ของผิวทางซึ่งสำรวจจากเครื่องมือ ASFT T-10 และข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) จากเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีทางสถิติค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson

Correlation) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) การถดถอย (Regression) ตามปัจจัยที่ศึกษา นอกจากนี้ยังมีการใช้ข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุมาร่วมวิเคราะห์เพิ่มเติม

- 6) สรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค่าความเสียดทานของผิวทางเป็นตัวแปรสำคัญในการประเมินสภาพความปลอดภัยของสายทาง ปัญหาที่สำคัญในการวางแผนบริหารสายทางระดับโครงข่ายคือ การขาดแคลนทรัพยากรในการสำรวจค่าความเสียดทานของสายทาง ทั้งในเรื่องของเครื่องมือ งบประมาณและเวลาที่ใช้ในการสำรวจ เพื่อที่จะตอบจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ในการนำค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยมาใช้เป็นตัวแปรขั้นต้นในการบริหารสายทางระดับโครงข่ายจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมของค่าความเสียดทานและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงพฤติกรรมและลักษณะของความเสียดทาน กลไกการเกิดแรงเสียดทาน ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียดทานผิวทาง พฤติกรรมและลักษณะของค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบค่าความเสียดทานและลักษณะผิวทางในปัจจุบัน ข้อมูลผิวทางลาดยางประเภทแอสฟัลต์คอนกรีต รวมถึงการวางแผนบริหารและจัดการสายทางทั้งในประเทศและต่างประเทศและความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยกับค่าความเสียดทาน

2.1 ความเสียดทานของผิวทาง

ความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อยางและพื้นผิวของสายทาง แรงต้านทานนี้จะเกิดขึ้นเมื่อล้อยางของรถยนต์หมุนหรือไถลไปตามพื้นผิวของสายทาง โดยสามารถหาแรงต้านทานนี้ได้โดยสมการที่ 2.1 (Henry, 2000)

$$\mu = \frac{F}{F_w} \quad (2.1)$$

โดย	μ	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง
	F	คือ	แรงเสียดทานของผิวทางในแนวสัมผัส
	F_w	คือ	น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับล้อในแนวตั้ง

ความเสียดทานของผิวทางเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับผู้ขับขี่ กล่าวคือผิวทางที่มีค่าความเสียดทานสูงผู้ขับขี่จะสามารถควบคุมยานพาหนะได้ง่ายกว่าผิวทางที่มีค่าความเสียดทานต่ำ ความเสียดทานของผิวทางไม่ได้เกิดจากผิวทางอย่างเดียวเท่านั้น ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อความเสียดทานของผิวทางซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง

ค่าความเสียหายของผิวทางเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย Hall et al. (2009) ได้ศึกษาและแบ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเสียหายของผิวทางเป็น 4 กลุ่มคือ คุณลักษณะพื้นผิวของผิวทาง คุณสมบัติของผู้ขับขี่ คุณสมบัติของล้อยาง และสภาพแวดล้อม โดยปัจจัยที่สำคัญมีดังนี้ คุณลักษณะพื้นผิวของผิวทางและคุณสมบัติของวัสดุพื้นผิวจากกลุ่มคุณลักษณะพื้นผิวของผิวทาง การออกแบบดอกยางและลมยางจากกลุ่มคุณสมบัติของล้อยาง และอุณหภูมิกับฟิล์มน้ำจากสภาพแวดล้อม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) คุณลักษณะพื้นผิวของผิวทาง (Pavement Surface Texture) และวัสดุพื้นผิว (Surface Materials)

Permanent International Association of Road Congresses (PIARC, 1987) ได้แบ่งพื้นผิวของผิวทางเป็น 3 ระดับ โดยแบ่งตามความยาวคลื่น (λ) และแอมพลิจูดของคลื่น (peak-to-peak amplitude, A) ซึ่งวัดจากจุดสูงสุดของคลื่นลูกหนึ่งถึงจุดต่ำสุดของคลื่นลูกถัดมา ดังนี้

- Micro-texture ($\lambda < 0.5$ mm., $A = 1-500$ μ m.) คือ ความขรุขระของผิวของอนุภาคมวลรวม ส่งผลต่อค่าความเสียหายของผิวทางอย่างมีนัยยะเมื่อยานพาหนะใช้ความเร็วต่ำ
- Macro-texture ($\lambda = 0.5-50$ mm., $A = 0.1-20$ mm.) คือ คุณสมบัติของมวลรวมขนาด รูปร่าง ขนาดคละ รวมถึงการเรียงตัวและทิศทางการวางตัวของมวลรวม Macro-texture มีหน้าที่ในการระบายน้ำของผิวทาง เหมือนกับร่องล้อของล้อยาง ส่งผลต่อค่าความเสียหายของผิวทางอย่างมีนัยยะเมื่อยานพาหนะใช้ความเร็วสูง
- Mega-texture ($\lambda = 50-500$ mm., $A = 0.1-50$ mm.) พื้นผิวชนิดนี้มีความยาวคลื่นเท่ากับขนาดของพื้นผิวสัมผัสระหว่างล้อยางและผิวทางเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้โดยสาร ใช้ในการประเมินความขรุขระของสายทาง เช่น ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI)
- สำหรับลักษณะพื้นผิวของผิวทางที่ความยาวคลื่นมากกว่า 500 มม. เรียกว่า ความขรุขระหรือความไม่สม่ำเสมอ (Unevenness) (Henry, 2000)

คุณสมบัติของวัสดุพื้นผิวเช่น คุณสมบัติมวลรวม คุณลักษณะของวัสดุผสม การเรียงตัวของมวลรวม เป็นต้น คุณสมบัติเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อความทนทานของพื้นผิวของสาย

ทางในระยะยาว ตลอดจนความสามารถในการต้านทานแรงขีดสีและการสึกกร่อนของมวลรวมจากการจราจรและสภาพแวดล้อม

2) คุณสมบัติของล้อยาง (Tire Properties)

การออกแบบดอกยาง (Tire Tread Design and Condition) มีส่วนสำคัญอย่างมีนัยยะในการระบายน้ำของล้อยางผ่าน Macro-texture ของผิวทาง การออกแบบที่สำคัญของดอกยาง เช่น ความลึก รูปแบบและรูปร่างของดอกยาง เป็นต้น

การเติมลมยาง (Tire Inflation Pressure) ส่งผลต่อค่าความเสียดทานของผิวทาง โดยที่การเติมลมยางมากเกินไปทำให้ค่าความเสียดทานลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ในทางกลับกัน การเติมลมยางน้อยเกินไปทำให้ค่าความเสียดทานลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ เมื่อยานพาหนะใช้ความเร็วสูง (Henry, 1983) เนื่องจากเมื่อลมยางน้อยเกินไปทำให้ร่องล้อของล้อยางถูกบีบให้มีขนาดลดลงและแรงดันสัมผัสระหว่างล้อยางกับผิวทางลดลง ทำให้น้ำระบายออกจากล้อยางได้ยากส่งผลให้ค่าความเสียดทานระหว่างล้อยางและผิวทางลดลง

3) สภาพแวดล้อม (Environmental)

อุณหภูมิ (Temperature) ส่งผลอย่างมากต่อค่าความเสียดทานของล้อยาง โดยเมื่ออุณหภูมิสูงยางจะอ่อนตัว เนื่องจากคุณสมบัติ Visco-elastic ของยาง ส่งผลให้แรงต้านทาน (Hysteresis) ลดลง อย่างไรก็ตามยางสมัยใหม่มีการพัฒนาออกแบบให้ลดผลกระทบของอุณหภูมิที่ขึ้น

ฟิล์มน้ำ (Water Film Thickness) เมื่อยานพาหนะใช้ความเร็วต่ำ (น้อยกว่า 32 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ฟิล์มน้ำมีผลต่อค่าความเสียดทานน้อย แต่จะส่งผลอย่างมากเมื่อยานพาหนะใช้ความเร็วสูง (มากกว่า 64 กิโลเมตร/ชั่วโมง) โดยสัมพันธ์กับความเสียดทาน (μ) กับฟิล์มน้ำ (Water Film Thickness) มีความสัมพันธ์ผกผันกันแบบ Exponential ซึ่งสัมพันธ์กับความเสียดทาน (μ) ลดลงอย่างมากเมื่อฟิล์มน้ำ (Water Film Thickness) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ฟิล์มน้ำยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ Hydroplaning หรือเหตุการณ์ที่ล้อยางของยานพาหนะแยกจากผิวทาง เนื่องจากแรงดันของฟิล์มน้ำ (Water Film Thickness) ทำให้ค่าความเสียดทานมีค่าลดลงเกือบเป็นศูนย์ (Horne & Buhlmann, 1983)

Oh et al. (2010) ได้ศึกษาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและปริมาณการจราจรที่ส่งผลต่อค่าความเสียดทานของสายทางลาดยางในแคลิฟอร์เนียจำนวน 313 ไมล์ (500 กิโลเมตร) พบว่าปัจจัยมีผลต่อ

ค่าความเสียหายเรียงลำดับจากมากไปน้อยมีดังนี้ ปัจจัยด้านการจราจร ปัจจัยสภาพอากาศ และ ปัจจัยด้านอายุผิวทาง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยไม่ได้ศึกษาอีกสองกลุ่มคือ ปัจจัยด้านผิวทางและปัจจัยด้านการทดสอบ โดยรายละเอียดของปัจจัยทั้ง 5 กลุ่มมีดังนี้

- 1) ปัจจัยด้านผิวทาง เกิดจากค่าลักษณะผิวทางแบบละเอียด (Micro-texture) และลักษณะผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) โดยค่าลักษณะผิวทางแบบละเอียดมีความสัมพันธ์กับพื้นผิวความขรุขระของมวลรวม และความแข็งแรงต่อการขัดกร่อนจากการจราจร ในขณะที่ค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบมีความสัมพันธ์กับการเรียงตัวของมวลรวมซึ่งส่งผลต่อการระบายน้ำระหว่างล้อยางและผิวทางเมื่อยานพาหนะใช้ความเร็วสูง โดยชนิด ขนาด ขนาดคลและรูปร่างของมวลรวมล้วนส่งผลต่อการเรียงตัวของมวลรวม
- 2) ปัจจัยด้านการจราจร การจราจรทำให้พื้นผิวของผิวทางถูกขัดกร่อนให้มีความเรียบมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเสียหายลดลง โดยสายทางที่มีปริมาณการจราจรและจำนวนรถบรรทุกมากจะเกิดการขัดกร่อนของผิวทางสูงกว่าสายทางที่มีปริมาณการจราจรและจำนวนรถบรรทุกน้อย
- 3) ปัจจัยด้านสภาพอากาศ ผลของการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลทำให้อุณหภูมิขนาดเล็กของผิวทางหลุดร่อนส่งผลให้ค่าความเสียหายของผิวทางลดลง ในขณะที่อุณหภูมิส่งผลต่อความอ่อนตัวของล้อยาง เมื่อทดสอบค่าความเสียหายที่อุณหภูมิสูงค่าความเสียหายจะลดลงเนื่องจากล้อยางมีความอ่อนตัวสูญเสียพลังงานในการเปลี่ยนรูปร่างน้อยลง ฝนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยด้านสภาพอากาศหลังจากฝนตกน้ำฝนจะช่วยพัดพาฝุ่นขนาดเล็กบนผิวทางและชะล้างช่องทางการระบายน้ำระหว่างมวลรวม ทำให้ผิวทางระบายได้ดีขึ้นส่งผลให้ค่าความเสียหายของผิวทางเพิ่มขึ้น
- 4) ปัจจัยด้านอายุผิวทาง ค่าความเสียหายของผิวทางมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยในช่วงสองปีแรกหลังจากการก่อสร้าง ผิวทางจะมีค่าความเสียหายลดลงเนื่องจากการขัดกร่อนจากปริมาณการจราจร จากนั้นค่าความเสียหายจะลดลงอย่างช้าๆตลอดอายุผิวทางเนื่องจากผลของสภาพอากาศ
- 5) ปัจจัยด้านการทดสอบ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือทดสอบบุคคลและอื่นๆ ในการทดสอบและมาตรฐานการทดสอบล้วนส่งผลต่อค่าความเสียหายของผิวทางที่ทดสอบได้

Skerritt (1993) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของมวลรวมและปริมาณการจราจรกับค่าความเสียหายของผิวทาง โดยแบ่งชนิดของมวลรวมเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มหินที่มีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน

(Homogeneous Rock Types) กลุ่มหินทราย (Sandy Rock Types) และกลุ่มมวลรวมผสม (Aggregate Blends) พบว่ากลุ่มหินที่มีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกันและกลุ่มมวลรวมผสม ปริมาณการจราจรแปรผกผันกับค่าความเสียหายกล่าวคือ สายทางที่มีปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยต่อปีต่อช่องจราจร (Lane AADT) สูงจะส่งผลให้สายทางนั้นมีค่าความเสียหายต่ำกว่าสายทางที่มีปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยต่อปีต่อช่องจราจรต่ำ ในขณะที่กลุ่มหินทราย พบว่าปริมาณการจราจรไม่ส่งผลต่อค่าความเสียหายกล่าวคือ สายทางประเภทกลุ่มหินทรายทุกสายค่ามีความเสียหายสูงกว่าค่าความเสียหายขั้นต่ำสำหรับการออกแบบ (FN เท่ากับ 32)

O'Brien and Haddock (2004) พบว่าปริมาณการจราจรและน้ำหนักยานพาหนะ (Equivalent Single Axle Load, ESAL) มีความสัมพันธ์กับค่าความเสียหายของผิวทาง โดยค่าความเสียหายลดลงเมื่อปริมาณการจราจรสูงขึ้น

จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเสียหายของผิวทาง พบว่าปัจจัยที่น่าสนใจในการทำงานวิจัยนี้มี 3 กลุ่มคือ ปัจจัยด้านผิวทางโดยศึกษาจากชนิดของหินที่ใช้ก่อสร้างผิวทาง ปัจจัยด้านอายุผิวทางโดยศึกษาจากอายุผิวทางหลังการก่อสร้างหรือปรับปรุงล่าสุด และปัจจัยด้านปริมาณการจราจรโดยศึกษาจากปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปีต่อช่องการจราจร (Lane AADT)

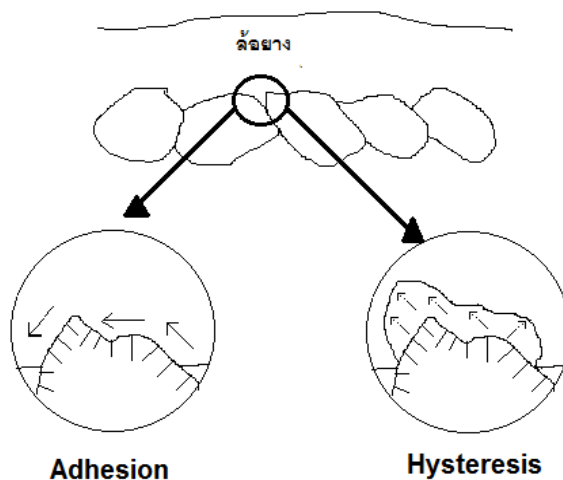
2.1.2 กลไกการเกิดความเสียหายของผิวทาง

ความเสียหายของผิวทางเป็นผลรวมของแรงสองชนิดคือ แรงยึดติด (Adhesion) และแรงต้านทาน (Hysteresis) ตามสมการที่ 2.2 และรูปที่ 2-1 ถึงแม้ยังมีแรงอื่นๆ ที่ส่งผลต่อค่าความเสียหายของผิวทาง เช่น แรงเฉือนของล้อยาง แต่แรงอื่นๆ นั้นมีขนาดน้อยมาก เมื่อเทียบกับแรงยึดติด (Adhesion) และแรงต้านทาน (Hysteresis)

$$F = F_A + F_H \quad (2.2)$$

โดย	F	คือ	แรงเสียดทานของผิวทาง
	F_A	คือ	แรงยึดติด (Adhesion)
	F_H	คือ	แรงต้านทาน (Hysteresis)

แรงยึดติด (Adhesion) คือ แรงเชื่อมหรือยึดประสานของล้อยางของยานพาหนะกับพื้นผิวของผิวทาง โดยแรงยึดติดแปรผันตรงกับแรงเฉือนและพื้นที่ผิวสัมผัส ส่วนใหญ่แรงยึดติดขึ้นกับสภาพ



รูปที่ 2-1 กลไกการเกิดค่าความเสียดทาน
(ปรับปรุงจาก Hall et al., 2009)

ผิวทางละเอียด (Micro-texture) แรงยึดติดจะส่งผลต่อค่าความเสียดทานของผิวทางอย่างมีนัยยะเมื่อล้อยางเคลื่อนที่ที่ความเร็วต่ำ

แรงต้านทาน (Hysteresis) คือ ค่าความเสียดทานที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของล้อยาง ส่วนใหญ่แรงต้านทานขึ้นกับสภาพผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) แรงต้านทานจะส่งผลต่อค่าความเสียดทานของผิวทางอย่างมีนัยยะเมื่อล้อยางมีการเคลื่อนที่ที่ความเร็วสูง โดยที่ความเร็ว 105 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าความเสียดทานจะเกิดจากแรงต้านทานกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (PIARC, 1987)

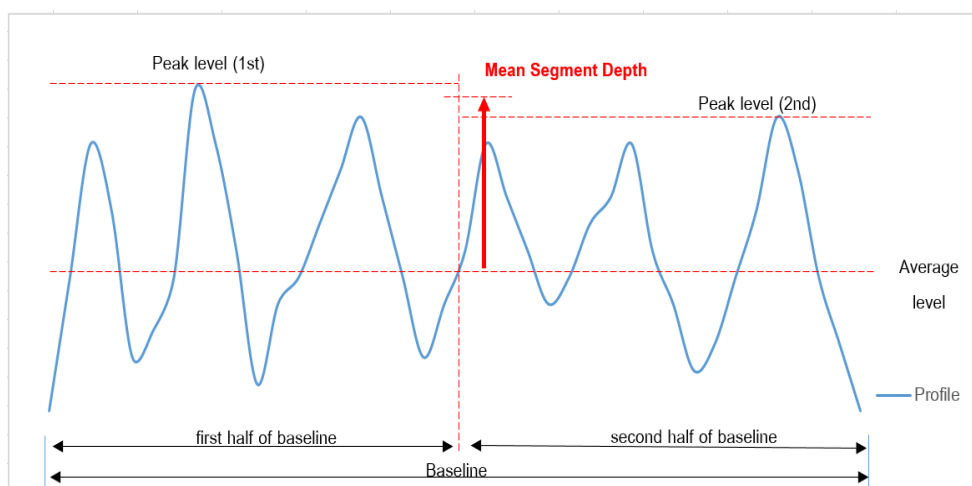
จากการศึกษาทั้งหมดที่กล่าวมาทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของความเสียดทาน กลไกการเกิดแรงเสียดทานและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียดทานของผิวทาง ซึ่งความเสียดทานเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบริหารความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction Management) เพื่อตอบจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ในการนำค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยมาใช้แทนความเสียดทานในการบริหารสายทางระดับโครงข่ายเบื้องต้น หัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญในงานวิจัยนี้

2.2 ความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD)

ความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) คือ พารามิเตอร์ที่ใช้วัดค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) ของสายทาง ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 50 มิลลิเมตร ความสูงของคลื่นอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 20 มิลลิเมตร บ่งชี้ถึงความสามารถในการระบายน้ำของสายทาง ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของมวลรวม ขนาด รูปร่าง ขนาดคละ รวมถึง

การเรียงตัวและทิศทาง การวางตัวของมวลรวม (Hall et al., 2009) มาตรฐานการวัดค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยถูกพัฒนาโดย ASTM E1845 มีมาตรฐานและวิธีการคำนวณดังนี้

เครื่องมือยิงแสงเลเซอร์มีขนาดจุดลำแสงเลเซอร์ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร มุมระหว่างเครื่องมือยิงแสงเลเซอร์กับพื้นผิวและมุมระหว่างเครื่องมือรับแสงเลเซอร์กับพื้นผิว มีมุมไม่เกิน 30° การเก็บข้อมูลเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะทางอย่างน้อย 100 มิลลิเมตร ต่อหนึ่งตัวอย่าง จากนั้นแบ่งเป็นชุดข้อมูลย่อยสองชุด ชุดละ 50 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 2-2 และนำมาคำนวณตามสมการ (2.3) เรียกว่า Mean Segment Depth (MSD) จากนั้นทำการเฉลี่ยค่า MSD อย่างน้อย 10 ตัวอย่างต่อระยะทางทดสอบ 100 เมตร มาคำนวณตามสมการที่ (2.4) ได้ค่า Mean Profile Depth (MPD)



รูปที่ 2-2 วิธีการคำนวณค่า Mean Segment Depth
(ปรับปรุงจาก ASTM E1845)

$$\text{Mean Segment Depth (MSD)} = \frac{\text{Peak level (1st)} + \text{Peak level (2nd)}}{2} \quad (2.3)$$

$$\text{Mean Profile Depth (MPD)} = \sum_{n=1}^n \frac{\text{MSD}_n}{n} \quad (2.4)$$

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD)

ในปี ค.ศ. 1994 Wambold & Henry ได้ศึกษาและพัฒนาดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index, IFI) โดยมีจุดประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบความเสียดทานจากเครื่องมือชนิดต่างๆ และเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลงานวิจัยระหว่างประเทศ โดยพัฒนาสมการเพื่อแปลงค่าความเสียดทานที่วัดได้จากเครื่องมือชนิดต่างๆ เป็นค่ากลางเดียวกันที่เรียกว่า ดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index, IFI)

การศึกษานี้ได้รับความร่วมมือจาก 16 ประเทศทั่วโลก 54 สถานที่ทดสอบ แบ่งเป็น 28 แห่งในประเทศเบลเยียม (รันเวย์สนามบิน 2 แห่ง สนามแข่งรถ 4 แห่ง ถนน 22 แห่ง) และ 26 แห่งในประเทศสเปน (รันเวย์สนามบิน 8 แห่ง ถนน 18 แห่ง) เครื่องมือทดสอบ 47 ชนิด แบ่งเป็นเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทาน 4 ชนิด (Side Force Testers, Variable-slip Testers, Fixed-slip Testers, Locked Wheel Testers) และเครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทาง 3 ชนิด (Stationary, Mobile-walking speed, Mobile-high speed)

การคำนวณดัชนีความเสียดทานสากล (IFI) ตามมาตรฐาน ASTM E1960 มีขั้นตอนดังนี้

- 1) คำนวณค่าตัวแปรความเร็วคงที่ (S_p) จากค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) ตามสมการที่ (2.5)

$$S_p = 14.2 + 89.7MPD \quad (2.5)$$

โดย S_p คือ ตัวแปรความเร็วคงที่ (กม./ชม.)

MPD คือ ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) ที่ได้จากเครื่องมือทดสอบ (มม.)

- 2) คำนวณค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง (FR60) จากค่าความเสียดทาน (FRS) ความเร็วสลลิป (S) และค่าตัวแปรความเร็วคงที่ (S_p) ตามสมการที่ (2.6)

$$FR60 = FRS \times \exp[(S-60)/S_p] \quad (2.6)$$

โดย $FR60$ คือ ค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กม./ชม.

FRS คือ ค่าความเสียดทานที่ได้จากเครื่องมือทดสอบ

S คือ ค่าความเร็วสลลิปที่เก็บข้อมูลค่าความเสียดทาน (กม./ชม.)

- 3) คำนวณค่าความเสียดทานปรับแก้ตามเครื่องมือ (F60) จากค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง (FR60) ตามสมการที่ (2.7)

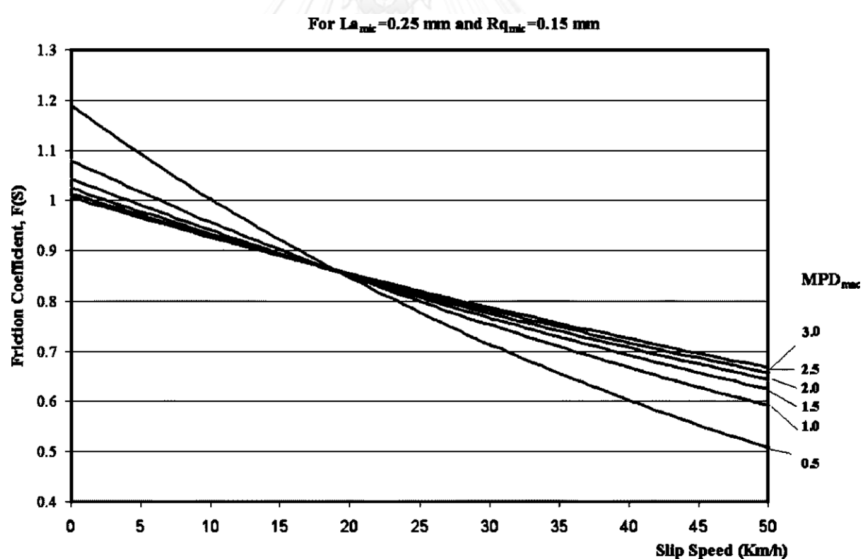
$$F60 = A + B \times FR60 \quad (2.7)$$

โดย $F60$ คือ ค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่ปรับแก้ตามชนิดของเครื่องมือ

A, B คือ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ของเครื่องมือ

ดัชนีความเสียดทานสากล (IFI) ทำให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลค่าความเสียดทานจากเครื่องมือทดสอบที่แตกต่างกันได้ โดยดัชนีความเสียดทานสากลประกอบไปด้วยตัวแปร 2 ตัวคือ F60 ค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมงที่ปรับแก้ตามเครื่องมือ และ S_p ตัวแปรความเร็วคงที่ โดยพบว่าค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) มีความสัมพันธ์กับค่า F60 ผ่านตัวแปร S_p

นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2005 Ergun et al. ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Micro-texture และ Macro-texture กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) พบว่าค่า Macro-texture และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) มีความสัมพันธ์กันดังนี้ ที่ความเร็วต่ำ (0-18 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) จะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) เนื่องจากผิวทางที่มีค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) สูงจะมีจุดสัมผัสน้อยกว่าผิวทางที่มีค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) ต่ำ ในทางตรงกันข้ามที่ความเร็วสูง (มากกว่า 18 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) จะแปรผันตรงกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) เนื่องจากการเพิ่มค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) ทำให้ช่องทางระบายน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) สูงขึ้น ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) (Ergun et al., 2005)

จากการศึกษาดัชนีความเสียดทานสากล (IFI) และการศึกษาของ Ergun et al. (2005) ทำให้ทราบว่า ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) เป็นตัวแปรที่สำคัญและมีความสัมพันธ์กับค่าความเสียดทานของผิวทาง หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทางและเครื่องมือที่ใช้ทดสอบค่าลักษณะผิวทางที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

2.4 เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานและลักษณะผิวทาง

2.4.1 เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction Measurement Devices)

ในปัจจุบันเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทางมีมากมายหลายชนิด โดยแต่ละชนิดแตกต่างกันที่หลักการ วิธีการทดสอบ หรือการประมวลผลและรายงานผล ดังนั้น ASTM และ ASSHTO ได้พัฒนามาตรฐานของเครื่องมือทดสอบแต่ละชนิด เพื่อให้เครื่องมือแต่ละชนิดมีมาตรฐานและวิธีการทดสอบเหมือนกัน สามารถเปรียบเทียบข้อมูลจากเครื่องมือชนิดเดียวกันได้ โดยแบ่งเครื่องมือออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานแบบความเร็วสูง (High-Speed Friction Measurement Devices)

เครื่องมือทดสอบประเภทนี้สามารถทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทางได้ต่อเนื่องและรวดเร็ว โดยผู้ทดสอบต้องราดน้ำบนผิวทางทดสอบ จากนั้นลากเครื่องมือทดสอบผ่านผิวทางทดสอบ บันทึกค่าความเสียดทานจากแรงต้านทานการลากเครื่องมือ เครื่องมือประเภทนี้มีราคาแพงและมีความซับซ้อน ต้องใช้ผู้ควบคุมที่มีความเชี่ยวชาญในการทดสอบและบำรุงรักษา แบ่งได้เป็น 4 ชนิดคือ เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานจากการล้อคล้อทดสอบ (Locked-Wheel) เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานด้านข้าง (Side-Force) เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานการไถลแบบคงที่ (Fixed-Slip) และเครื่องมือวัดค่าความเสียดทานการไถลแบบไม่คงที่ (Variable Slip)

2) เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานแบบความเร็วต่ำหรือแบบจุด (Low-Speed/Spot Friction Measurement Devices)

เครื่องมือทดสอบประเภทนี้สามารถทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทางได้โดยตรง ให้ข้อมูลเป็นจุดหรือพื้นที่เล็กๆ ใช้เวลาในการทำการทดสอบนานและจำเป็นต้องปิดการจราจรเพื่อทำการทดสอบ โดยทั่วไปมีขนาดเล็ก ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง ปัจจุบันเครื่องมือที่นิยมใช้ 3 ประเภทคือ เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานจากระยะการหยุดของล้อ (Stopping Distance Measurement) เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานจากอัตราหน่วง (Deceleration Rate Measurement) และเครื่องมือทดสอบความเสียดทานด้วยเครื่องมือแบบพกพา (Portable Testers) เช่น British Pendulum Tester (BPT) และ Dynamic Friction Tester (DFT)

2.4.2 เครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทาง (Pavement Texture Measurement Devices)

เช่นเดียวกับเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทาง เครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทาง มีหลายชนิด แตกต่างกันตามวิธีการวัดและข้อมูลที่ได้ โดยสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

- 1) เครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทางแบบความเร็วสูง (High-Speed Texture Measurement Device)

เครื่องมือประเภทนี้เป็นเลเซอร์ (Laser Profiler) ไม่สัมผัสพื้นผิวของผิวทาง สามารถทดสอบได้ต่อเนื่องที่ความเร็วสูง ให้ข้อมูลความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (MPD)

- 2) เครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทางแบบความเร็วต่ำหรือแบบจุด (Low-Speed/Spot Texture Measurement Devices)

เครื่องมือประเภทนี้เป็นเครื่องมือขนาดเล็ก สามารถพกพาง่ายและใช้งานสะดวก จำเป็นต้องปิดการจราจรเพื่อทำการทดสอบมี 3 ชนิด คือ Sand Patch Method (SPM) Outflow Meter (OFM) และ Circular Texture Meter (CTM)

เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานและเครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทางที่ใช้อย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2-1 ถึง 2-3

จากการศึกษาเครื่องมือทดสอบความเสียดทานของผิวทางและเครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทางจะเห็นว่าเครื่องมือแต่ละชนิดมีข้อดี ข้อเสีย แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรณีการใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT T-10) ประเภท Fixed-Slip สำหรับทดสอบข้อมูลความเสียดทานของผิวทาง เนื่องจากเป็นเครื่องมือทดสอบประเภทความเร็วสูงและเป็นเครื่องมือที่กรมทางหลวงมิใช่ในปัจจุบัน และใช้เครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement สำหรับทดสอบข้อมูลลักษณะผิวทาง เนื่องจากเป็นเครื่องมือทดสอบประเภทความเร็วสูง



2.4.3 เครื่องมือ Airport Surface Friction Tester (ASFT T-10) ประเภท Fixed-Slip

เครื่องมือ ASFT T-10 เป็นเครื่องมือวัดค่าความเสียดทานของผิวทางโดยวัดแรงต้านทานการหมุนของล้อทดสอบในทิศทางการเคลื่อนที่และผิวทาง เครื่องมือชนิดนี้ใช้อย่างแพร่หลายในการทดสอบค่าความเสียดทานของรันเวย์และผิวทางในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถทดสอบและบันทึกค่าความเสียดทานได้ต่อเนื่อง ทั้งในการสำรวจที่ความเร็วต่ำและการสำรวจที่ความเร็วสูง ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ ASFT T-10 มีตามรูปที่ 2-4 ประกอบด้วยล้อสำหรับการเคลื่อนที่ 2 ล้อ และล้อทดสอบอยู่ตรงกลาง โดยมีระบบโซ่เชื่อมระหว่างล้อทดสอบและเพลาล้อสำหรับการเคลื่อนที่ เมื่อเริ่มการทดสอบความเสียดทานระบบโซ่จะหน่วงล้อทดสอบทำให้เกิดแรงต้านทานการ




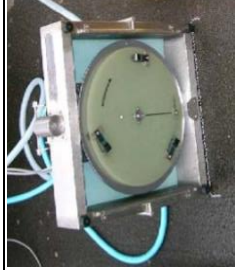
ตารางที่ 2-1 เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานแบบความเร็วสูง (Pavement Friction High-Speed Measurement Devices)
(ที่มา : Hall et al. (2009))

วิธีทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ	คำอธิบายเครื่องมือ	ข้อดี	ข้อเสีย	ภาพประกอบ
Locked-Wheel	ASTM E274	เครื่องมือทดสอบประเภท Locked-Wheel ต่อพวงรถทดสอบ วิ่งทดสอบด้วยความเร็วไม่เกิน 64 กม./ชม. โดยฉีคน้ำหนา 0.5 มม. หน้าล้อทดสอบ เมื่อต้องการทดสอบล้อทดสอบจะถูกกดลงบนพื้น ระบบเบรกจะล็อคล้อทดสอบ บันทึกค่าแรงแงกดันทานการเคลื่อนที่เฉลี่ย 1-3 วินาที หลังจากล้อทดสอบถูกล็อกล้อโดยสมบูรณ์	- ใช้มากกว่า 40 รัฐ ในสหรัฐอเมริกา - เป็นเครื่องมือที่ใช้ง่าย ไม่ซับซ้อน ใช้เวลาทดสอบไม่มาก	- ใช้ทดสอบการผิวทางตรงเท่านั้น ไม่สามารถทดสอบทางโค้งได้ - อาจพลาดข้อมูลบางตำแหน่ง เนื่องจากทดสอบต่อเนื่อง	
Side-Force	ASTM E670	เครื่องมือทดสอบประเภทนี้ วัดค่าความเสียดทานด้านข้างหรือตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ ฉีคน้ำด้วยอัตรา 1.2 ลิตร/นาที หน้าล้อทดสอบ รถทดสอบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เกิน 64 กม./ชม. ล้อทดสอบหมุนอิสระ บันทึกค่า ความเสียดทานด้านข้าง น้ำหนักล้อ และความเร็ว ทุก 25-125 มม. และเฉลี่ยทุก 1 เมตร	- ใช้แพร่หลายในยุโรป - วัดค่าได้ต่อเนื่องตลอดผิวทางทดสอบ	- ไขต่อความผิดปกติของผิวทาง เช่น รอยแตก หลุม ซึ่งทำให้ได้อย่างทดสอบเสียหายเร็วขึ้น - มาตราวัด Mu ใช้เฉพาะสนามบินในสหรัฐ	




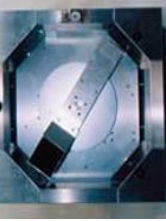
ตารางที่ 2-1 เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานแบบความเร็วสูง (Pavement Friction High-Speed Measurement Devices)
(ที่มา : Hall et al. (2009) (ต่อ))

วิธีทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ	คำอธิบายเครื่องมือ	ข้อดี	ข้อเสีย	ภาพประกอบ
Fixed-Slip	Various	เครื่องมือทดสอบประเภทนี้วัดค่าการต้านทานการหมุนของล้อยางทดสอบแบบเรียบ ล้อทดสอบเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 12-20% ของความเร็วรถลาก (โดยทั่วไปรถลากความเร็ว 64 กม./ชม.) ฉี น้ำมันา 0.5 มม. หน้าล้อทดสอบ บันทึกค่าความเสียดทาน น้ำหนักล้อ ทุก 25-125 มม. และเฉลี่ยทุก 1 ม.	- สามารถวัดค่าความเสียดทานได้ต่อเนื่อง - ข้อมูลความเสียดทานที่ได้มีความละเอียดสูง	- ใช้จำนวนมากในการทดสอบค่าความเสียดทานแบบต่อเนื่อง - เครื่องมือ Fixed-Slip อ่านค่าที่ความเร็วสลลิป (Slip speed) ค่าหนึ่ง อาจไม่สัมพันธ์กับความเร็ววิกฤติจริง ที่สภาวะที่มีหิมะหรือน้ำแข็งปกคลุม	
Variable-Slip	ASTM E1859	เครื่องมือประเภทนี้วัดค่าความเสียดทานสัมพันธ์กับความเร็วสลลิป (0-100%) ของความเร็วรถลาก มีการฉี น้ำมันา 0.5 มม. หน้าล้อทดสอบ ล้อทดสอบหมุนอิสระ แล้วปล่อยให้ความเร็วล้อทดสอบลดลง บันทึกค่าความเร็วรถลาก ระยะทาง ความเร็วการหมุนของล้อ น้ำหนักล้อ และค่าความเสียดทาน	- สามารถวัดค่าได้ทั้งแบบความเร็วคงที่หรือความเร็วใดๆ	- ใช้จำนวนมากในการทดสอบค่าความเสียดทานแบบต่อเนื่อง - เครื่องมือมีขนาดใหญ่ และซับซ้อนมาก ข้อมูลที่บันทึกมีความซับซ้อน ทำให้หน่วยประมวลผลซับซ้อนตาม	

ตารางที่ 2-2 เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานแบบความเร็วต่ำ (Pavement Friction Low-Speed Measurement Devices)
(ที่มา : Hall et al. (2009))

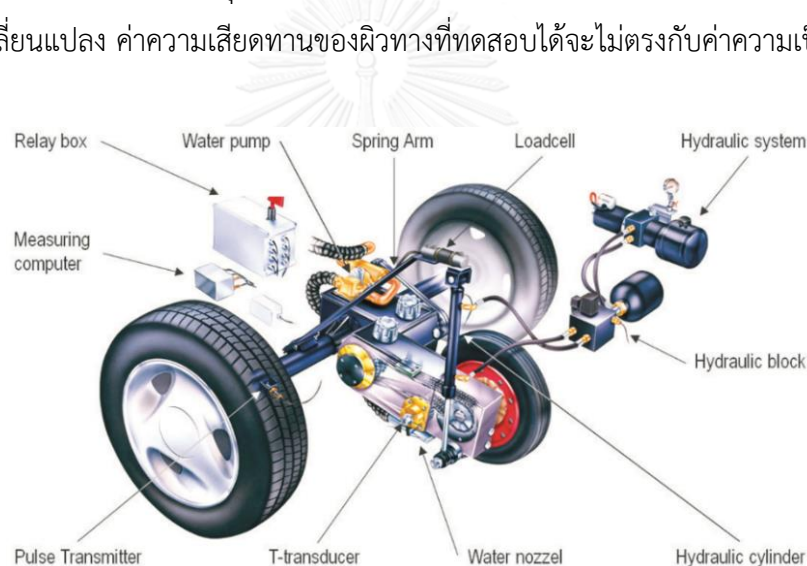
วิธีทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ	คำอธิบายเครื่องมือ	ข้อดี	ข้อเสีย	ภาพประกอบ
Stopping Distance Measurement	ASTM E445	ขับรถทดสอบ ทดสอบด้วยความเร็วคงที่ 64 กม./ชม. บนผิวทางที่อยู่ในสภาวะอิมิตัวด้วยน้ำ วัดระยะทางเบรกของรถทดสอบ	- เป็นวิธีทดสอบที่ง่าย	- ต้องปิดการจราจรทดสอบ	
Deceleration Rate Measurement	ASTM E2101	วิธีทดสอบนี้ทดสอบ โดย รถทดสอบวิ่งด้วยความเร็ว 32-48 กม./ชม. จากนั้นเบรกล้อคล้อ วัดอัตราชะลอความเร็วคำนวณเป็นค่าความเสียดทาน	- ระบบขนาดเล็กติดตั้งง่าย ใช้งานง่าย	- ต้องปิดการจราจรทดสอบ - วิธีการเบรกรถจำเป็นต้องปฏิบัติตามขั้นตอน	
Portable Testers	ASTM E303	- British Pendulum Tester (BPT) ประกอบด้วยชุดแขนเหวี่ยงโดยมียางติดที่ปลายแขนเหวี่ยง เมื่อแขนเหวี่ยงถูกปล่อยเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัส อ่านค่าที่มาตรวัดและแปลงเป็นค่าความเสียดทาน โดยทำการทดสอบ 5 ครั้ง	- เป็นเครื่องมือที่ใช้แพร่หลายทั่วโลก - ใช้ได้ทั้งทดสอบในห้องทดลองและภาคสนาม	- อาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากผู้ทดสอบและลม - ต้องปิดการจราจรทดสอบ - ความเสียดทานที่ทดสอบเป็นจุดไม่สามารถใช้ประเมินระดับโครงสร้างได้	
	ASTM E1911	- Dynamic Friction Tester เป็นเครื่องมือวัดค่าแรงบิด (Torque) ที่หมุนแผ่นยาง 3 แผ่น โดยวัดที่ความเร็ว 20, 40, 60 และ 80 กม./ชม. บันทึกค่าความเร็วการหมุน แรงบิดการหมุน และแรงแนวตั้ง	- ให้ค่าความเสียดทานทั้งความเร็วต่ำและความเร็วสูง - ไม่มีความคลาดเคลื่อนจากผู้ทดสอบและลม	- ต้องปิดการจราจรทดสอบ - ความเสียดทานที่ทดสอบเป็นจุดไม่สามารถใช้ประเมินระดับโครงสร้างได้	

ตารางที่ 2-3 เครื่องมือทดสอบลักษณะผิวทาง (Pavement Texture Measurement Devices) (ที่มา : Hall et al. (2009))

วิธีทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ	คำอธิบายเครื่องมือ	ข้อดี	ข้อเสีย	ภาพประกอบ
Electro-Optic Method (EOM)	ASTM E1845 ISO 13473-1 ISO 13473-2 ISO 13473-3	เครื่องมือประกอบด้วยเลเซอร์ความเร็วสูงเก็บข้อมูลค่าพื้นผิวของผิวทาง ช่วงความสูงผิวทาง 0.25 มม.หรือน้อยกว่า สามารถเก็บข้อมูล Macro-Texture ได้ มีการติดตั้งระบบ GPS เพื่อระบุพิกัดและหน่วยประมวลผล คำนวณค่าระดับผิวทางและดัชนีพื้นผิวอื่น ๆ	- เก็บข้อมูลได้ต่อเนื่องที่ความเร็วสูง - ข้อมูลมีความสัมพันธ์กับค่า Mean Texture Depth (MTD)	- จำเป็นต้องใช้ผู้ควบคุมที่มีทักษะในการเก็บข้อมูลและประมวลผล	
Sand Patch Method (SPM)	ASTM E965 ISO 10844	ผู้ทำการทดสอบเททรายที่ทราบปริมาณ เป็นวงกลมบนผิวทางที่สะอาด วัดเส้นผ่านศูนย์กลางและคำนวณ Mean Texture Depth (MTD)	- เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลาย - เป็นวิธีที่ถูกและทำง่าย - สามารถแปลงเป็นค่าความเสียหายได้เมื่อมีข้อมูลเพิ่มเติม	- เป็นวิธีที่ทดสอบได้ช้า และจำเป็นต้องปิดการจราจรทดสอบ - ให้ข้อมูลพื้นที่ขนาดเล็ก - อาจมีความคลาดเคลื่อนจากผู้ทดสอบ	
Outflow Meter (OFM)	ASTM E2380	วิธีนี้เป็นวิธีวัดอัตราการระบายน้ำของผิวทางและช่องว่างภายใน ให้ค่าเวลาที่น้ำไหลออก (Outflow Time, OFT) โดย OFT ดัชนีความความว่าพื้นผิวขรุขระหรือระบายน้ำได้ดี	- เป็นวิธีที่ถูกและทำง่าย - ให้ค่า Hydroplaning	- เป็นวิธีที่ทดสอบได้ช้า และจำเป็นต้องปิดการจราจรทดสอบ - ให้ข้อมูลพื้นที่ขนาดเล็ก - ข้อมูลที่ไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับ MPD และ MTD	
Circular Texture Meter (CTM)	ASTM E2157	เครื่องมือประกอบด้วยเลเซอร์เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 286 มม. ช่วงความสูง 0.868 มม.หมุนด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที ให้ค่า MPD ของผิวทาง	- ใช้เหมือน DFT สามารถเปรียบเทียบค่าความเสียหายกันได้ - มีความสัมพันธ์ที่ดีกับ MTD - เครื่องมือขนาดเล็ก พกพาได้ง่าย	- เป็นวิธีที่ทดสอบได้ช้า และจำเป็นต้องปิดการจราจรทดสอบ - ให้ข้อมูลพื้นที่ขนาดเล็ก	

เคลื่อนที่ในแนวราบบันทึกค่าแรงต้านทานการเคลื่อนที่ในแนวราบ และมีระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System) ควบคุมแรงในแนวตั้งที่กระทำกับล้อทดสอบให้มีขนาดคงที่ตลอดการทดสอบ จากนั้นประมวลผลผ่านโปรแกรมเฉพาะของเครื่องมือ ASFT T-10 ทำให้ได้ข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทาง ในการทดสอบต้องมีการฉีดน้ำผ่านรูฉีดน้ำ (water nozzle) หนาล้อทดสอบหนา 0.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ผิวทางอยู่ในสภาวะเปียก

เครื่องมือ ASFT T-10 ไม่สามารถเก็บข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางที่มีลักษณะโค้งหรือมีการเปลี่ยนแปลงระดับได้ เนื่องจาก ASFT T-10 วัดแรงต้านทานการหมุนของล้อทดสอบในทิศทางเคลื่อนที่ทิศทางเดียว การเคลื่อนที่แนวโค้งเป็นการเคลื่อนที่ 2 ทิศทางทำให้แรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าความเป็นจริง เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงระดับของผิวทาง ASFT T-10 มีระบบไฮดรอลิก เพื่อควบคุมแรงในแนวตั้งให้คงที่ เมื่อระดับของผิวทางเปลี่ยนแปลงทำให้แรงในแนวตั้งเปลี่ยนแปลง ค่าความเสียหายของผิวทางที่ทดสอบได้จะไม่ตรงกับค่าความเป็นจริง



รูปที่ 2-4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ ASFT T-10 (ที่มา : ASFT)

2.4.4 High Speed Laser Texture Measurement

เครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement เป็นเครื่องมือแบบไม่สัมผัสผิวทางสามารถเก็บข้อมูลผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) ได้ในช่วงความสูง 0.5-50 มิลลิเมตร มีขนาดจุดลำแสงเลเซอร์น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร และมีการติดตั้ง GPS เพื่อบันทึกพิกัดทดสอบ เครื่องมือชนิดนี้สามารถบันทึกข้อมูลได้ต่อเนื่อง โดยสามารถใช้ได้ทั้งความเร็วต่ำและความเร็วสูงในการสำรวจ การเก็บข้อมูลผิวทางของเครื่องมือชนิดนี้ เก็บข้อมูลผิวทางขนาด 100 มิลลิเมตรตลอดระยะทางทดสอบ จากนั้นคำนวณผ่านโปรแกรมอัตโนมัติได้ค่า Mean Section Depth (MSD) ขนาด 100 มิลลิเมตร

ตลอดระยะเวลาการทดสอบ การประมวลผลข้อมูลของเครื่องมือชนิดนี้สามารถเลือกประมวลผลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) ที่ระยะต่างๆได้ ในงานวิจัยนี้เลือกการประมวลผลที่ทุกระยะ 100 เมตรตามมาตรฐาน ASTM E1845 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement

รูปภาพ	คำอธิบาย
	Laser Profiler เลเซอร์สำหรับทดสอบลักษณะผิวทาง
	กล้องบันทึกวิดีโอขณะทดสอบ
	หน้าจอควบคุมและแสดงผล
	CPU ควบคุม 2 เครื่อง สำหรับควบคุมกล้องบันทึกภาพ และควบคุม High Speed Laser Texture Measurement
	สวิทช์ควบคุม CPU และ Laser Profiler

2.5 การวางแผนและจัดการความเสี่ยงของผิวทาง

ในการยกระดับความปลอดภัยของสายทางถูกจำกัดโดยงบประมาณ ดังนั้นการวางแผนบริหารจัดการสายทางต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของสายทางและลำดับการยกระดับความปลอดภัยของสายทาง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของผิวทางค่าหนึ่งเหมาะสมกับพื้นที่พื้นที่หนึ่ง แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงค่านั้นอาจไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่อีกพื้นที่หนึ่ง เนื่องจากสายทางแต่ละ

สายมีคุณลักษณะ (Site Conditions) คุณลักษณะด้านการจราจร (Traffic Characteristics) และ คุณสมบัติของผู้ขับขี่หรือยานพาหนะ (Driver/Vehicle Characteristics) ที่แตกต่างกัน (Hall et al., 2009) ดังนั้นแต่ละประเทศจึงมีการจัดตั้งเกณฑ์ในการประเมินสายทางของประเทศตัวเอง โดยเกณฑ์ การประเมินสายทางที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมี 2 ระดับ คือ ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) และ ระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level)

ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) เป็นระดับที่บ่งบอกว่าสายทางที่มีค่าความเสียหาย ต่ำกว่าระดับพึงระวัง เป็นสายทางที่ควรมีการตรวจสอบค่าความเสียหายถี่ขึ้นหรือนำข้อมูลอุบัติเหตุ มาวิเคราะห์ร่วมด้วย อาจมีการติดตั้งป้ายเตือนผู้ใช้สายหรือปรับปรุงผิวทางในระยะสั้น

ระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) เป็นระดับที่บ่งบอกว่าสายทางที่มีค่าความเสียหาย ต่ำกว่าระดับปรับปรุงแก้ไข เป็นสายทางที่ควรปรับปรุงแก้ไขอย่างเร่งด่วน มีการดำเนินการทั้ง ติดตั้งป้ายเตือนและวางแผนการปรับปรุงพร้อมกัน

จากการศึกษาพบว่าแต่ละประเทศมีการจัดทำระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Levels) ของประเทศตนเอง หรือบางประเทศเช่น สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย แต่ละรัฐมีการจัดตั้งระดับ ปรับปรุงแก้ไขที่แตกต่างกันตามตารางที่ 2-5 จะเห็นว่าถึงแม้แต่ละประเทศมีค่าระดับปรับปรุงแก้ไขที่ แตกต่างกัน แต่ค่าระดับปรับปรุงแก้ไขของแต่ละประเทศมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่า สัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับปรับปรุงแก้ไขของทางด่วน (Motorway) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือทางสายหลัก (Primary) ทางสายรอง (Secondary) และถนนท้องถิ่น (Local) ตามลำดับ

โครงการศึกษาความเสียหายของผิวทางเพื่อปรับปรุงสภาพกายภาพของทางหลวงชนบท สำนักอำนวยการความปลอดภัย กรมทางหลวงชนบทได้เคยเสนอระดับพึงระวังและระดับปรับปรุงแก้ไข (Investigatory and Intervention Levels) สำหรับการบริหารสายทางระดับโครงข่ายของกรมทาง หลวงชนบท สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-6 จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่แนะนำมีค่าใกล้เคียงกับค่าของ ต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศออสเตรเลียตามตารางที่ 2-5

นอกจากนี้กรมทางหลวงได้เคยศึกษาโครงการวิจัยและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง เพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดและยกระดับด้านความปลอดภัยงานทางของกรมทางหลวง (กรมทางหลวง, 2560) โดยแนะนำค่าระดับพึงระวังและระดับปรับปรุงแก้ไขที่เป็นค่าดัชนีความเสียหายสากล (IFI) ดังนี้ ระดับพึงระวังมีค่า IFI เท่ากับ 0.32 และระดับปรับปรุงแก้ไขมีค่า IFI เท่า 0.25

2.6 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Pavement)

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) เป็นผิวทางที่มีจำนวนมากที่สุดในประเทศ ไทย ข้อมูลจากกรมทางหลวง (2558) ระบุว่าสายทางหลวงประเภทผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมี

ตารางที่ 2-5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) ที่แนะนำ
ในต่างประเทศ (Henry, 2000)

ประเทศ	ทางด่วน (Motorway)	ทางสายหลัก (Primary)	ทางสายรอง (Secondary)	ถนนท้องถิ่น (Local)
อังกฤษ	SCRIM > 0.50	SCRIM > 0.40	SCRIM > 0.33	
ญี่ปุ่น	Friction > 0.25			
เนเธอร์แลนด์	DWW > 38	DWW > 38		
สวีตเซอร์แลนด์	BPN > 65			
นิวซีแลนด์	SCRIM > 0.35-0.55			
รัฐเซาธ์ออสเตรเลีย ออสเตรเลีย	BPN > 45	BPN > 45	BPN > 45	BPN > 40
รัฐนิวเซาธ์เวลส์ ออสเตรเลีย	SCRIM > 0.30-0.55			
รัฐวิกตอเรีย ออสเตรเลีย	SCRIM > 0.35-0.55			
รัฐเทกซัส สหรัฐอเมริกา	SN40R>30	SN40R>26	SN40R>22	
รัฐนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา	SN40R>32	SN40R>32	SN40R>32	SN40R>32
รัฐเคนทักกี สหรัฐอเมริกา	SN40R>28	SN40R>25	SN40R>25	SN40R>25
รัฐอิลลินอยส์ สหรัฐอเมริกา	SN40R>30	SN40R>30	SN40R>30	

หมายเหตุ : SCRIM = Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine, DWW = Dienst weg-en Waterbouwkunde friction tester, BPN = British Pendulum Numbers, SN40 = Skid Numbers ที่ 40 ไมล์/ชั่วโมง (64 กิโลเมตร/ชั่วโมง)

ตารางที่ 2-6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ระดับพึงระวังและระดับปรับปรุงแก้ไขของกรมทางหลวงชนบท

ลักษณะทางเรขาคณิต ของถนน	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย (μ)	
	ระดับพึงระวัง (Investigatory)	ระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention)
ทางโค้ง (รัศมีความโค้ง < 100 ม.)	0.50	0.45
ทางโค้ง (รัศมีความโค้ง \geq 100 ม.)	0.45-0.50	0.40
ทางตรง	0.35-0.40	0.30
ทางแยก	0.40-0.45	0.35
ทางลาดชัน	0.45-0.50	0.40

ระยะทางรวมทั้งประเทศ 63,423 กิโลเมตร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เกิดจากการผสมร้อนระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) กับมวลรวม (Aggregate) ที่โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Mixing Plant) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามมาตรฐานงานทางหลวง ทล.-ม. 408/2532 มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการงานก่อสร้าง งานบูรณะและบำรุงทาง

มวลรวม (Aggregate) คือ วัสดุที่ใช้ผสมกับวัสดุเชื่อมประสานเช่น แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) หรือซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) มวลรวมแบ่งตามขนาดโดยมวลรวมที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือค้ำอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เรียกว่า มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 เรียกว่า มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หรือหินคือ ของแข็งที่ประกอบไปด้วยแร่ชนิดเดียวหรือหลายชนิดประกอบกัน นักธรณีวิทยาได้แบ่งหินตามลักษณะการเกิดเป็น 3 ประเภทคือ หินอัคนี หินตะกอนและหินแปร โดยหินอัคนี (Igneous Rocks) เกิดจากการเย็นตัวของหินหนืดร้อนภายในโลก (Magma) และหินหนืดร้อนบนพื้นผิวโลก (Lava) เมื่อผ่านฤดูกาลต่างๆ ลม ฝน และแดด ทำให้หินอัคนีผุกร่อน ถูกทับถม อัดด้วยแรงดันและทำปฏิกิริยาทางเคมีเป็นเวลาหลายล้านปีเกิดเป็นหินตะกอน (Sedimentary Rocks) การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกและความร้อนภายในเปลือกโลกทำให้หินอัคนีและหินตะกอนแปรสภาพเป็นหินแปร (Metamorphic Rocks) งานก่อสร้างสายทางในประเทศไทย มวลรวมหยาบหรือหินที่นำมาใช้ต้องมีการตรวจสอบความสึกหรอและความคงทนตามมาตรฐาน ทล.-ท. 202/2515 และ ทล.-ท. 213/2531 ตามลำดับ หินที่ใช้ในการก่อสร้างสายทางในประเทศไทย

มี 2 ชนิดคือ หินปูน (Limestone) และหินบะซอลต์ (Basalt) โดยข้อมูลแหล่งที่มาของหินจากฐานข้อมูลแหล่งวัสดุของกรมทางหลวง จากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ปีงบประมาณ 2559 พบว่าแหล่งที่มาของหิน 30 แหล่งจาก 40 แหล่งทั่วประเทศไทยเป็นหินปูน (Limestone) และอีก 10 แหล่งเป็นหินบะซอลต์ (Basalt) ซึ่งทั้งหมดพบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

หินปูน (Limestone) จัดอยู่ในประเภทหินตะกอน เป็นหินที่มีเนื้อละเอียดและทำปฏิกิริยากับกรดเนื่องจากมีแร่แคลไซต์เป็นองค์ประกอบหลัก เกิดการทับถมของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ เช่น ปะการัง ซากสิ่งมีชีวิต เป็นต้น ภายใต้ความกดดัน จากนั้นตกผลึกใหม่เป็นหินปูน หินปูนนิยมใช้ในงานก่อสร้างสายทางมากที่สุดในประเทศไทย หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นหินประเภทอัคนีพุ (Extrusive igneous rocks) หรือหินหนืดร้อนบนพื้นร้อน (Lava) เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลึกมีขนาดเล็กและเนื้อละเอียด

แอสฟัลต์ (Asphalt) เป็นวัสดุยึดประสานที่ใช้ในการก่อสร้างสายทาง มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดหรือกึ่งของแข็งมีสีดำหรือน้ำตาลแกมดำ มีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนและสารอินทรีย์อื่นๆ ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมีคุณสมบัติที่สำคัญ 3 ประการคือ มีคุณสมบัติยึดประสาน (Connection) คุณสมบัติในการป้องกันน้ำซึมผ่าน (Waterproofing) และคุณสมบัติอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลง ในงานก่อสร้างสายทางของกรมทางหลวงแอสฟัลต์ที่ใช้คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 (AC 60-70) ตามข้อกำหนด ทล.-ก. 401/2531

2.7 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค่าความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ระหว่างล้อยางของยานพาหนะและพื้นผิวของผิวทาง ค่าความเสียดทานของผิวทางประกอบด้วยแรงย่อย 2 แรงคือ แรงยึดติด (Adhesion) และแรงต้านทาน (Hysteresis) ซึ่งแรงทั้ง 2 นี้สะท้อนค่าลักษณะผิวทางแบบละเอียด (Micro-texture) และผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) ของสายทางตามลำดับ พารามิเตอร์ที่ใช้วัดค่าผิวทางแบบหยาบเรียกว่า ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) การศึกษาของ Skerritt (1993) พบว่าชนิดของหินที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางและปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปีต่อช่องจราจร (Lane AADT) มีความสัมพันธ์กับค่าความเสียดทานของผิวทาง นอกจากนี้การศึกษาของ Oh et al. (2009) และ O'Brien and Haddock (2004) พบว่า อายุผิวทาง สภาพอากาศ และน้ำหนักของยานพาหนะ (Equivalent Single Axle Load, ESAL) มีความสัมพันธ์กับค่าความเสียดทานของผิวทางเช่นกัน

การศึกษาของ Kuttesch (2004) และ Wallman and Åström (2001) พบว่า ค่าความเสียดทานของผิวทางมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นในการบริหารค่าความเสียดทาน

ของผิวทางจึงใช้ค่าความเสียหายของผิวทางเป็นเกณฑ์ในการประเมินความปลอดภัยของสายทางซึ่งมี 2 ระดับคือ ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) และระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) โดยแต่ละประเทศมีระดับเกณฑ์ที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากลักษณะสายทาง (Site Conditions) ปริมาณการจราจร (Traffic Characteristics) และคุณสมบัติของผู้ขับขี่หรือยานพาหนะ (Driver/Vehicle Characteristics) ที่แตกต่างกัน

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าความเสียหายของและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางมีเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ 2 กลุ่ม แบ่งตามลักษณะการใช้งานคือ เครื่องมือทดสอบแบบความเร็วสูง (High Speed Measurement) และเครื่องมือทดสอบแบบความเร็วต่ำ (Low Speed Measurement) ซึ่งเครื่องมือทดสอบแบบความเร็วสูงสามารถเก็บข้อมูลได้เป็นเส้นครั้งละจำนวนมาก แต่มีค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูงในทางตรงกันข้ามเครื่องมือทดสอบแบบความเร็วต่ำจำเป็นต้องปิดการจราจรทดสอบใช้เวลาทดสอบนานและข้อมูลที่ได้ไม่ต่อเนื่องเป็นจุด แต่ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางโดยตรงและมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่ต่ำกว่า ข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางที่ได้จากเครื่องมือทดสอบแต่ละชนิดให้ค่าความเสียหายของผิวทางต่างกัน เนื่องจากวิธีการทดสอบและมาตรฐานการทดสอบที่แตกต่างกันดังนั้น Wambold and Henry (1994) ได้ศึกษาและพัฒนาดัชนีความเสียหายสากล (International Friction Index, IFI) โดยมีจุดประสงค์เพื่อแปลงข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ เป็นค่าที่สอดคล้องกันสามารถเปรียบเทียบกันได้ จากการศึกษาดัชนีความเสียหายสากล (International Friction Index, IFI) และการศึกษาของ Ergun et al. (2005) ทำให้ทราบว่าค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) เป็นตัวแปรสำคัญตัวแปรหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเสียหายของผิวทาง ซึ่งในบทต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้

บทที่ 3

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเสียดทานและความความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) ของผิวทาง มีขั้นตอนการดำเนินการที่สำคัญได้แก่ การคัดเลือกสายทางเพื่อเก็บข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูล ในขั้นตอนการคัดเลือกสายทางเพื่อเก็บข้อมูล การคัดเลือกสายทางที่ถูกต้องให้ตรงกับขอบเขตของการศึกษา เพื่อให้ผลของการเก็บข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ในส่วนขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล การเลือกใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลที่เหมาะสม ทำให้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

3.1 วิธีการเก็บข้อมูล

การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานและค่า MPD นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำค่า MPD ไปใช้ในคัดกรองค่าความเสียดทานของผิวทางเบื้องต้น เพื่อลดระยะทางในการสำรวจค่าความเสียดทานด้วยเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานโดยตรง ดังนั้นในการเก็บข้อมูลในการศึกษานี้จึงเลือกเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานและข้อมูลค่า MPD ในภาคสนามเพื่อให้ข้อมูลทั้งสองชนิดสะท้อนพฤติกรรมที่มีการใช้งานจริงของสายทาง โดยข้อมูลทั้งสองชนิดเป็นการรวบรวมข้อมูลขั้นปฐมภูมิ (Primary Data) เนื่องจากข้อมูลขั้นทุติยภูมิ (Secondary Data) ของข้อมูลค่าความเสียดทานและข้อมูลค่า MPD จากระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง (Roadnet) เป็นการเก็บข้อมูลในเวลาที่แตกต่างกัน เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์อาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทางประเภท Fixed-slip ชื่อ Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT T-10) สำหรับรวบรวมข้อมูลค่าความเสียดทานของผิวทาง เนื่องจากเป็นเครื่องมือทดสอบประเภทความเร็วสูงและเป็นเครื่องมือที่กรมทางหลวงมีใช้ในปัจจุบัน และใช้เครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement สำหรับเก็บข้อมูลลักษณะผิวทางหรือค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย เนื่องจากเป็นเครื่องมือทดสอบประเภทความเร็วสูง โดยศึกษาแยกกลุ่มปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเสียดทานของผิวทาง ทั้งด้านปริมาณการจราจรและด้านอายุผิวทาง

3.2 การคัดเลือกสายทางตัวอย่าง

ในการคัดเลือกสายทางเพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษานี้ใช้ผิวทางประเภท แอสฟัลต์คอนกรีต (AC 60/70) จากกรมทางหลวง เนื่องจากเป็นผิวทางที่พบมากที่สุดในประเทศไทยซึ่งมีระยะทางรวม

63,425 กิโลเมตรหรือมากกว่า 90% (กรมทางหลวง, 2558) โดยหินที่ใช้ในการก่อสร้างเป็นหินปูน เนื่องจาก ในประเทศไทยมีการก่อสร้างสายทางด้วยหินสองชนิดคือ หินปูน และหินบะซอลต์ แต่หินบะซอลต์มีการใช้ก่อสร้างน้อย พบเฉพาะสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่านั้น (กรมทางหลวง, 2559) ลักษณะของผิวทางที่คัดเลือกมีความสม่ำเสมอ (Homogenous) ตลอดช่วงการทดสอบ เนื่องจากสายทางบางสายทางมีการซ่อมแซมหรือปรับปรุงแค่บางช่วงของหลักกิโลเมตร ทำให้พฤติกรรมค่าความเสียหายของผิวทางแตกต่างกันเป็นสองชุดคือ ชุดของข้อมูลช่วงที่ผิวทางมีการปรับปรุงและชุดของข้อมูลช่วงที่ผิวทางไม่ได้ปรับปรุง ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลของค่าเฉลี่ยทั้งสองชุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกสายทางที่มีผิวทางสม่ำเสมอเพื่อให้ข้อมูลที่สำรวจได้เป็นข้อมูลชุดเดียวกัน

จากการเลือกใช้เครื่องมือ ASFT T-10 ประเภท Fixed-Slip ในการสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง ทำให้ลักษณะทางกายภาพของสายทางที่ศึกษาเป็นต้องทางตรง ไม่มีทางโค้ง หรือมีการเปลี่ยนแปลงระดับ เนื่องจากเครื่องมือ ASFT T-10 เป็นเครื่องมือทดสอบแรงต้านทานในการเคลื่อนที่ทิศทางเดียว การเคลื่อนที่ทางโค้งเป็นการเคลื่อนที่ 2 ทิศทางทำให้ข้อมูลแรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่ทดสอบผิดพลาด และการเปลี่ยนแปลงระดับของผิวทางทำให้แรงกระทำในแนวดิ่งที่ทดสอบได้มีความคลาดเคลื่อน เมื่อคำนวณค่าความเสียหายของผิวทางทำให้ได้ค่าที่ผิดพลาดตามไปด้วย โดยสายทางมีความยาวทดสอบไม่น้อยกว่า 1,000 เมตร และมีช่วงทางตรงก่อนถึงทางทดสอบไม่น้อยกว่า 100 เมตรเพื่อให้เครื่องมือทดสอบสามารถทำความเร็วได้ก่อนการสำรวจข้อมูล เนื่องจากมาตรฐาน ASTM E2340-06 ได้แนะนำความยาวของสายทางที่ใช้ในการสำรวจค่าความเสียหายด้วยเครื่องมือทดสอบความเสียหายความเร็วสูง ประเภท Fixed-Slip ระบุว่า ความยาวสายทางทดสอบควรมีระยะอย่างน้อย 100 เมตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกสายทางทดสอบที่มีความยาว 1,000 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่มากกว่าข้อแนะนำของมาตรฐาน ASTM E2340-06 และเป็นระยะทางที่เหมาะสมในการหาสายทางทดสอบ

นอกจากนี้สายทางที่เลือกยังครอบคลุมถึงปัจจัยที่ต้องการศึกษา ทั้งทางด้านอายุผิวทางและปริมาณการจราจร โดยผิวทางที่ศึกษามีอายุผิวทางนับตั้งแต่การก่อสร้างหรือปรับปรุงผิวทางล่าสุดไม่เกิน 3 ปี เนื่องจากการศึกษาของ Oh et al. (2009) พบว่าพฤติกรรมค่าความเสียหายของผิวทางที่เปลี่ยนแปลงในช่วง 2 ปีแรกหลังจากการก่อสร้าง ผิวทางจะเกิดจากการขีดกร่อนและหลุดล่อนจากปริมาณการจราจรเป็นหลัก และหลังจาก 2 ปีค่าความเสียหายของผิวทางจะสีกกร่อนจากการเปลี่ยนแปลงจากสภาพอากาศเป็นสำคัญ ดังนั้นช่วงอายุ 3 ปีของผิวทางจึงครอบคลุมพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงค่าความเสียหายของผิวทาง ปริมาณการจราจรของสายทางทดสอบที่คัดเลือก คัดเลือกให้สะท้อนถึงภาพรวมของปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นจริงของกรมทางหลวงมากที่สุด ตามรูปที่ 3-1 จากการศึกษาค่าข้อมูลปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปี (AADT) ของกรมทางหลวงปี พ.ศ. 2558 พบว่าจำนวนสายทางของกรมทางหลวงมากกว่า 68% มีปริมาณการจราจรไม่เกิน 10,000 คัน/วัน

จำนวนสายทางมากกว่า 84% มีปริมาณการจราจรไม่เกิน 20,000 คัน/วัน จำนวนสายทางมากกว่า 91% มีปริมาณการจราจรไม่เกิน 30,000 คัน/วัน และสายทางประมาณ 10% มีปริมาณการจราจรมากกว่า 30,000 คัน/วัน จากข้อมูลการกระจายตัวของปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) นี้ ทำให้ในงานวิจัยนี้แบ่งจำนวนสายทางที่เก็บตัวอย่าง ดังนี้

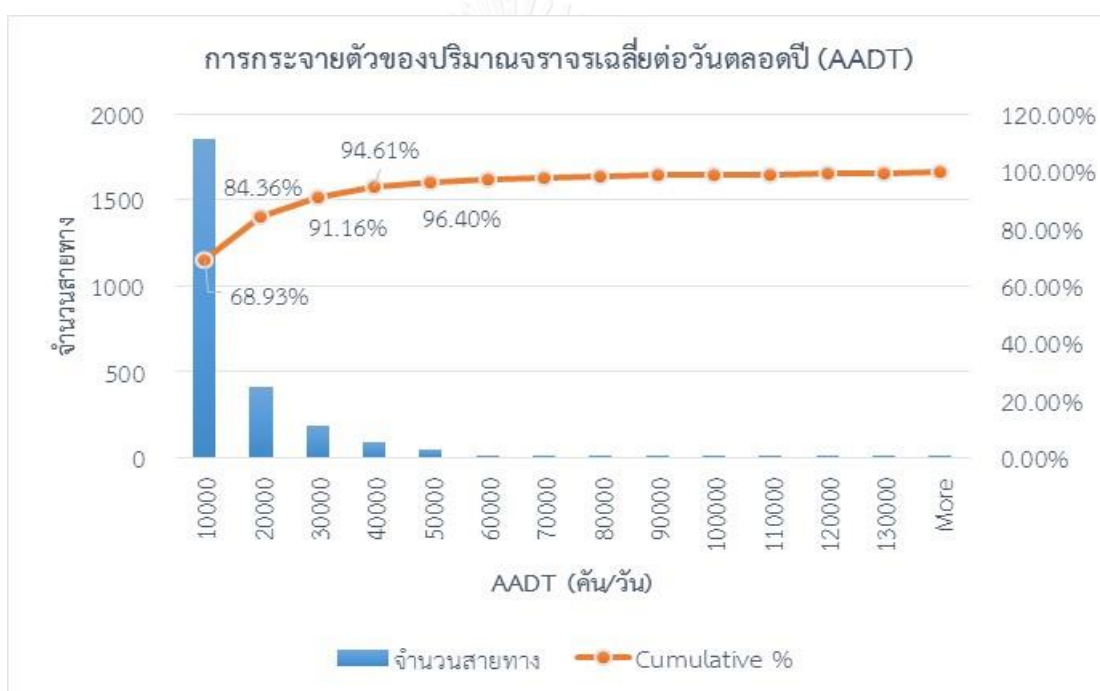
สายทางที่มีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 10,000 คัน/วัน 7 สายทาง

สายทางที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 แต่น้อยกว่า 20,000 คัน/วัน 1 สายทาง

สายทางที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 20,000 แต่น้อยกว่า 30,000 คัน/วัน 1 สายทาง

สายทางที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 30,000 คัน/วัน 1 สายทาง รายละเอียดการ

คัดเลือกสายทางสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3-1



รูปที่ 3-1 การกระจายตัวของปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปีของกรมทางหลวง (2558)

ตารางที่ 3-1 จำนวนสายทางที่คัดเลือกแบ่งตามปริมาณการจราจรและอายุผิวทาง

ชนิดผิวทาง	อายุผิวทาง (ปี)	ปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปี (AADT) (1000 คัน/ปี)				รวม
		น้อยกว่าเท่ากับ 10	10-20	20-30	มากกว่า 30	
AC 60/70	น้อยกว่า 1 ปี	7	1	1	1	10
	1-2 ปี	7	1	1	1	10
	2-3 ปี	7	1	1	1	10
						30

แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกสายทาง

การสืบค้นข้อมูลสายทาง ข้อมูลหมายเลขทางหลวง กิโลเมตรเริ่มต้น กิโลเมตรสิ้นสุด ชนิดผิวของสายทาง ชนิดหินที่ใช้ในการก่อสร้างสายทาง สืบค้นโดยการขอข้อมูลรายการงานก่อสร้างหรือปรับปรุงย้อนหลังไม่เกิน 3 ปี จากสำนักทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์) เนื่องจากสำนักทางหลวงที่ 15 อยู่ใกล้กรุงเทพมหานครทำให้สะดวกในการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างข้อมูลผิวทางที่ก่อสร้างหรือปรับปรุงล่าสุดไม่เกิน 3 ปี (สำนักทางหลวงที่ 15)

หน่วยงาน	หมายเลขทางหลวง	ชื่อตอนควบคุม	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	วันที่ก่อสร้าง/ปรับปรุงล่าสุด	ชนิดผิวทาง	ชนิดของหิน
นครปฐม	346	ลำลูกบัว-หนองกระทุ่ม	75+700	76+530	0.83	24 มี.ย. 56	AC	หินปูน
นครปฐม	375	นครปฐม-ดอนตูม	55+935	57+385	1.45	30 ก.ค. 56	AC	หินปูน
นครปฐม	3040	กำแพงแสน-จันทร์ลาด	8+500	9+406	0.91	21 มี.ค. 57	AC	หินปูน
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไผ่เจดีย์	0+000	1+132	1.13	28 ม.ค. 57	AC	หินปูน
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไผ่เจดีย์	2+300	3+537	1.24	25 ก.ค. 58	AC	หินปูน

สำหรับการสืบค้นข้อมูลปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปี (AADT) ในงานวิจัยนี้สืบค้นจากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ทาง <http://roadnet.doh.go.th/> ดังรูปที่ 3-2 โดยหน้าจอแสดงผลแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของรายละเอียดข้อมูลผิวทางเช่น จำนวนช่องทางจราจร ชนิดของผิวทาง ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) เป็นต้น และส่วนของแผนที่ที่แสดงตำแหน่งและลักษณะของสายทาง



รูปที่ 3-2 ตัวอย่างการสืบค้นข้อมูลการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปี (AADT) และจำนวนช่องทางการจราจร (ระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง, 2555)

3.3 ผลการคัดเลือกสายทาง

จากการคัดเลือกสายทางที่ใช้ในงานวิจัยนี้จำนวน 30 สายทาง ระยะทางสายทางละ 1 กิโลเมตร มีผลการคัดเลือกดังนี้ สายทางที่คัดเลือกก่อสร้างด้วยหินปูนอยู่ในเขตพื้นที่สำนักทางหลวงที่ 15 ซึ่งประกอบด้วยจังหวัด นครปฐม ราชบุรี สมุทรสงครามและเพชรบุรี จากการคัดเลือกพบว่าสายทางที่มีอายุผิวระหว่าง 1 ถึง 2 ปี การกระจายตัวของปริมาณการจราจรเป็นไปตามตารางที่ 3-1 แต่สายทางที่มีอายุผิวน้อยกว่า 1 ปี และสายทางที่มีอายุผิวระหว่าง 2 ถึง 3 ปี พบว่าไม่สามารถหาสายทางที่มีปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปีต่อช่องจราจร (Lane AADT) ในช่วง 20,000-30,000 คัน/วัน และมากกว่า 30,000 คัน/วัน ได้ ดังนั้นจึงเพิ่มข้อมูลสายทางในช่วงปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปีต่อช่องจราจร (Lane AADT) น้อยกว่า 10,000-20,000 คัน/วัน และ 20,000-30,000 คัน/วัน ตามตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ผลการคัดเลือกสายทางแบ่งตามปริมาณการจราจร และอายุผิวทาง

ชนิดผิวทาง	อายุผิวทาง (ปี)	ปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปี (AADT) (1000 คัน/วัน)				รวม
		น้อยกว่าเท่ากับ 10	10-20	20-30	มากกว่า 30	
AC 60/70	น้อยกว่า 1 ปี	7	2	1	0	10
	1-2 ปี	7	1	1	1	10
	2-3 ปี	7	3	0	0	10
						30

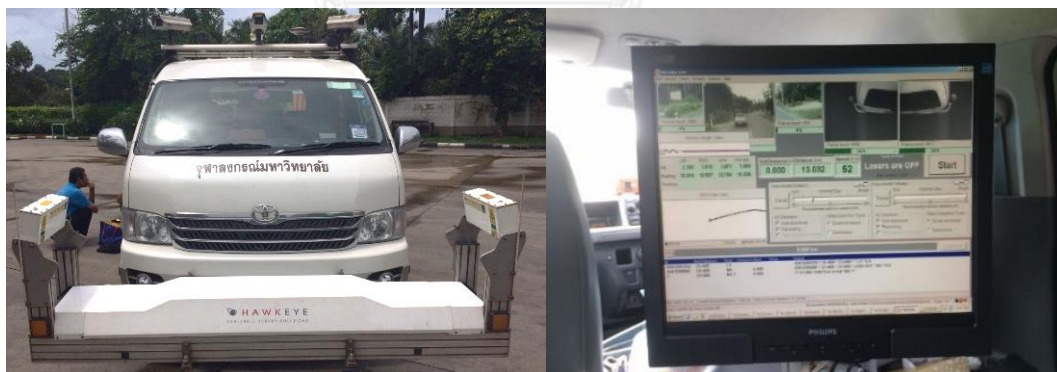
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

การเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลชั้นปฐมภูมิ (Primary Data) ทั้งหมด โดยข้อมูลค่าความเสียดทานของผิวทางสำรวจด้วยเครื่องมือความเร็วสูง Airport Surface Friction Tester T-10, ASFT-T10 ประเภท Fixed-Slip และข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางสำรวจด้วยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement ซึ่งเครื่องมือทั้งสองชนิดเก็บข้อมูลผิวทางช่องจราจรช่องซ้ายสุด เนื่องจากเป็นช่องจราจรที่มีค่าวิกฤตที่สุดจากการที่รถบรรทุกวิ่ง โดยการเก็บข้อมูลของเครื่องมือทั้งสองชนิดอ้างอิงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจากหลักกิโลเมตรของกรมทางหลวง ทำให้ข้อมูลทั้งสองชนิดเป็นข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน โดยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement เก็บข้อมูลก่อนหรือนำหน้าเครื่องมือ ASFT T-10 เนื่องจากเมื่อเครื่องมือ ASFT T-10 ทดสอบจะเกิดฟิล์มน้ำ และเมื่อเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement ทดสอบผ่านฟิล์มน้ำ ข้อมูลลักษณะผิวทางที่ได้จะเกิดความคลาดเคลื่อน

การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนการสำรวจข้อมูลภาคสนามต้องมีการตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆตามที่คู่มือการใช้งานระบุไว้ นอกจากนี้ก่อนการเก็บข้อมูลผิวทางด้วยเครื่องมือทั้ง 2 ชนิดต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) ก่อนทุกครั้ง

ความยาวในการเก็บข้อมูล เก็บข้อมูลตัวอย่างละ 100 เมตร เนื่องจากจากมาตรฐาน ASTM E1845 ระบุว่า การเก็บข้อมูลลักษณะผิวทางด้วยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement เก็บข้อมูล Mean Segment Depth (MSD) อย่างน้อย 10 ตัวอย่าง จากนั้นเฉลี่ยเป็นค่า MPD ทุกระยะทดสอบ 100 เมตร แต่เครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement ที่ใช้ในการศึกษานี้เก็บข้อมูล MSD 1,000 ตัวอย่าง และนำข้อมูลมาเฉลี่ยเป็นค่า MPD ทุกระยะทางทดสอบ 100 เมตร จะเห็นว่าการเก็บข้อมูลในการศึกษานี้เก็บข้อมูลมากกว่าจำนวนที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM E1845

สำหรับการเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานของผิวทาง เนื่องจากมาตรฐาน ASTM E2340-06 ไม่ได้กล่าวถึงจำนวนข้อมูลขั้นต่ำในการเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานของผิวทาง แต่แนะนำระยะทางทดสอบว่าควรมีระยะทางทดสอบมากกว่า 100 เมตร ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานของผิวทางโดยเฉลี่ยทุกระยะทางทดสอบ 100 เมตร เพื่อให้ข้อมูลค่าความเสียดทานและค่า MPD ของผิวทางมีระยะทางเท่ากัน 100 เมตร โดยความเร็วที่ใช้ในการเก็บข้อมูลค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางไม่เกิน 64 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM E2340-06



รูปที่ 3-3 การเก็บข้อมูลค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางด้วยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement

3.5 ผลการเก็บข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามของเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement และเครื่องมือ ASFT T-10 ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลดิบ จะต้องมีการประมวลผลข้อมูลทุกระยะ 100 เมตร

ตามข้อกำหนดในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ผ่านโปรแกรมเฉพาะของเครื่องมือแปลงเป็นไฟล์ประเภท Microsoft Excel แสดงรายละเอียดต่างๆของสายทางดังนี้ หน่วยงานหรือจังหวัดที่รับผิดชอบสายทาง หมายเลขทางหลวงที่เก็บข้อมูล ชื่อตอนควบคุมของสายทาง กม.เริ่มต้น กม.สิ้นสุดที่เก็บข้อมูล ข้อมูลค่าความเสียหายและค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง ดังตารางที่ 3-4 แสดงตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลของทางหลวงหมายเลข 3232 หนองพวงก-ไผ่เจดีย์ ช่วงระยะกิโลเมตรที่ 0+000 ถึง 1+000 ในการเก็บข้อมูลภาคสนามบางสายทางมีปัญหาในการเก็บดังนี้ ช่องจราจรช่องซ้ายสุดบางส่วนของบางสายทางมีความชำรุดเสียหาย ทำให้บางช่วงของการเก็บข้อมูลเป็นการเก็บข้อมูลช่องจราจรช่องที่ 2 แต่เป็นเพียงระยะทางสั้นๆเท่านั้น ซึ่งผลการเก็บข้อมูลสายทางในสำนักทางหลวงที่ 15 จำนวน 30 สายทาง สายทางละ 10 ข้อมูลรวมข้อมูลที่เก็บได้ทั้งหมด 300 ข้อมูลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3-5

จากการเก็บข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ค่าเสียหายพบว่าในบางช่วงของการเก็บข้อมูลไม่สามารถควบคุมความเร็วของเครื่องมือให้คงที่ที่ 60 กม./ชม. ได้เนื่องจากปริมาณการจราจร ทำให้ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การแปลงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ค่าเสียหายเป็นค่าดัชนีความเสียหายสากล (IFI) เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลเนื่องจากความเร็วในการเก็บข้อมูลและความแตกต่างของเครื่องมือ โดยใช้สมการ (2.5) – (2.7) ในการแปลงข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

3.6 สรุปผลการเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้เป็นการศึกษาโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลขั้นปฐมภูมิ (Primary Data) จากการคัดเลือกสายทางที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียหายและค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยของสายทาง คัดเลือกสายทางประเภทแอสฟัลต์คอนกรีต (AC 60/70) ที่ก่อสร้างด้วยหินปูน เนื่องจากเป็นสายทางที่พบเจอมากที่สุดในประเทศไทย (กรมทางหลวง) โดยสายทางทดสอบแต่ละสายทาง มีลักษณะเป็นทางตรงยาว 1,000 เมตร นอกจากนี้ได้คัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสายทางสองชนิดคือ ปัจจัยด้านอายุผิวทางและปัจจัยด้านการจราจร โดยแบ่งสายทางเป็น 3 กลุ่มแบ่งตามอายุของผิวทาง (ไม่เกิน 1 ปี 1-2 ปี และ 2-3 ปี) กลุ่มละ 10 ตัวอย่างสายทาง รวม 30 ตัวอย่างสาย ซึ่งสายทางในแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลตามปริมาณจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปีต่อช่องจราจร (Lane AADT) ของกรมทางหลวงจากการคัดเลือกสายทางได้ผลการคัดเลือกอยู่ในสำนักทางหลวงที่ 15 ประกอบไปด้วยสายทางในจังหวัด นครปฐม สมุทรสงคราม เพชรบุรี และราชบุรี เนื่องจากจังหวัดดังกล่าวอยู่ใกล้กรุงเทพมหานคร ทำให้สะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างข้อมูลจากการสำรวจด้วยเครื่องมือ ASFT T-10 และ High Speed Laser Texture Measurement

หน่วยงาน	หมายเลขทางหลวง	ชื่อตอนควบคุม	กม.เริ่มต้น	กม.สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	กม.ย่อย	ความเร็ว (กม./ชม.)	ค่าความเสียดทาน	MPD (mm.)
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+000	10.1	0.475	1.220
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+100	20.2	0.155	0.982
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+200	32.8	0.360	1.033
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+300	36.0	0.295	1.015
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+400	54.8	0.220	1.051
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+500	63.6	0.200	0.993
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+600	52.8	0.245	1.027
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+700	50.3	0.290	0.956
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+800	46.9	0.315	0.893
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+900	47.3	0.360	0.939

ตารางที่ 3-5 ผลการเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานและ MPD

	MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction
1	1.341	0.306	31	1.570	0.567	61	1.445	0.606	91	0.937	0.352
2	1.393	0.318	32	1.367	0.557	62	1.407	0.525	92	0.946	0.295
3	1.442	0.324	33	1.411	0.584	63	1.319	0.452	93	0.961	0.294
4	1.277	0.348	34	1.495	0.550	64	1.373	0.407	94	1.051	0.276
5	1.198	0.337	35	1.532	0.512	65	1.380	0.454	95	1.008	0.252
6	1.274	0.350	36	1.343	0.539	66	1.327	0.482	96	1.281	0.468
7	1.344	0.351	37	1.343	0.462	67	1.455	0.508	97	1.363	0.471
8	1.290	0.351	38	1.350	0.509	68	1.363	0.514	98	1.330	0.484
9	1.312	0.335	39	1.325	0.512	69	1.313	0.482	99	1.270	0.498
10	1.163	0.322	40	1.395	0.513	70	1.353	0.517	100	1.332	0.477
11	1.485	0.489	41	1.182	0.526	71	1.343	0.265	101	1.295	0.417
12	1.295	0.502	42	1.309	0.513	72	1.371	0.274	102	1.420	0.399
13	1.200	0.576	43	1.354	0.519	73	1.311	0.327	103	1.402	0.428
14	1.259	0.590	44	1.472	0.578	74	1.412	0.305	104	1.258	0.483
15	1.243	0.644	45	1.416	0.502	75	1.350	0.286	105	1.338	0.441
16	1.135	0.593	46	1.092	0.424	76	1.400	0.317	106	1.215	0.406
17	1.195	0.551	47	1.070	0.413	77	1.371	0.292	107	0.994	0.387
18	1.219	0.601	48	0.970	0.460	78	1.412	0.298	108	0.980	0.259
19	1.494	0.657	49	1.012	0.471	79	1.338	0.347	109	1.063	0.192
20	1.384	0.644	50	0.985	0.517	80	1.407	0.282	110	1.059	0.170
21	1.316	0.638	51	0.956	0.495	81	1.226	0.393	111	1.009	0.181
22	1.392	0.607	52	1.142	0.499	82	1.285	0.422	112	1.020	0.200
23	1.403	0.628	53	1.082	0.447	83	1.211	0.436	113	1.167	0.211
24	1.521	0.560	54	0.904	0.419	84	1.240	0.422	114	1.077	0.234
25	1.537	0.590	55	1.023	0.473	85	1.268	0.417	115	0.843	0.193
26	1.280	0.625	56	0.981	0.287	86	1.231	0.442	116	1.087	0.231
27	1.662	0.638	57	0.950	0.273	87	1.208	0.436	117	1.193	0.258
28	1.678	0.623	58	0.888	0.299	88	1.182	0.386	118	1.273	0.259
29	1.631	0.630	59	1.014	0.309	89	1.204	0.389	119	1.127	0.237
30	1.634	0.653	60	0.998	0.311	90	1.193	0.398	120	1.131	0.234

ตารางที่ 3-5 ผลการเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานและ MPD (ต่อ)

	MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction
121	1.250	0.401	151	0.958	0.305	181	1.157	0.543	211	1.164	0.274
122	1.277	0.386	152	0.935	0.308	182	1.069	0.527	212	1.066	0.266
123	1.353	0.366	153	1.002	0.317	183	1.105	0.497	213	0.974	0.237
124	1.279	0.382	154	0.939	0.290	184	1.099	0.503	214	1.125	0.266
125	1.302	0.373	155	0.930	0.289	185	1.156	0.524	215	1.143	0.263
126	1.392	0.360	156	1.052	0.438	186	1.110	0.528	216	1.359	0.393
127	1.417	0.383	157	1.235	0.452	187	1.128	0.494	217	1.388	0.408
128	1.362	0.375	158	1.135	0.447	188	1.051	0.469	218	1.347	0.382
129	1.409	0.364	159	0.978	0.434	189	1.066	0.438	219	1.529	0.328
130	1.425	0.350	160	0.980	0.443	190	1.144	0.457	220	1.628	0.296
131	1.322	0.255	161	0.976	0.470	191	1.223	0.510	221	1.175	0.293
132	1.315	0.337	162	1.017	0.473	192	0.980	0.384	222	1.381	0.275
133	1.332	0.310	163	1.028	0.487	193	1.048	0.421	223	1.524	0.284
134	1.254	0.294	164	1.030	0.460	194	1.027	0.388	224	1.315	0.302
135	1.164	0.304	165	1.003	0.477	195	1.002	0.241	225	1.138	0.293
136	1.143	0.284	166	1.147	0.417	196	1.008	0.214	226	1.019	0.362
137	1.235	0.362	167	1.198	0.412	197	1.020	0.263	227	1.043	0.236
138	1.213	0.382	168	1.224	0.410	198	0.911	0.350	228	0.991	0.254
139	1.194	0.287	169	1.329	0.415	199	0.896	0.336	229	0.987	0.239
140	1.209	0.335	170	1.213	0.425	200	0.936	0.423	230	0.855	0.215
141	1.368	0.425	171	1.058	0.389	201	1.256	0.365	231	1.128	0.294
142	1.397	0.476	172	1.136	0.399	202	1.200	0.368	232	0.904	0.318
143	1.344	0.469	173	1.180	0.389	203	1.388	0.368	233	0.948	0.352
144	1.375	0.477	174	1.239	0.446	204	1.289	0.386	234	1.131	0.352
145	1.397	0.454	175	1.205	0.412	205	1.278	0.380	235	1.067	0.294
146	1.315	0.462	176	1.260	0.395	206	1.290	0.372	236	1.199	0.365
147	1.388	0.455	177	1.162	0.428	207	1.277	0.360	237	1.277	0.305
148	1.392	0.481	178	1.061	0.366	208	1.167	0.333	238	1.286	0.284
149	1.357	0.485	179	1.132	0.329	209	1.251	0.303	239	1.272	0.271
150	1.274	0.470	180	1.009	0.428	210	1.184	0.340	240	1.254	0.302

ตารางที่ 3-5 ผลการเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานและ MPD (ต่อ)

	MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction		MPD (mm.)	Friction
241	1.314	0.460	256	0.978	0.386	271	1.029	0.204	286	1.397	0.252
242	1.439	0.395	257	1.089	0.324	272	0.955	0.213	287	1.411	0.276
243	1.208	0.437	258	1.098	0.359	273	0.972	0.205	288	1.201	0.339
244	1.374	0.477	259	1.073	0.374	274	0.863	0.183	289	1.097	0.303
245	1.446	0.481	260	1.142	0.394	275	0.930	0.254	290	1.112	0.238
246	1.343	0.485	261	1.152	0.399	276	0.929	0.227	291	1.098	0.192
247	1.552	0.491	262	1.233	0.401	277	0.899	0.193	292	0.950	0.214
248	1.517	0.472	263	1.510	0.394	278	0.853	0.202	293	1.037	0.264
249	1.322	0.496	264	1.534	0.395	279	0.926	0.215	294	0.976	0.245
250	1.319	0.528	265	1.327	0.388	280	0.926	0.195	295	0.923	0.264
251	1.458	0.510	266	1.257	0.417	281	0.979	0.499	296	0.900	0.259
252	1.583	0.517	267	1.067	0.422	282	0.978	0.282	297	1.022	0.264
253	1.665	0.529	268	1.178	0.406	283	0.999	0.278	298	0.968	0.265
254	1.478	0.549	269	1.340	0.450	284	0.999	0.287	299	1.041	0.232
255	1.569	0.537	270	1.167	0.485	285	0.998	0.334	300	0.979	0.243

โดยในงานวิจัยนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลสองชุดคือ ข้อมูลค่าความเสียดทานของผิวทางซึ่งเก็บโดยเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานผิวทางความเร็วสูง Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT T-10) ประเภท Fixed-slip และข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางซึ่งเก็บโดยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement การเก็บข้อมูลทั้งสอง เก็บข้อมูลในช่องจราจรช่องซ้ายสุด เนื่องจากเป็นช่องจราจรที่วิกฤติจากการที่รถบรรทุกวิ่ง ความยาวในการเก็บข้อมูลของเครื่องมือทั้งสองเก็บข้อมูลโดยเฉลี่ยข้อมูลทุกระยะ 100 เมตรรวม 10 ตัวอย่างต่อหนึ่งสายทางเท่ากันทำให้ข้อมูลมีความสอดคล้องกันสามารถเปรียบเทียบกันได้ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสายทางทั้ง 30 สายทางรวมระยะทาง 30 กิโลเมตร ทำให้ได้ข้อมูลทั้งสิ้น 300 ข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางต่อไป

บทที่ 4

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และแนวทางในการใช้ค่า MPD ในการจัดการ

ความเสียหาย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางจากเครื่องมือ ASFT T-10 และข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) จากเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement เพื่อหาแนวทางในการใช้ค่า MPD ในการบริหารค่าความเสียหายระดับโครงข่าย ในงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติข้อมูลค่าความเสียหายและค่า MPD จากนั้นใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) เพื่อทดสอบสมมติฐานของผู้ศึกษา และสุดท้ายคือการนำข้อมูลค่าสถิติการเกิดอุบัติเหตุมาวิเคราะห์ร่วมด้วยเพิ่มเติม นอกจากนี้ในบทนี้ยังกล่าวถึงแนวทางในการนำค่า MPD ไปใช้ในการคัดกรองสายทางเบื้องต้น เพื่อลดระยะทางการสำรวจค่าความเสียหายโดยตรงของสายทาง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยและดัชนีความเสียหายสากล

จากผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันของข้อมูลจำนวน 300 ตัวอย่าง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันมีค่าเท่ากับ 0.636 ตามรูปที่ 4-1 ซึ่งเป็นค่าปานกลางค่อนข้างสูงหรืออาจกล่าวได้ว่าค่า IFI และค่า MPD ในกลุ่มตัวอย่างนี้ มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดในการใช้ค่า MPD เป็นตัวคัดกรองสายทางเบื้องต้น เพื่อลดระยะทางในการสำรวจค่าความเสียหายโดยตรงในการบริหารค่าความเสียหายระดับโครงข่าย

Correlations

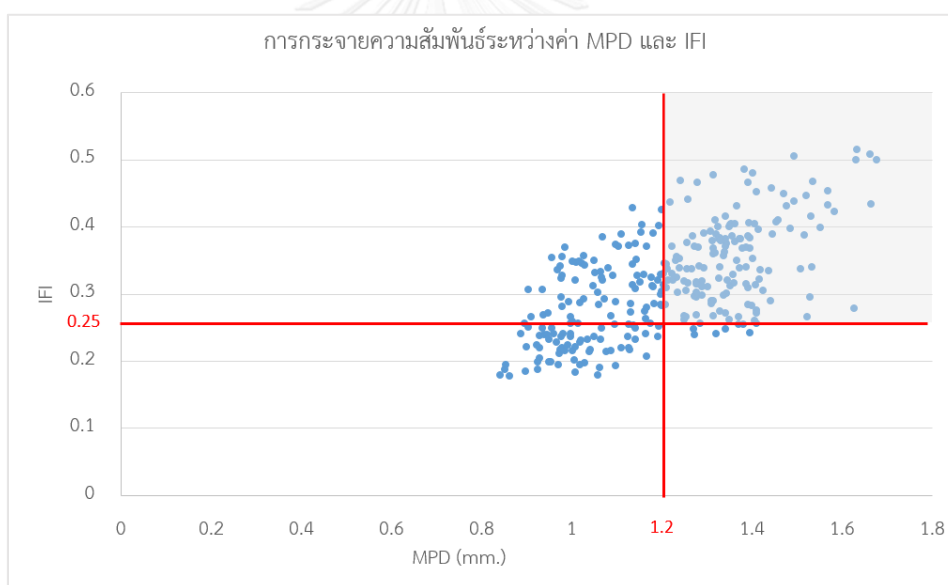
		MPD	IFI
MPD	Pearson Correlation	1	.636**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	300	300
IFI	Pearson Correlation	.636**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	300	300

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

รูปที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

โดยจากรูป 4-2 เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลค่า MPD และ IFI ทั้ง 300 ข้อมูล ตามรูปที่ 4-2 พบข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ ที่ค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร จะพบว่าผิวทางส่วนใหญ่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายมากกว่า 0.25 ซึ่งเป็นค่าระดับปรับปรุงแก้ไขที่แนะนำจากโครงการศึกษาวิจัย และวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทางเพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดและยกระดับด้านความปลอดภัยงานทางของกรมทางหลวง (2560)

เพื่อเป็นการพิสูจน์สมมติฐานข้างต้น ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้การวิเคราะห์ตามหลักสถิติ วิธีค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) โดยวิธีการวิเคราะห์นี้มีสมมติฐาน 3 ข้อดังนี้ กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ไม่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร และค่าของตัวแปรแต่ละหน่วยเป็นอิสระจากกัน ซึ่งจากข้อมูลการกระจายตัวพบว่าข้อมูลที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร มีทั้งหมด 156 ข้อมูล ดังนั้นการวิเคราะห์นี้จึงถือเป็นกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก มีสูตรในการคำนวณดังนี้



รูปที่ 4-2 การกระจายตัวระหว่างค่า MPD และ IFI

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \text{ โดยมี } df = n - 1$$

เมื่อ \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรหรือเกณฑ์ที่ตั้งขึ้น

- S คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
 n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
 df คือ ชั้นแห่งความเป็นอิสระ (Degree of Freedom)

จากนั้นตั้งสมมติฐานทางสถิติ 2 แบบคือ สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis, H_0) และสมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis, H_1) สมมติฐานว่างคือ ผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ผิวทางนั้นมีค่า IFI น้อยกว่าเท่ากับ 0.25 และสมมติฐานแย้งคือ ผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ผิวทางนั้นมีค่า IFI มากกว่า 0.25

- $H_0: \mu \leq \mu_0 = 0.25$
- $H_1: \mu > 0.25$

จากการวิเคราะห์ IFI ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่างแบบหางเดียว (One Tailed T-Test) ในโปรแกรม SPSS กำหนดนัยยะความสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ $df=156$ ตามรูปที่ 4-3 เมื่อเปิดตารางค่า t พบว่า $t=1.660$ ซึ่งน้อยกว่า t ที่ได้จากโปรแกรม SPSS จึงเป็นการปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 หรืออาจกล่าวได้ว่าผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ผิวทางจะมีค่า IFI มากกว่า 0.25 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

One-Sample Statistics				
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IFI	157	.3530	.06591	.00526

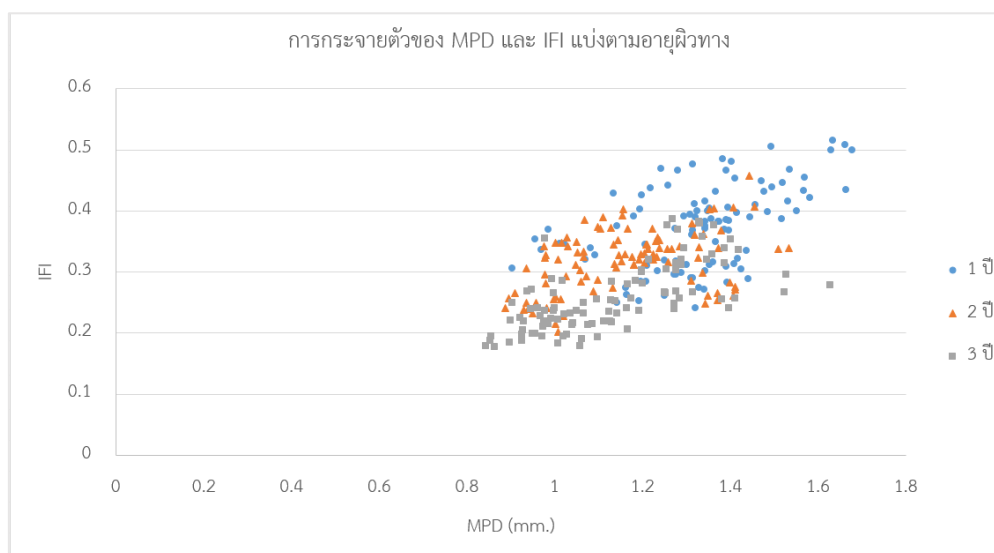
One-Sample Test						
Test Value = 0.25						
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
IFI	19.590	156	.000	.10304	.0927	.1134

รูปที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง
(T-test for One Sample)

การพิจารณาผิวทางตามอายุผิว

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการกระจายตัวระหว่างข้อมูล MPD และ IFI โดยแบ่งตามปัจจัยที่ศึกษาของปัจจัยด้านและอายุผิวพบว่า ปัจจัยด้านอายุผิวทางส่งผลทั้งค่า MPD และ IFI โดยค่า IFI

และอายุผิวทางแปรผันตรงต่อกันตามรูปที่ 4-4 กล่าวคือผิวทางที่มีอายุผิว 1 ปี มีค่าเฉลี่ยของค่า IFI สูงกว่าผิวทางที่มีอายุไม่เกิน 2 ปี และไม่เกิน 3 ปี ตามลำดับโดยมีค่าเฉลี่ยของค่า IFI เท่ากับ 0.37, 0.32, 0.26 และค่าเฉลี่ยของ MPD เท่ากับ 1.33, 1.16, 1.13 ตามลำดับ



รูปที่ 4-4 การกระจายตัวของค่า MPD และ IFI แบ่งตามอายุผิวทาง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า IFI และค่า MPD ตามหลักสถิติ โดยแบ่งผิวทางตามอายุ เป็น 3 กลุ่มคือ ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวน้อยกว่า 1 ปี ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิว 1-2 ปี และผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 2-3 ปี โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอย (Regression) ด้วยการตั้งสมมติฐานทางสถิติ 2 แบบคือ สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis, H_0) และสมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis, H_1)

- H_0 : ค่า IFI และ MPD ไม่มีความสัมพันธ์กัน
- H_1 : ค่า IFI และ MPD มีความสัมพันธ์กัน

จากผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ด้วยโปรแกรม SPSS ตามตารางที่ 4-1 พบว่า ทั้งผิวทางทั้งสามกลุ่มอายุผิวมีค่า Sig.=0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงเป็นการปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 นั่นคือค่า IFI และค่า MPD มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงอย่างมีนัยยะทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% แต่เมื่อพิจารณาค่า R^2 เรียงจากมากไปน้อยพบว่า ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 2 ปี แต่น้อยกว่า 3 ปี มีค่า R^2 มากที่สุดตามด้วยผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวน้อยกว่า 1 ปี และผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 1 ปี แต่น้อยกว่า 2 ปี โดยมีค่าเท่ากับ 0.450 0.253 และ 0.169 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ระหว่างค่า IFI และ MPD แบ่งตามอายุผิวทาง

อายุผิว	ANOVA Sig.	R Square
ผิวทางอายุ < 1 ปี	0.000	0.231
1 - 2 ปี	0.000	0.160
2 - 3 ปี	0.000	0.450

การพิจารณาผิวทางตามปริมาณการจราจรร่วมกับอายุผิวทาง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า IFI และค่า MPD โดยแบ่งผิวทางตามอายุผิวและปริมาณการจราจรแบ่งเป็น 6 กลุ่มคือ ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวน้อยกว่า 1 ปีและมีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 10,000 คัน/วัน ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวน้อยกว่า 1 ปีและมีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 คัน/วัน และผิวทางกลุ่มที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 คัน/วัน ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 1-2 ปี และมีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 10,000 คัน/วัน ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 1-2 ปีและมีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 คัน/วัน ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 2-3 ปีและมีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 10,000 คัน/วัน และผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 2-3 ปีและมีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 คัน/วัน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอย (Regression) ด้วยการตั้งสมมติฐานทางสถิติ 2 แบบคือ สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis, H_0) และสมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis, H_1)

- H_0 : ค่า IFI และ MPD ไม่มีความสัมพันธ์กัน
- H_1 : ค่า IFI และ MPD มีความสัมพันธ์กัน

จากผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ด้วยโปรแกรม SPSS ตามตารางที่ 4-2 ของผิวทางที่แบ่งตามปัจจัยด้านปริมาณการจราจรพบว่า ผิวทางทั้งหกกลุ่ม มีค่า Sig. น้อยกว่า 0.05 จึงเป็นการปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 นั่นคือค่า IFI และค่า MPD ของผิวทางทั้งหกกลุ่มมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงอย่างมีนัยยะทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยค่า R^2 ของผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 2-3 ปีที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 คัน/วัน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.646 และผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวมากกว่า 1-2 ปีที่มีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 10,000 คัน/วัน มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.091

จากการวิเคราะห์ผิวทางจากปัจจัยด้านอายุผิวทางและปริมาณการจราจรทำให้ทราบว่า ปัจจัยทั้งสองชนิดล้วนส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD และค่า IFI โดยเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (ถ้าสำรวจค่า MPD พบว่ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.2 แล้วค่า IFI จะมี

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ระหว่างค่า IFI และ MPD แบ่งตามอายุผิวทางและปริมาณการจราจร

อายุผิว	ปริมาณการจราจร	ANOVA Sig.	R Square
ผิวทางอายุ < 1 ปี	< 10,000 คัน/วัน	0.000	0.410
	> 10,000 คัน/วัน	0.016	0.190
1 - 2 ปี	< 10,000 คัน/วัน	0.011	0.091
	> 10,000 คัน/วัน	0.000	0.410
2 - 3 ปี	< 10,000 คัน/วัน	0.000	0.491
	> 10,000 คัน/วัน	0.000	0.646

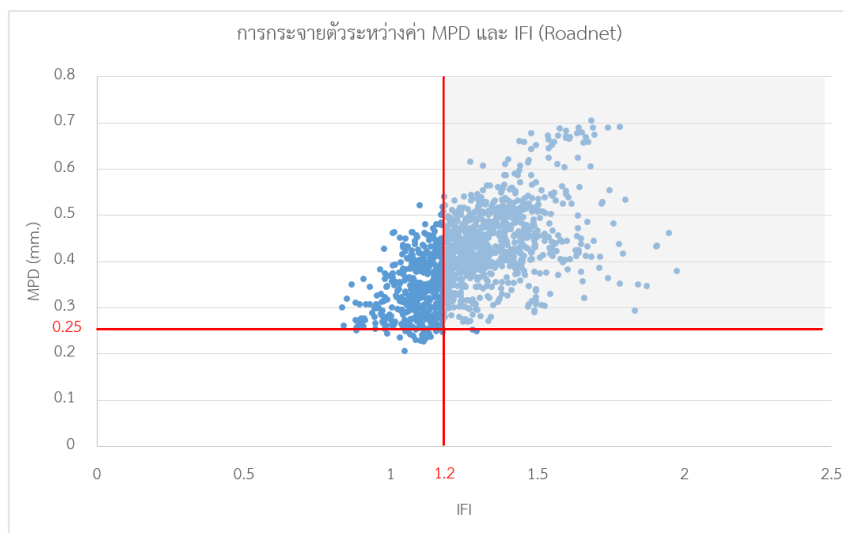
ค่ามากกว่า 0.25) จะใช้คัดกรองผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้กับผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวน้อยกว่า 1 ปีที่มีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 10,000 คัน/วัน ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิว 1-2 ปีที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 คัน/วัน และผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิว 2-3 ปีทุกปริมาณการจราจร เนื่องจากผิวทางกลุ่มนี้เป็นผิวทางที่มีค่า R^2 สูง

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ศึกษาได้ค้นหาข้อมูลค่า MPD และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเพิ่มเติมจากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง (Roadnet) จำนวน 1,266 ข้อมูล รวมระยะทาง 126.6 กิโลเมตร จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายมาปรับแก้เป็นค่า IFI ตามรูปที่ 4-5 โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกคือ เป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (AC 60/70) มีอายุผิวทางไม่เกิน 3 ปี เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติตามผลการวิเคราะห์จากกลุ่มตัวอย่าง โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

สำหรับทุกผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร

สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis, H_0) และสมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis, H_1) สมมติฐานว่างคือ ผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ผิวทางนั้นมีค่า IFI น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.25 และสมมติฐานแย้งคือ ผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ผิวทางนั้นมีค่า IFI มากกว่า 0.25

- $H_0 : \mu \leq \mu_0 = 0.25$
- $H_1 : \mu > 0.25$



รูปที่ 4-5 การกระจายตัวระหว่างค่า MPD และค่า IFI

(จากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง, Roadnet)

จากการวิเคราะห์ค่า IFI ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่างแบบหางเดียว (One Tailed T-Test) ด้วยโปรแกรม SPSS กำหนดนัยยะความสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ $df=768$ ตามรูปที่ 4-6 เมื่อเปิดตารางค่า t พบว่า $t=1.647$ ซึ่งน้อยกว่า t ที่ได้จากโปรแกรม SPSS จึงเป็นการปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 หรืออาจกล่าวได้ว่าผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ผิวทางจะมีค่า IFI มากกว่า 0.25 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IFI	769	.4461	.08214	.00296

One-Sample Test

Test Value = 0.25

	t	df	Sig. (One-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
IFI	66.221	768	.000	.19614	.1903	.2020

รูปที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่างที่ $MPD > 1.2$ มม. (Roadnet)

เพื่อเป็นการเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ การใช้ค่า MPD วิเคราะห์ร่วมกับค่า IFI เพียงค่าเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ ในการบริหารค่าความเสียหายระดับโครงข่าย

มีการแนะนำในการใช้ข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุในการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมด้วย ดังนั้นผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดในการนำข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงมาร่วมวิเคราะห์ด้วย เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความถูกต้องในการวิเคราะห์

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยและสถิติการเกิดอุบัติเหตุ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD และค่า IFI พบว่าค่า MPD 1.2 มิลลิเมตร เป็นค่าที่มีความเป็นไปได้ในการคัดกรองค่า IFI ของผิวทางที่ระดับปรับปรุงแก้ไข 0.25 ที่แนะนำโดยกรมทางหลวง (2560) เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดในการนำข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุมาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อหาค่า MPD ที่เหมาะสมในการคัดกรองผิวทาง ในการรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากฐานข้อมูลอุบัติเหตุของกรมทางหลวง (HAIMS, Highway Accident Information Management System) โดยเลือกอุบัติเหตุในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 94 เส้นทาง ที่มีลักษณะการชนอันมีสมมติฐานจากการสิ้นไกลตามตารางที่ 4-3 จากนั้นนำข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุลดความเอนเอียง (Bias) จากผลกระทบอันเนื่องมาจากปริมาณการจราจร อายุผิวทางและระยะทางตามสมการที่ 4.1

$$Acc/Distance = \sum_0^i \frac{Acc_i}{Distance_i \times ADT_i \times 365 \times Yrs} \quad (4.1)$$

โดย	$Acc/Distance$	คือ	จำนวนอุบัติเหตุ/ระยะทาง * ปริมาณการจราจร
	Acc	คือ	จำนวนอุบัติเหตุ
	$Distance$	คือ	ระยะทาง
	ADT	คือ	ปริมาณการจราจร
	Yrs	คือ	อายุผิวทาง

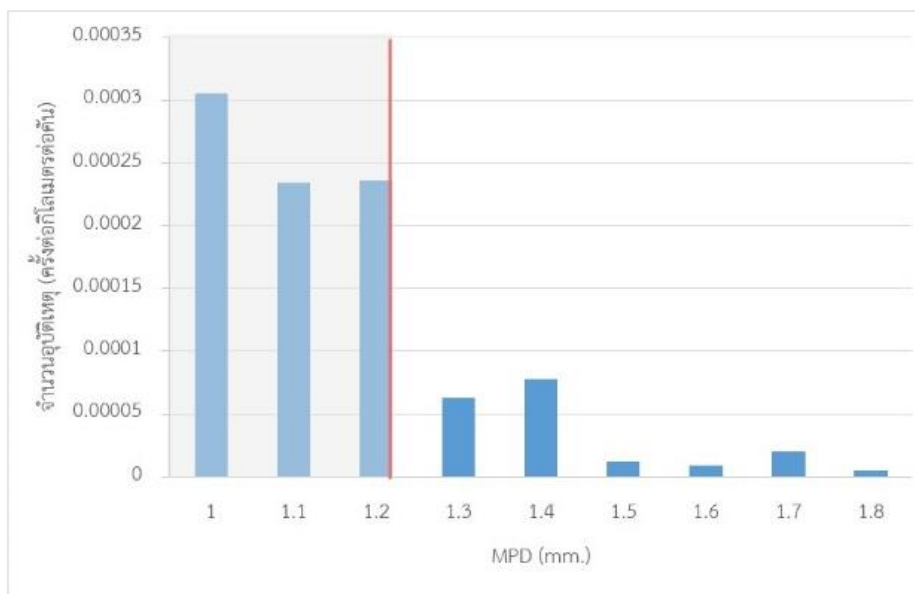
เมื่อนำข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่ลดความเอนเอียง มาสร้างแผนภาพการกระจายตัวร่วมกับข้อมูล MPD ได้ดังรูปที่ 4-7 พบว่ามีข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ ยิ่งผิวทางมีค่า MPD เข้าใกล้ 1.0 มิลลิเมตร ข้อมูลสถิติอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากการสิ้นไกลมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะที่ผิวทางที่มีค่า MPD ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร พบว่ามีข้อมูลสถิติของอุบัติเหตุสูงกว่าผิวทางที่มีค่า MPD สูงกว่า 1.2 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่างคือ ถ้าผิวทางมี MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ค่า IFI จะมีค่ามากกว่า 0.25 (ระดับปรับปรุงแก้ไขของกรมทางหลวง) หรือเป็นผิวทางที่ปลอดภัยจากค่าความเสียหาย

ตารางที่ 4-3 ลักษณะการชนอันมีสมมติฐานจากการสิ้นไถล

ลำดับ	Code	คำอธิบาย
1	2	ชนคนที่ออกมาจากหน้าหรือหลังรถ จอดบัง
2	100	อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับบริเวณทางแยก
3	101	รถทางตรงชนรถทางตรง
4	102	รถเลี้ยวขวาชนรถทางตรง
5	103	รถเลี้ยวซ้ายชนรถทางตรง
6	104	รถทางตรงชนรถเลี้ยวขวา
7	105	รถเลี้ยวขวาชนรถเลี้ยวขวา
8	106	รถทางตรงชนรถเลี้ยวซ้าย
9	107	รถเลี้ยวขวาชนรถเลี้ยวซ้าย
10	108	รถเลี้ยวซ้ายชนรถเลี้ยวซ้าย
11	202	รถเลี้ยวขวาชนรถทางตรงบนถนนสายเดียวกัน
12	203	รถเลี้ยวขวาชนรถเลี้ยวซ้ายบนถนนสายเดียวกัน
13	204	รถเลี้ยวขวาชนรถเลี้ยวขวามบนถนนสายเดียวกัน
14	205	รถเลี้ยวซ้ายชนรถทางตรงบนถนนสายเดียวกัน
15	206	รถเลี้ยวซ้ายชนรถเลี้ยวซ้ายบนถนนสายเดียวกัน
16	207	รถทางตรงชนรถที่กำลังเลี้ยวกลับรถบนถนนสายเดียวกัน
17	300	อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการชนในทิศทางเดียวกัน
18	301	ชนท้าย
19	302	ถูกชนท้ายขณะเลี้ยวซ้าย
20	303	ถูกชนท้ายขณะเลี้ยวขวา
21	304	ถูกชนท้ายขณะเลี้ยวกลับรถ
22	305	รถที่วิ่งคู่กันมาเฉี่ยวชนกัน
23	306	ถูกชนจากรถที่เปลี่ยนช่องทางขวา

ตารางที่ 4-3 ลักษณะการชนอันมีสมมติฐานการชนจากการลื่นไถล (ต่อ)

ลำดับ	Code	คำอธิบาย
24	307	ถูกชนจากรถที่เปลี่ยนช่องทางซ้าย
25	308	รถทางตรงหรือเลี้ยวขวาชนกับรถเลี้ยวขวา (จากทิศทางเดียวกัน)
26	309	รถทางตรงหรือเลี้ยวซ้ายชนกับรถเลี้ยวซ้าย (จากทิศทางเดียวกัน)
27	310	ชนรถที่กำลังเปลี่ยนช่องจราจร
28	401	ชนรถที่กำลังออกจากที่จอด
29	406	ชนรถที่กำลังออกจากทางเชื่อมถนนสายย่อย
30	407	ชนรถที่กำลังลงมาจากทางเท้า
31	500	อื่นๆ ที่เกี่ยวกับการแซง
32	502	แซงขึ้นมาแล้วเสียหลักแลบออก
33	504	เบียดแซงออกมาถูกรถที่วิ่งตามมาชน
34	506	ถูกชนเพราะแซงซ้ายแล้วเบียดเข้าช่องจราจร
35	507	ถูกรถที่กำลังแซงชนท้าย
36	508	แซงขวาชนกับรถเลี้ยวขวา
37	601	ชนรถที่จอดอยู่ (จอดคันเดียว)
38	603	ชนกับประตูรถที่เปิดอยู่
39	706	แลบเสียหลักตกถนนบนทางตรงขณะเลี้ยวซ้ายเข้าทางเชื่อม
40	707	แลบเสียหลักตกถนนบนทางตรงขณะเลี้ยวขวาเข้าทางเชื่อม
41	800	อื่นๆ ที่เกี่ยวกับตกถนนทางบนทางโค้ง
42	801	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งขวา
43	802	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งซ้าย
44	803	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งขวา ชนเสาไฟ ต้นไม้ ฯลฯ
45	804	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งซ้าย ชนเสาไฟ ต้นไม้ ฯลฯ
46	805	แลบเสียหลักตกถนนบนทางโค้งซ้ายขณะเลี้ยวซ้ายเข้าทางเชื่อม



รูปที่ 4-7 การแจกแจงข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุตามค่า MPD

เมื่อพิจารณาค่าความเสียหายของผิวทางที่มีค่า MPD น้อยกว่าเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร จำนวน 76 ตัวอย่างพบว่า มีผิวทางที่มีค่า IFI น้อยกว่าระดับปรับปรุงแก้ไขของกรมทางหลวง (2560) ที่ 0.25 รวมทั้งสิ้น 40 ผิวทาง หรือสามารถกล่าวได้ว่า ถ้าผิวทางที่สำรวจพบว่ามีค่า MPD น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร มีโอกาสที่ผิวทางมีค่าความเสียหายต่ำกว่าระดับปรับปรุงแก้ไขร้อยละ 52 เป็นผิวทางที่ควรได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติมจากเครื่องมือทดสอบค่าความเสียหายโดยตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาแนวทางการแก้ไขและยกระดับความปลอดภัยของผิวทางต่อไป

4.3 แนวทางการประยุกต์ใช้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยในการบริหารความเสียหายระดับโครงข่าย

ค่าความเสียหายเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการประเมินความปลอดภัยของสายทาง ปัจจุบันวิธีการเก็บค่าความเสียหายของผิวทางโดยตรง ยังมีข้อจำกัดด้านเวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล จึงทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลความเสียหายของผิวทางทั้งโครงข่ายในระดับประเทศได้ งานวิจัยนี้เสนอแนวคิดในการประยุกต์ใช้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth; MPD) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากสามารถเก็บพร้อมกับค่าดัชนีความขรุขระสากลจากเครื่องมือ Laser Profilometer ได้

ในการจัดการความเสียหายของผิวทางในระดับโครงข่าย จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่า MPD และ IFI พบว่า ผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร จะมีค่า IFI มากกว่า 0.25 หรือคือระดับปรับปรุงแก้ไขของกรมทางหลวง (2560) และเมื่อพิจารณาร่วมกับข้อมูลสถิติอุบัติเหตุอันเกิดจากเส้นไถลพบว่า ผิวทางที่มีค่า MPD น้อยกว่า 1.2 มิลลิเมตร จะมีสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่สูงอย่างมี

นัยยะสำคัญ ดังนั้นค่า MPD จึงสามารถนำมาใช้ในการคัดกรองสายทางเบื้องต้นก่อนที่นำไปสู่การตรวจสอบค่าความเสียดทานโดยตรง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนความปลอดภัยของถนนในระดับโครงข่าย โดยแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

4.3.1 กรณีที่ 1 ค่า MPD ของผิวทางมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร

กรณีที่ 1 ค่า MPD ของผิวทางมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร ควรตรวจสอบข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุเพิ่มเติม ถ้าพบว่ามีสถิติการเกิดอุบัติเหตุอันมีสาเหตุมาจากการลื่นไถล ควรมีการเร่งวางแผนเพื่อดำเนินการสำรวจค่าความเสียดทานของผิวทางด้วยเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานของผิวทางโดยตรง (เช่น Airport Surface Friction Tester T-10, Dynamic Friction Tester, Locked-wheel Friction Tester เป็นต้น) ร่วมกับการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางในการปรับปรุงหรือยกระดับความปลอดภัยของสายทางต่อไป อาจแบ่งเป็น 3 กรณีย่อยดังนี้

- ค่าความเสียดทานมากกว่าระดับพึงประสงค์ที่ 0.32 (กรมทางหลวง, 2560)

ผิวทางนั้นมีค่าความเสียดทานมากกว่าระดับพึงประสงค์ แสดงว่าผิวทางนั้นมีความปลอดภัยจากค่าความเสียดทานของผิวทาง

- ค่าความเสียดทานต่ำกว่าระดับพึงประสงค์แต่มากกว่าระดับปรับปรุงแก้ไข (อยู่ระหว่าง 0.25-0.32, กรมทางหลวง, 2560)

ผิวทางนั้นมีค่าความเสียดทานต่ำกว่าระดับพึงประสงค์ แต่มากกว่าระดับปรับปรุงแก้ไข แสดงว่าผิวทางมีนั้นมีความเสี่ยงจากค่าความเสียดทาน ควรมีการติดตามและเฝ้าระวังค่าความเสียดทานอย่างใกล้ชิด เพื่อรอการยกระดับความปลอดภัยของผิวทางต่อไป

- ค่าความเสียดทานต่ำกว่าระดับปรับปรุงแก้ไขที่ 0.25 (กรมทางหลวง, 2560)

ผิวทางนั้นมีค่าความเสียดทานต่ำกว่าระดับปรับปรุงแก้ไข แสดงว่าผิวทางนั้นมีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์อันตราย ควรมีการปรับปรุงและยกระดับค่าความเสียดทานของผิวทางอย่างเร่งด่วน โดยระหว่างรอการปรับปรุงค่าความเสียดทานของผิวทางควรมีการอำนวยความสะดวกเบื้องต้น เช่น ติดตั้งป้ายเตือน ติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ติดตั้งราวกันอันตราย เป็นต้น

4.3.2 กรณีที่ 2 ค่า MPD ของผิวทางมีค่ามากกว่า 1.2 มิลลิเมตร

กรณีที่ 2 ค่า MPD ของผิวทางมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร แสดงว่าผิวทางนั้นมีแนวโน้มที่ค่าความเสียดทานของผิวทางอยู่ในระดับที่ปลอดภัย จึงยังไม่ต้องตรวจสอบค่าความเสียดทานโดยตรง แต่ควรมีการติดตามและเฝ้าระวังค่า IFI เป็นประจำตามรอบของการสำรวจค่าสัมประสิทธิ์

ความเสียหายทาง ยกเว้นถ้าสายทางไหนพบสถิติการเกิดอุบัติเหตุ ควรมีการตรวจสอบเพื่อหาสาเหตุและแนวทางการยกระดับความปลอดภัย

จากการสำรวจค่า MPD จากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง (Roadnet) เพิ่มเติมทั่วประเทศรวมระยะทาง 4,643 กิโลเมตร พบว่าค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร สามารถใช้ตัดครองผิวทางได้ 2,476 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 53 และค่า MPD น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร สามารถใช้ตัดครองผิวทางได้ 2,167 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 47 หรือผิวทางกลุ่มนี้เป็นผิวทางที่มีความเสี่ยงอันตรายจากค่าความเสียหายตามต้องการการตรวจสอบอย่างละเอียดซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่ว่าผิวทางกลุ่มที่มีความเสี่ยงอันตรายไม่ควรพบเจอมาก

4.4 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

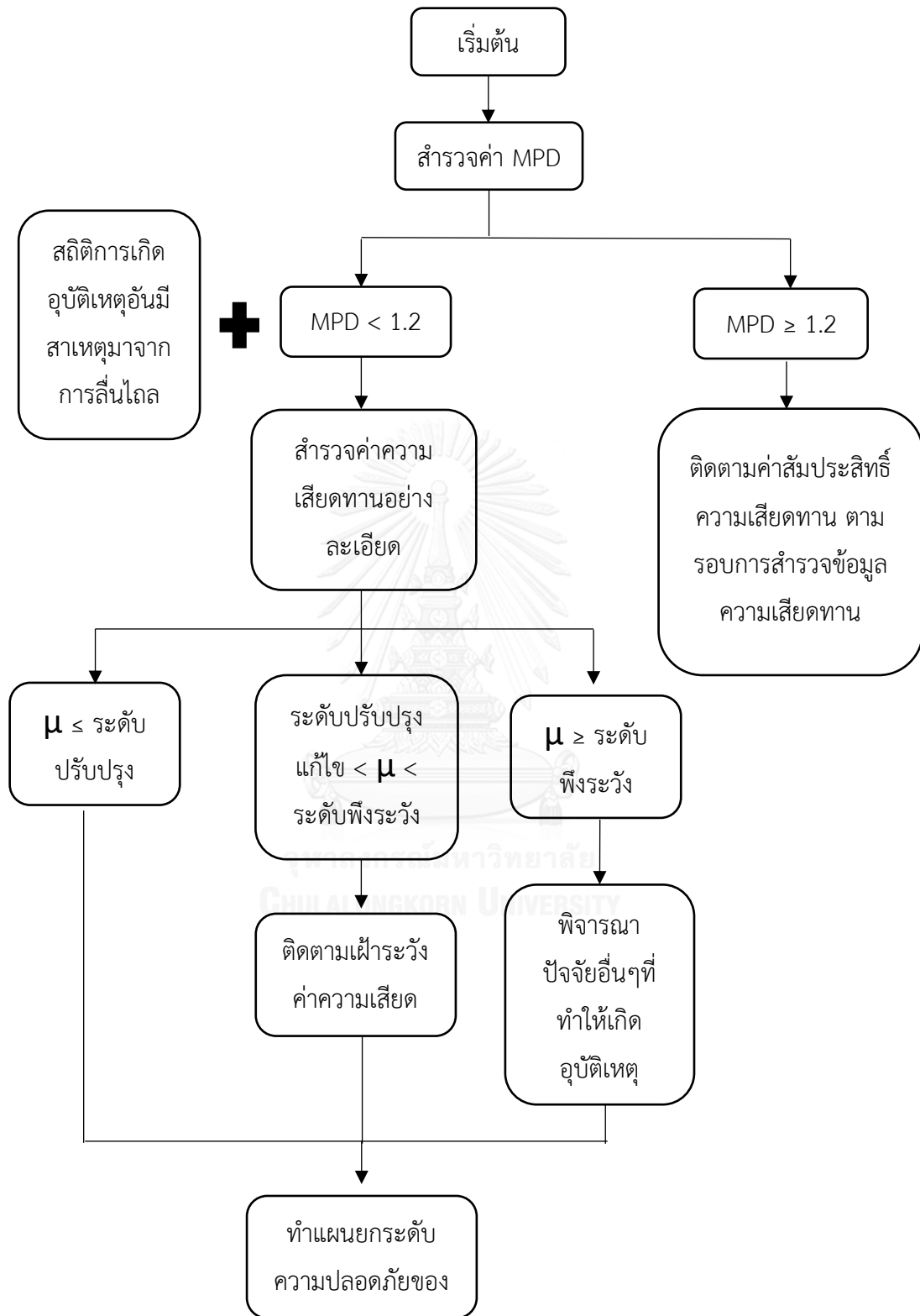
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) ระหว่างค่าดัชนีความเสียหายสากล (IFI) และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.636 หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลค่า MPD และ IFI ทั้ง 300 ข้อมูล ผู้ศึกษาพบว่าที่ค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร พบข้อมูลมีค่า IFI ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 0.25 ซึ่งเป็นค่าความเสียหายระดับปรับปรุงแก้ไขของกรมทางหลวง (2560) เพื่อเป็นการตรวจสอบสมมติฐานผู้ศึกษาจึงทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) ของค่า IFI พบว่า ที่ MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ค่า IFI มากกว่า 0.25 เป็นจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการถดถอย (Regression) ของค่า IFI และค่า MPD โดยแบ่งตามอายุผิวทางและปริมาณการจราจรพบว่า ทั้งอายุผิวทางและปริมาณการจราจรล้วนส่งผลต่อทั้งค่า IFI และ MPD โดยการใช้ค่า MPD 1.2 มิลลิเมตรในการตัดครองผิวทางจะใช้ตัดครองผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้กับผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวน้อยกว่า 1 ปีที่มีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 10,000 คัน/วัน ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิว 1-2 ปีที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 คัน/วัน และผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิว 2-3 ปีทุกปริมาณการจราจร เนื่องจากผิวทางกลุ่มนี้เป็นผิวทางที่มีค่า R^2 สูง

เพื่อเป็นการเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ การใช้ค่า MPD วิเคราะห์ร่วมกับค่า IFI เพียงค่าเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ ผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดในการนำข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุอันมีสมมติฐานการเกิดมาจากการสิ้นไกลมาใช้ร่วมกับข้อมูล MPD โดยพบว่าที่ค่า MPD น้อยกว่า 1.2 มิลลิเมตร มีค่าสถิติการเกิดอุบัติเหตุสูงกว่าผิวทางที่มีค่า MPD สูงกว่า 1.2 มิลลิเมตร เมื่อตรวจสอบค่าความเสียหายของผิวทางกลุ่มนี้เพิ่มเติม พบว่าข้อมูลร้อยละ 52 มีค่า IFI ต่ำกว่า 0.25 ซึ่งสอดคล้องกับค่าระดับปรับปรุงแก้ไขกรมทางหลวง (2560) ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเสนอค่า MPD ที่ 1.2 มิลลิเมตร เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดครองผิวทางเบื้องต้นในการบริหารความเสียหายของผิวทางระดับ

โครงข่าย โดยค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร สามารถใช้คัดกรองผิวทางได้ร้อยละ 53 และค่า MPD น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร สามารถใช้คัดกรองผิวทางได้ร้อยละ 47

การนำค่า MPD ไปใช้ในการคัดกรองผิวทางเบื้องต้น มีแนวทางการใช้ค่า MPD ร่วมกับข้อมูล สถิติการเกิดอุบัติเหตุอันมีสาเหตุจากการลื่นไถล สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีตามรูปที่ 4-8 ดังนี้ กรณี ค่า MPD มากกว่าหรือเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร ให้มีการติดตามค่า MPD ตามรอบการสำรวจข้อมูล IRI และกรณีค่า MPD น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร ควรสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง โดยตรงเพิ่มเติม เพื่อหาแนวทางในการยกระดับความปลอดภัยต่อไป





รูปที่ 4-8 แนวทางในการบริหารความเสียหายระดับโครงข่ายด้วย MPD

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาระยะทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงพบว่า กรมทางหลวงมีระยะทางในความรับผิดชอบรวม 70,077 กิโลเมตร แต่เนื่องจากเครื่องมือในการสำรวจค่าความเสียดทานของผิวทางโดยตรงและงบประมาณที่ใช้ในการสำรวจมีจำกัด ทำให้กรมทางหลวงไม่สามารถติดตามค่าความเสียดทานของผิวทางทุกสายทางในทุกๆปีได้ จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมพบว่า ลักษณะผิวทาง (Pavement Texture) ส่งผลกับค่าความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการใช้ข้อมูลลักษณะผิวทาง คัดกรองสายทางเบื้องต้นเพื่อลดระยะทางในการสำรวจค่าความเสียดทานโดยตรงทั่วประเทศ เนื่องจากข้อมูลลักษณะผิวทางสามารถสำรวจได้ด้วยเครื่องมือ Laser Profilometer ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย เพราะสามารถสำรวจได้พร้อมกับค่าดัชนีความขรุขระสากล

ข้อมูลลักษณะผิวทางที่ส่งผลต่อความเสียดทานของผิวทางแบ่งเป็นสองชนิดคือ ค่าผิวทางแบบละเอียด (Micro-texture) และค่าผิวทางแบบหยาบ (Macro-Texture) ที่แสดงในค่า Mean Profile Depth (MPD) ซึ่งค่าทั้งสองจะส่งผลต่อค่าความเสียดทานของผิวทางตามความเร็วของยานพาหนะ โดยที่ความเร็วต่ำค่าความเสียดทานของผิวทางจะขึ้นกับค่าผิวทางแบบละเอียดเป็นส่วนใหญ่ ในทางกลับกันที่ความเร็วสูงค่าความเสียดทานของผิวทางจะขึ้นกับค่าผิวทางแบบหยาบเป็นส่วนใหญ่ ในปัจจุบันการสำรวจค่าผิวทางแบบละเอียดยังสำรวจได้ยาก สามารถสำรวจได้เฉพาะในห้องทดลอง ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD และค่าความเสียดทานผิวทาง

ในงานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลค่า MPD ด้วยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เก็บข้อมูลได้รวดเร็ว และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานผิวทางด้วยเครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT T-10) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานความเร็วสูง ประเภท Fixed-Slip เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่กรมทางหลวงใช้ โดยงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือทั้ง 2 ชนิดนี้เก็บข้อมูลผิวทางทั้งหมด 300 ข้อมูล รวมระยะทางสำรวจ 30 กิโลเมตร ในสายทางเดียวกันและเวลาเดียวกัน โดยก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ได้แปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานผิวทางเป็นค่าดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index, IFI) เพื่อลดความแปรปรวนจากความเร็วและความแตกต่างของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) ระหว่างค่า MPD และค่า IFI ของผิวทางพบว่ามีความใกล้เคียงกับ 0.636 ซึ่งเป็นค่าปานกลาง หรืออาจกล่าวได้ว่าค่า MPD และค่า IFI จากเครื่องมือ ASFT T-10 มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวระหว่างค่า MPD และค่า IFI พบว่า ข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ค่า IFI ส่วนใหญ่มากกว่า 0.25 ซึ่งเป็นระดับปรับปรุงแก้ไขที่กรมทางหลวงแนะนำ เพื่อเป็นการตรวจสอบสมมติฐานผู้ศึกษาจึงทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) ของค่า IFI ด้วยโปรแกรม SPSS พบว่า ที่ MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ค่า IFI มากกว่า 0.25 เป็นจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการถดถอย (Regression) ของค่า IFI และค่า MPD โดยแบ่งตามอายุผิวทางและปริมาณการจราจรพบว่าการใช้ค่า MPD 1.2 มิลลิเมตร ในการคัดกรองผิวทางจะใช้คัดกรองผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้กับผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิวน้อยกว่า 1 ปีที่มีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 10,000 คัน/วัน ผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิว 1-2 ปีที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 10,000 คัน/วัน และผิวทางกลุ่มที่มีอายุผิว 2-3 ปีทุกปริมาณการจราจร เนื่องจากผิวทางกลุ่มนี้เป็นผิวทางที่มีค่า R^2 สูง

เพื่อเป็นการเพิ่มความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ศึกษาจึงนำข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่คาดว่าจะมีสาเหตุการเกิดการลื่นไถลมาประกอบการวิเคราะห์เพิ่มเติม พบว่า ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร มีข้อมูลสถิติของอุบัติเหตุสูงกว่าผิวทางที่มีค่า MPD สูงกว่า 1.2 มิลลิเมตร และเมื่อตรวจสอบค่า IFI ของผิวทางกลุ่มนี้เพิ่มเติมพบว่า ร้อยละ 52 ของข้อมูลกลุ่มนี้มีค่า IFI น้อยกว่า 0.25 ซึ่งเป็นระดับปรับปรุงแก้ไขของกรมทางหลวง ดังนั้นผลการศึกษาของงานวิจัยนี้สามารถแบ่งเกณฑ์การใช้ค่า MPD ได้ 2 ระดับคือ มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร โดยมีแนวทางในการนำค่า MPD ไปใช้ในการคัดกรองผิวทางเบื้องต้น 2 กรณีดังนี้ กรณีที่ค่า MPD มากกว่า 1.2 มิลลิเมตร ควรมีการติดตามและเฝ้าระวังค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นประจำตามรอบของการสำรวจค่าความเสียดทานของผิวทางโดยตรงและกรณีที่ค่า MPD น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร ควรมีการนำข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุมาพิจารณาร่วมด้วย ถ้าพบว่ามีสถิติการเกิดอุบัติเหตุสูงควรวางแผนการสำรวจค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยเครื่องมือทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยตรงอย่างละเอียดรวมกับการวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญเพื่อหาแนวทางในการยกระดับความปลอดภัยของสายทางต่อไป

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าค่า MPD เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ในการใช้คัดกรองผิวทางเบื้องต้น การสำรวจค่า MPD ด้วยเครื่องมือ High Speed Laser Texture Measurement สามารถเก็บข้อมูลได้รวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายในการสำรวจถูกเนื่องจากสามารถเก็บพร้อม IRI ได้ ทำให้การวางแผนการบริหารความเสียดทานระดับโครงข่ายสามารถทำได้ง่าย รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้นเนื่องจากไม่จำเป็นต้องสำรวจค่าความเสียดทานโดยละเอียดทุกสายทางทั่วประเทศ

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและเมื่อดำเนินงานวิจัยเสร็จสิ้นแล้วพบว่า งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการทำวิจัยดังนี้

- งานวิจัยนี้วิเคราะห์เฉพาะถนนลาดยางประเภทแอสฟัลต์คอนกรีตประเภท AC60/70 มิได้พิจารณาถึงถนนคอนกรีตและถนนลาดยางประเภทอื่นๆ อันได้แก่ สเลอรี่ (Slurry) พาราสเลอรี่ (Para Slurry) และโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Polymer Modified Asphalt Cement, PMA)
- ข้อมูลถนนลาดยางประเภทแอสฟัลต์คอนกรีตประเภท AC60/70 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นถนนที่ก่อสร้างด้วยมวลรวมประเภทหินปูน มิได้คำนึงถึงมวลรวมประเภทหินบะซอลต์ซึ่งพบในการก่อสร้างถนนแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- ข้อมูลการจราจรที่ใช้ในงานวิจัยนี้พิจารณาการจราจรรายวันเฉลี่ยตลอดปี (AADT) โดยรวมทุกชนิดยานพาหนะ มิได้พิจารณาผลของความสัมพันธ์เนื่องจากของปริมาณรถบรรทุก
- ในการวิเคราะห์สถิติการเกิดอุบัติเหตุร่วมกับค่า MPD พบว่าข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ค่า MPD มากกว่า 1.0 มิลลิเมตรดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงไม่ได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของสถิติการเกิดอุบัติเหตุและค่า MPD ที่ต่ำกว่า 1.0 มิลลิเมตร

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้เป็นการเสนอแนะในการใช้ค่า MPD เป็นตัวคัดกรองเบื้องต้นเท่านั้น มิได้ใช้ค่า MPD แทนค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเสียหายโดยตรง การนำไปใช้ควรพิจารณาอย่างเหมาะสม สำหรับในอนาคตเมื่อมีผลการเก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายมากขึ้นและครอบคลุมผิวนถนนอื่นๆ ควรนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงและพัฒนาผลการวิเคราะห์ เพื่อให้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้คัดกรองผิวทาง

รายการอ้างอิง

- ASTM. (1845). Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth *E1845*: ASTM International.
- ASTM. (1960). Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface *E1960*: ASTM International.
- ASTM. (2006a). Measuring the Skid Resistance of Pavements and Other Trafficked Surfaces Using a Continuous Reading, Fixed-Slip Technique *E2340-06*: ASTM International.
- ASTM. (2006b). Standard Specification for Special Purpose, Smooth-Tread Tire, Operated on Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment *E1551-06*: ASTM International.
- Ergun, M., Iyınam, S., & Iyınam, A. F. (2005). Prediction of Road Surface Friction Coefficient Using Only Macro-and Microtexture Measurements. *Journal of Transportation Engineering*, 131(4), 311-319.
- Fuentes, L. G. (2009). *Investigation of the Factors Influencing Skid Resistance and the International Friction Index*. University of South Florida.
- Hall, J., Smith, K. L., Titus-Glover, L., Wambold, J. C., Yager, T. J., & Rado, Z. (2009). Guide for Pavement Friction. *NCHRP Project*, 1-43.
- Henry, J. J. (1983). Comparison of the Friction Performance of a Passenger Car Tire and the ASTM Standard Test Tires *Frictional Interaction of Tire and Pavement*: ASTM International.
- Henry, J. J. (2000). *Evaluation of Pavement Friction Characteristics* (Vol. 291): Transportation Research Board.
- Horne, W. B., & Buhlmann, F. (1983). A Method for Rating the Skid Resistance and Micro/Macrotexture Characteristics of Wet Pavements *Frictional Interaction of Tire and Pavement*: ASTM International.
- Kuttesch, J. S. (2004). *Quantifying the Relationship Between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data*. Virginia Polytechnic Institute and State University.

- O'Brien, J. P., & Haddock, J. E. (2004). Frictional Resistance of Aggregates for Hot-Mix Asphalt Pavements.
- Oh, S. M., Madanat, S. M., Ragland, D. R., & Chan, C.-Y. (2010). Evaluation of Traffic and Environment Effects on Skid Resistance in California. *Safe Transportation Research & Education Center*.
- PIARC, W. R. A. (1987). *Report of the committee on surface characteristics*. Paper presented at the Proceeding of XVIII World Road Congress.
- Saito, K., Kameyama, S., Tamai, A., & Nisiyama, S. (2001). Development of Testers for Measuring Skid Resistance and Texture of Paved Surfaces, and Their Application for Determination of the International Friction Index (IFI). *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 4(1), 397-411.
- Skerritt, W. H. (1993). Aggregate Type and Traffic Volume as Controlling Factors in Bituminous Pavement Friction. *Transportation Research Record*(1418).
- Wallman, C.-G., & Åström, H. (2001). Friction Measurement Methods and the Correlation between Road Friction and Traffic Safety: A Literature Review.
- Wambold, J. C., & Henry, J. (1994). International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurement. *Nordic Road and Transport Research*.
- World Health Organization. (2015). *Global Status Report on Road Safety*. Retrieved from <http://www.who.int/>
- กรมทางหลวง. (2515a). ทล.-ท. 202/2515 วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ *Coarse Aggregate* โดยใช้เครื่อง *Los Angeles Abrasion*. กองวิเคราะห์และวิจัย.
- กรมทางหลวง. (2515b). ทล.-ท. 213/2531 วิธีการทดลองหาความคงทน (*Soundness*) ของมวลรวม. กองวิเคราะห์และวิจัย.
- กรมทางหลวง. (2531). ทล.-ก. 401/2531 *Specification for Asphalt Cement*. กองวิเคราะห์และวิจัย.
- กรมทางหลวง. (2532). ทล.-ม. 408/2532 แอสฟัลท์คอนกรีต (*Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt*). กองวิเคราะห์และวิจัย.
- กรมทางหลวง. (2558). ปริมาณจราจรโดยเฉลี่ยต่อวันตลอดปี บนทางหลวงในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง Retrieved from <https://data.go.th/>

- กรมทางหลวง. (2559). ข้อมูลแหล่งที่มาของหินที่ใช้ในงานก่อสร้างสายทางในประเทศไทย. สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา.
- กรมทางหลวง. (2560). โครงการศึกษา วิจัย และวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทางเพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดและยกระดับด้านความปลอดภัยงานของกรมทางหลวง.
- กรมทางหลวงชนบท. (2011). โครงการศึกษาค่าความเสียหายของผิวทางเพื่อปรับปรุงสภาพกายภาพของทางหลวงชนบท Retrieved from <http://trafficsafety.drr.go.th/>
- นันทวัฒน์ ลือสิงหนาท, & วิศณุ ทรัพย์สมพล. (2554). การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียหายและค่าความลึกโพรงไพล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อสนับสนุนการวางแผนบำรุงทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2558). ระยะทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท. สำนักปลัดกระทรวงคมนาคม.
- สมัย โชติสกุล, สันติภาพ ศิริยงค์, พรหมชาติ พรหมชาติ, วิศณุ ทรัพย์สมพล, สืบสกุล พิภพมงคล, นันทวัฒน์ ลือสิงหนาท, & วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร. (2557). โครงการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบการสำรวจและประเมินค่าความเสียหายของผิวทางเพื่อความปลอดภัย. Paper presented at the การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2557). สถิติอุบัติเหตุการจราจรทางบก จำแนกตามสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุจากบุคคล สาเหตุจากสิ่งแวดล้อม และสาเหตุจากอุปกรณ์ที่ใช้ขับขี่ ทั่วราชอาณาจักร.

ภาคผนวก

ตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index, IFI)

ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้คำนวณ

หน่วยงาน	หมายเลข ทางหลวง	ชื่อตอนควบคุม	กม.เริ่มต้น	กม.สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	กม.ย่อย	ความเร็ว (กม./ชม.)	ค่าความเสียด ทาน	MPD (mm.)
นครปฐม	3232	หนองพงนก-ไฟเจดีย์	0+000	1+000	1.00	0+900	47.3	0.360	0.939

จากสมการที่ (2.5)

$$S_p = 14.2 + 89.7MPD$$

$$S_p = 14.2 + 89.7(0.939)$$

$$S_p = 98.4$$

จากสมการที่ (2.6)

$$FR_{60} = FRS \times \exp[(S-60)/S_p]$$

$$FR_{60} = 0.360 \times \exp[(98.4(0.145) - 60]/98.4$$

$$FR_{60} = 0.21$$

หมายเหตุ : ค่าความเร็วสลลปรับแก้ตาม Slip ratio ของเครื่องมือในงานวิจัยนี้ เครื่องมือ ASFT T-10 ใช้ Slip-ratio ที่ 14.5 %

จากสมการที่ (2.7)

$$F_{60} = A + B \times FR_{60}$$

$$F_{60} = 0.082 + 0.91(0.21)$$

$$F_{60} = 0.27$$

หมายเหตุ : ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ของเครื่องมือ (A,B) ของเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทานประเภท Fixed-Slip เท่ากับ 0.082 และ 0.91 ตามลำดับ (Wambold, J. C., & Henry, J., 1994)

ค่า IFI หรือค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. (F60) ในตัวอย่างนี้เท่ากับ 0.27

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณภัทร เจนบวรกิจ เกิดวันที่ 17 พฤศจิกายน 2536 สำเร็จการศึกษาปริญญา
วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี
การศึกษา 2558 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาบริหารการ
ก่อสร้าง ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา
2558

