

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานและความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อ  
สนับสนุนการวางแผนงานบำรุงทาง



นายนั้นวัฒน์ ลือสิงหนาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN PAVEMENT FRICTION AND  
MEAN PROFILE DEPTH TO SUPPORT PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING

Mr. Nuntawat Lersinghanart



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียหายและ  
ความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อสนับสนุนการ

วางแผนงานบำรุงทาง

โดย

นายันทวัฒน์ ลือสิงหนาท

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษระ เพียรสุภาพ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ปณิธิศรี เอื้อสุตกิจ)

นันทวัฒน์ ลือสิงหนาท : การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานและความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อสนับสนุนการวางแผนงานบำรุงทาง. (ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN PAVEMENT FRICTION AND MEAN PROFILE DEPTH TO SUPPORT PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล, 86 หน้า.

ความเสียดทานของผิวทางเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดอุบัติเหตุขณะถนนเปียก แต่ในปัจจุบันวิธีการวัดค่าความเสียดทานของผิวทางโดยตรงต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง ทำให้การวางแผนงบประมาณซ่อมบำรุงถนนในประเทศไทย ยังมีได้ค้ำึงถึงปัจจัยดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานผิวทาง ( $\mu$ ) กับค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ค่า MPD ในการประเมินและคัดกรองผิวทางที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่าระดับพึงระวังในระดับโครงข่าย เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถเก็บข้อมูลได้รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าการวัดค่าความเสียดทานของผิวทางโดยตรง จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) ของสายทางตัวอย่าง ทั้งจากข้อมูลภาคสนามจำนวน 113 ตัวอย่าง และข้อมูลประวัติสายทางจำนวน 722 ตัวอย่าง พบว่าผิวทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางมากกว่าระดับพึงระวังที่ 0.35 ดังนั้นค่า MPD จึงสามารถใช้เพื่อคัดกรองสายทางที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากกว่าระดับพึงระวัง เพื่อลดจำนวนข้อมูลที่ต้องจัดเก็บโดยตรง นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังเสนอแนะวิธีการจัดการยกระดับความปลอดภัยของถนน จากการติดตามเฝ้าระวังค่าความเสียดทานทั้งในระดับพึงระวังและระดับปรับปรุงแก้ไข โดยใช้ข้อมูลค่า MPD ร่วมกับประวัติการเกิดอุบัติเหตุที่อยู่บนสมมติฐานว่ามีผลมาจากความเสียดทานของผิวทาง ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดงบประมาณและระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อวางแผนและยกระดับค่าความเสียดทานของผิวทางในระดับโครงข่ายได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

# # 5470245721 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: MEAN PROFILE DEPTH / NETWORK LEVEL / INTERVENTION LEVEL /  
INVESTIGATORY LEVEL

NUNTAWAT LERSINGHANART: ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN PAVEMENT FRICTION AND MEAN PROFILE DEPTH TO SUPPORT PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING. ADVISOR: ASSOC. PROF. WISUNU SUBSOMPON, Ph.D., 86 pp.

Pavement friction is an important factor that can help reduce road accident, especially on wet pavement. However, current methods of measuring pavement friction directly take long time and high cost. As a result, pavement maintenance planning in Thailand has usually ignored such factor. The objective of this research is to find the relationship between coefficient of pavement friction ( $\mu$ ) and Mean Profile Depth (MPD) in order to apply MPD as a surrogate factor to evaluate pavement friction at a network level. Since MPD can be measured faster and more cost-effective than pavement friction direct measurement, it can be used to screen pavements that need further detailed investigation. Based on correlation analysis between MPD and coefficient of pavement friction ( $\mu$ ) of 113 samples from field data and 722 samples from historical maintenance database, it is found that if MPDs are higher than 1.5 millimetres, all coefficients of pavement friction ( $\mu$ ) would be higher than the required investigatory level at 0.35. Therefore, MPD can be used as a threshold to reduce needs of direct friction measurement of all pavements, especially at the investigatory level. Furthermore, this research has proposed road safety enhancement framework based on pavement friction monitoring. The thresholds for taking action at either investigatory level or intervention level can be considered based on MPDs and accident data which are resulted from pavement friction. This proposed framework can save cost and time of data collection for pavement friction management at a network level.

Department: Civil Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2013

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อรองศาสตราจารย์ ดร. วิศณุ ทรัพย์สมพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีต่อผู้วิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และกรุณาสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณต่อเจ้าหน้าที่ต่างของกรมทางหลวงที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักอำนวยความสะดวก กรมทางหลวงชนบท ที่ให้การสนับสนุนในการใช้เครื่องมือสำรวจ และให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมารดา และทุกคนในครอบครัว ที่สนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนถึงครูบาอาจารย์ทุกท่านในอดีตที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน ชี้แนะ จนทำให้ผู้วิจัยสามารถสำเร็จการศึกษาได้ในปัจจุบัน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย .....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	8
2.1 ความหมายและความสำคัญของความเสียดทานของผิวทาง .....	8
2.1.1 ค่าความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction).....	8
2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอุบัติเหตุและความเสียดทานผิวทาง .....	10
2.2 เครื่องมือทดสอบความเสียดทานผิวทาง .....	13
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียดทานและค่า Mean Profile Depth (MPD).....	18
2.4 หลักการของค่า Mean Profile Depth (MPD).....	18
2.4.1 ค่า Mean Profile Depth (MPD).....	18
2.4.2 เทคโนโลยีการสำรวจและประเมินค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ.....	20
2.5 การวางแผนและการจัดการความเสียดทานผิวทางในต่างประเทศ .....	22
2.5.1 วิธีการจัดตั้งโดยการใช้ข้อมูลประวัติความเสียดทานผิวทางเท่านั้น.....	23
2.5.2 วิธีการจัดตั้งโดยการใช้ข้อมูลประวัติความเสียดทานผิวทางและข้อมูลอุบัติเหตุ.....	23
2.5.3 วิธีการจัดตั้งโดยการใช้แนวโน้มการกระจายตัวของค่าความเสียดทานผิวทางและอัตรา ชนที่คาดว่าจะได้รับผลจากความเสียดทาน .....	23
2.6 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	28

บทที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล .....	29
3.1 เครื่องมือเก็บข้อมูล.....	29
3.1.1 High-speed Laser Texture Measurement .....	29
3.1.2 Airport Surface Friction Tester T -10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip.....	31
3.1.3 Dynamic Friction Tester (DFT) .....	35
3.2 การคัดเลือกสายทางเพื่อเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานจากเครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction Tester (DFT) และค่าความลึกโพรไฟล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement .....	38
3.2.1 การคัดเลือกสายทางและการกำหนดตัวอย่างในการทดสอบ .....	39
3.2.2 สายทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	40
3.3 การรวบรวมข้อมูลความเสียดทานจากเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip กับข้อมูล MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement .....	41
3.4 ผลการเก็บข้อมูล .....	44
3.4.1 การเก็บข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $\mu$ ) ด้วยเครื่องมือ DFT และค่าความลึกโพรไฟล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement .....	44
3.4.2 ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $\mu$ ) ด้วยเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip และค่าความลึกโพรไฟล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement.....	46
3.5 สรุปผลการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	49
บทที่ 4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์.....	50
4.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเสียดทานผิวทางสำรวจโดยเครื่องมือ DFT และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยสำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement.....	50
4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าความเสียดทานผิวทางสำรวจโดยเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement .....	54
4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	56
บทที่ 5 แนวทางการบริหารจัดการความเสียดทานผิวทางโครงข่ายจาก ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย... 58	
5.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลเพื่อบริหารจัดการความเสียดทานผิวทางโครงข่าย .....	58
5.1.1 ข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD).....	59



5.1.2 ข้อมูลอุบัติเหตุอันมีสาเหตุมาจากความเสียหายฉิวทาง.....	60
5.1.3 ข้อมูลค่าความเสียหายของฉิวทางโดยละเอียด .....	63
5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองความเสียหายของฉิวทาง .....	64
5.3 สรุปแนวทางการบริหารจัดการความเสียหายฉิวทางโครงข่ายจากค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย68	
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	71
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	73
รายการอ้างอิง.....	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	86

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การจำแนกลักษณะของพื้นผิวทางตามความยาวคลื่น.....	9
ตารางที่ 2.2 สรุปรูปเครื่องมือและวิธีการทดสอบลักษณะของพื้นผิวทางแบบใช้ความเร็วสูง .....	11
ตารางที่ 2.3 สรุปรูปเครื่องมือและวิธีการทดสอบลักษณะของพื้นผิวทางแบบควบคุมการจราจรหรือแบบจุด .....	12
ตารางที่ 2.4 สรุปรูปเครื่องมือและวิธีการทดสอบค่าความเสียหายพื้นผิวทางแบบใช้ความเร็วสูงในการทดสอบ .....	14
ตารางที่ 2.5 สรุปรูปเครื่องมือและวิธีการทดสอบลักษณะของพื้นผิวทางแบบควบคุมการจราจรหรือแบบจุด .....	16
ตารางที่ 2.5 สรุปรูปค่าความเสียหายของผิวทางที่แนะนำ ในการศึกษาทางวิจัยของประเทศต่างๆ ...	25
ตารางที่ 2.6 สรุปรูปค่าความเสียหายของประเทศอื่นๆ .....	27
ตารางที่ 3.1 สรุปรูปค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดโดยมาตรฐาน ASTM E 1845.....	30
ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ Fixed Slip .....	33
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายและค่า MPD.....	45
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณโดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average).....	48
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน.....	51
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (t-test for one sample).....	52
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพึงระวังในผิวทางตรงของประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศออสเตรเลีย และประเทศนิวซีแลนด์.....	54
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (t-test for one sample).....	55
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (t-test for one sample).....	56
ตารางที่ 5.1 สาเหตุการชนต่างๆ .....	60
ตารางที่ 5.2 ลักษณะการชนต่างๆ.....	61
ตารางที่ 5.3 สรุปรูปค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางวิกฤตที่ผู้ขับขี่สามารถขับได้อย่างปลอดภัยในลักษณะทางโค้ง ทางตรง ทางแยก และทางลาดชัน.....	66
ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างผลการคัดกรองค่า MPD.....	69

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงาน .....7

รูปที่ 2.1 แรงเสียดทานประกอบด้วย แรง Adhesion และแรง Hysteresis.....9

รูปที่ 2.2 อัตราการเกิดอุบัติเหตุรถชนที่คาดว่าจะมีสาเหตุมาจากความเสียดทาน ..... 12

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD และค่าความเสียดทาน ..... 19

รูปที่ 2.4 วิธีการคำนวณค่า MPD ..... 20

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการติดตั้ง High-speed Laser ที่ด้านหน้าของรถ..... 21

รูปที่ 2.6 แสดงประสิทธิภาพของเลเซอร์ที่ติดกับรถสำรวจผิวทาง ..... 21

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างวิธีการวางแผนโดยการใช้ข้อมูลประวัติความเสียดทานผิวทางและข้อมูลอุบัติเหตุ 24

รูปที่ 3.1 การบันทึกข้อมูลค่าโพโรไฟล์ของผิวทาง ..... 30

รูปที่ 3.2 ภาพการใช้เครื่องมือสำรวจ High-speed Laser Texture Measurement..... 31

รูปที่ 3.3 เครื่องมือ Fixed Slip: Grip Tester ..... 32

รูปที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางแบบแปรผันความเร็วชนิด Dynamic Friction Tester (DFT)..... 36

รูปที่ 3.5 การใช้งานเครื่องมือทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางแบบแปรผันความเร็วชนิด Dynamic Friction Tester (DFT)..... 38

รูปที่ 3.6 แสดงแนวการวิ่งของเครื่องมือทดสอบ High-speed Laser Texture Measurement ให้ผ่านตำแหน่งเดียวกับจุดทดสอบเครื่องมือ DFT ..... 40

รูปที่ 3.7 พื้นที่คัดเลือกเป็นแปลงทดสอบ ..... 41

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างฐานข้อมูลความเสียดทานผิวทาง ..... 42

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างฐานข้อมูลค่าความลึกโพโรไฟล์เฉลี่ย ..... 43

รูปที่ 3.10 ผลการสำรวจข้อมูลประวัติความเสียดทานและ MPD ..... 47

รูปที่ 4.1 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าความเสียดทานผิว และค่า MPD ..... 53

รูปที่ 4.2 ผลทดสอบจากเครื่องมือ Fixed Slip และ High-speed Laser ..... 55

รูปที่ 5.1 ตัวอย่างเวปไซต์ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง ..... 59

รูปที่ 5.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Distribution)..... 67

รูปที่ 5.3 ภาพรวมของแนวทางการบริหารจัดการความเสียดทาน ..... 70

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุบัติเหตุทางถนน เป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เนื่องจากในทุกๆ ปีมีผู้เสียชีวิตและได้รับบาดเจ็บจากอุบัติเหตุเป็นจำนวนมาก รวมถึงมูลค่าความเสียหายของทรัพย์สินที่เกิดจากอุบัติเหตุทางถนนซึ่งมีมูลค่ามหาศาล อีกทั้งยังส่งผลโดยตรงต่อปัญหาทางสาธารณสุขและเศรษฐศาสตร์ในภาพรวมของประเทศ โดยความคิดของคนทั่วไป อุบัติเหตุทางถนนส่วนมากเกิดจากความผิดพลาดของผู้ขับขี่ที่ไม่สามารถควบคุมรถได้อย่างปลอดภัย แต่ยุทธศาสตร์ของการจัดการถนนเป็นไปเพื่อเสริมสร้างและยกระดับความปลอดภัยแก่ผู้ใช้รถ รวมถึงเพื่อลดความรุนแรงของอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบและสำรวจทุกองค์ประกอบของอุบัติเหตุ โดยหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญคือ ค่าความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) อันเกิดจากแรงต้านทานบริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อและผิวทาง หรือแรงต้านไม่ให้ล้อลื่นไถลไปบนผิวทาง จากการศึกษาของศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (2550) พบว่าสาเหตุส่วนใหญ่ที่เป็นปัจจัยต่อการเกิดอุบัติเหตุประเภทรถชนคันเดียว (Single Vehicle Crash) ในลักษณะการชนแบบออกนอกเส้นทาง (Run-off Road Crash) มีปัจจัยมาจากการขับรถเร็วร่วมกับสภาพของถนนที่มีค่าความเสียดทานของผิวทางต่ำ ค่าความเสียดทานของผิวทางจึงนับเป็นปัจจัยหลักในการประเมินสภาพความปลอดภัยของถนน นอกจากนี้ผิวทางที่มีค่าความเสียดทานของผิวทางสูงช่วยทำให้ระยะเวลาเบรกของรถสั้นลง ซึ่งเป็นผลให้รถสามารถชะลอความเร็วได้ดีขึ้นและช่วยลดอุบัติเหตุหรือทำให้อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อยลงได้

สำหรับเครื่องมือที่ใช้สำหรับหาค่าความเสียดทานของผิวทางในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายประเภท ซึ่ง AASHTO และ ASTM ได้พัฒนามาตรฐานตามคุณลักษณะกลุ่มของผิวทางและมาตรฐานการวัดโดยสามารถจำแนกตามประเภทตามวิธีการวัดได้ดังนี้

- 1) วิธีวัดค่าความเสียดทานของผิวทางที่ความเร็วสูง (High Speed Friction Measuring Devices) โดยเครื่องมือประเภทนี้ส่วนมากเป็นเครื่องมือที่ถูกติดตั้งบนรถต่อพ่วงโดยจะผูกติดกับด้านท้ายรถยนต์ลาก ดำเนินการสำรวจได้ที่ความเร็วต่างๆ แต่ไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และทดสอบขณะพื้นผิวเปียกโดยรดน้ำลงบนผิวถนนที่ทดสอบ ในการทดสอบอย่างลึกลับจะถูกลดแรงต้านจากการลาก ซึ่งทำให้ได้ค่าความเสียดทานของผิวทางโดยตรง เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานของผิวทางความเร็วสูง เช่น เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานด้านข้าง (Side-force Testers), เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานการไถลแบบคงที่ (Fixed Slip Testers) เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานจากการล็อคล้อทดสอบ (Locked-wheel Testers) เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานการไถลแบบไม่คงที่ (Variable-slip Testers) โดยเครื่องมือที่กล่าวมามีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

- 2) วิธีวัดค่าความเสียดทานของผิวทางที่ความเร็วต่ำหรือวัดเป็นจุดทดสอบ (Low Speed or Spot Friction Measuring Devices) ประกอบไปด้วย วิธีวัดความเสียดทานจากระยะทางการหยุด (Stopping Distance Measurement) วิธีวัดความเสียดทานจากอัตราการหน่วง (Deceleration Rate Measurement) วิธีวัดความเสียดทานแบบพกพา เช่น British Pendulum Tester (BPT) Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งเป็นเครื่องที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิธีเหล่านี้สามารถวัดค่าความเสียดทานของผิวทางได้โดยตรง สามารถระบุจุดที่วัด มีราคาไม่แพง แต่ไม่สามารถนำมาใช้กับการจัดการในระดับโครงข่ายได้ เนื่องจากเก็บข้อมูลได้ช้า ไม่ทันต่อการนำไปใช้บริหารจัดการ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของ Fülöp et al. (2000), Ivey et al. (1973), NCHRP (2005) ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานของผิวทางกับลักษณะของพื้นผิว (Surface Texture) โดยลักษณะของผิวทางเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียดทานของผิวทาง ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะของผิวทางเป็น 3 ระดับ ดังนี้

- 1) Micro-texture แสดงถึงความขรุขระของพื้นผิวที่ระดับเล็กที่สุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติภายในวัสดุเนื้ออย่างมะตอยหรือคอนกรีตผิวทาง มีผลต่อค่าความเสียดทานในขณะที่รถมีความเร็วต่ำ
- 2) Macro-texture แสดงถึงความขรุขระของผิวทางกำหนดจากคุณสมบัติวัสดุผสม (ขนาดรูปร่าง และขนาดคละของมวลรวม และวิธีการปูสนาม) มีผลต่อค่าความเสียดทานในขณะที่รถมีความเร็วสูง
- 3) Mega-texture พื้นผิวชนิดนี้แสดงถึงความขรุขระของผิวทางที่มาจากคุณสมบัติพื้นผิวสัมผัสของยางและผิวถนน

จากที่กล่าวมาจึงมีแนวคิดการหาค่าความเสียดทานของผิวทางโดยอ้อม หรือการใช้ดัชนีชี้วัดอื่นมาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าความเสียดทาน ซึ่งได้จากการวัดลักษณะของพื้นผิวในระดับ Macro-texture เพื่อสะท้อนถึงค่าความเสียดทานผิวทาง ณ ความเร็วสูง โดยวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้ในต่างประเทศมากก็คือการใช้เครื่องมือวัดลักษณะของพื้นผิวทางแบบใช้ความเร็วในการทดสอบ High-speed Laser Texture Measurement โดยวัดค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้เครื่องวัดระยะทางแนวราบด้วยเลเซอร์ความเร็วสูง ทำให้สามารถสำรวจลักษณะของผิวทางในระดับประเมินผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) ในช่วง 0.5 – 50 มิลลิเมตร และตัวเลเซอร์ติดตั้งที่ตัวรถสำรวจได้หลากหลายประเภท เช่น รถตู้ รถกระบะ แต่จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าในปัจจุบันยังไม่มี การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลความเสียดทานของผิวทางระดับโครงข่ายในประเทศไทยอย่างเป็นทางการ เนื่องจากยังไม่มี การศึกษาวิธีการสำรวจและเก็บข้อมูลความเสียดทานที่เหมาะสม อีกทั้งมีปัญหาของเครื่องมือแต่ละชนิด กล่าวคือ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องมืออย่างง่าย ราคาไม่แพง แต่ต้องดำเนินการปิดช่องจราจรและสำรวจได้ช้า ในขณะที่เครื่องมือที่วัดด้วยความเร็วสูง (Highway-speed Device) ส่วนใหญ่มีราคาแพง ต้องมีการฝึกอบรมในการบำรุงรักษา และการใช้งาน เป็นผลให้ในปัจจุบันยังไม่มี การวางแผนการจัดการค่าความเสียดทานของผิวทางรวมถึงการยกระดับความปลอดภัยที่ได้รับผลจากค่าความเสียดทานได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) และค่าความเสียหายของผิวทางในประเทศไทย โดยทดสอบค่า MPD ที่ได้จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement ซึ่งสามารถสำรวจได้รวดเร็วและมีราคาไม่แพง เพื่อช่วยในการคัดกรองและลดจำนวนสายทางที่ต้องสำรวจค่าความเสียหายโดยตรง เป็นผลให้สามารถวางแผนการจัดการการซ่อมบำรุง และวางแผนระดับพึงระวังสำหรับค่าความเสียหาย รวมถึงยกระดับความปลอดภัยบนท้องถนนได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ

- 1) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) และค่าความเสียหายของผิวทางซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญต่อการเกิดอุบัติเหตุจากกรณีลื่นไถล
- 2) เพื่อเป็นเครื่องมือในการคัดกรองสายทางจากค่าความเสียหายของผิวทาง อันเป็นการวางแผนในการซ่อมบำรุงจากการเสื่อมสภาพของความเสียหายของผิวทางโดยใช้ค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD)
- 3) เพื่อนำเสนอแนวทางการสำรวจและวิเคราะห์ค่าความเสียหายของผิวทางในระดับโครงข่าย จากค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD)

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- งานวิจัยนี้จำกัดขอบเขตการศึกษา โดยรวบรวมข้อมูลค่าความเสียหายและค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ซึ่งอ้างอิงจาก
  1. ข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางจากเครื่องมือ Dynamic Friction (DFT) และค่า MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement จากโครงการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบการสำรวจและประเมินค่าความเสียหายของผิวทาง (กรมทางหลวงชนบท, 2556)
  2. ข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางจากเครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T -10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed-slip และค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement ในสายทางตัวอย่าง ซึ่งเป็นข้อมูลจากโครงการตรวจสอบสภาพความผิดผิวทางของถนนลาดยางในประเทศไทยโดยสำนักวิจัยและพัฒนาทาง (กรมทางหลวง, 2554)
- ศึกษาสายทางตัวอย่างผิวทางที่เป็นลาดยาง เนื่องจากเป็นผิวส่วนใหญ่ในประเทศอีก อีกทั้งเป็นสายทางที่มีความเสี่ยงด้านความเสียหายมากกว่าสายทางคอนกรีต

- ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานและลักษณะของผิวทางระดับ Macro-texture โดยวิเคราะห์ความเหมือนและความแตกต่าง รวมถึงตัวแปรที่มีผลต่อความแตกต่างของค่าทั้งสอง
- ศึกษาการวางแผนการจัดการบำรุงรักษาผิวทาง และศึกษาการแนะนำระดับพึงประสงค์ของค่าความเสียดทาน ซึ่งการศึกษาทั้งสองมุ่งเน้นเฉพาะด้านวิศวกรรม

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษานี้ คือ

- 1) ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) และค่าความเสียดทานของผิวทางในประเทศไทย
- 2) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ค่าความเสียดทานของผิวทาง จากค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลมีราคาไม่แพง สามารถเก็บข้อมูลโดยใช้ความเร็วปกติของรถสำรวจได้ ทำให้สามารถสำรวจข้อมูลค่าความเสียดทานของผิวทางในระดับโครงข่ายได้
- 3) สามารถใช้ค่า MPD เป็นเครื่องมือในการคัดกรองสายทาง เพื่อการตัดสินใจการจัดการวางแผนระดับพึงประสงค์สำหรับค่าความเสียดทาน เมื่อค่าความเสียดทานมีความเสี่ยงอยู่ในระดับอันตราย เพื่อลดจำนวนสายทางที่จำเป็นต้องสำรวจค่าความเสียดทานโดยตรง และยกระดับความปลอดภัยบนท้องถนน

#### 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ แบ่งเป็นขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) ศึกษาแนวทางการเก็บข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการเกิดอุบัติเหตุจากการลื่นไถลในประเทศไทย รวมถึงสำรวจความเป็นไปได้ในการเข้าถึงแหล่งข้อมูล และความสมบูรณ์ของข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์
- 2) ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review) ซึ่งเป็นขั้นตอนของการศึกษา ค้นคว้าความรู้และทฤษฎีต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการวิจัย โดยรวบรวมจากบทความทางวิชาการ วิทยานิพนธ์ หนังสือเรียน และเอกสารทางวิชาการต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง โดยจำแนกการศึกษาออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้
  - ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูลผิวทางในปัจจุบัน
  - ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction), ลักษณะผิวทาง (Pavement Texture), ค่าความลึกเฉลี่ยของผิวทาง (Mean Profile Depth: MPD) เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงคุณสมบัติและ

พฤติกรรมของผิวทาง รวมถึงแนวทางการตรวจสอบและประเมินทั้งในประเทศ และต่างประเทศ

- ศึกษาเทคโนโลยีการสำรวจและประเมินค่าความเสียหายของผิวทางทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศโดยใช้เทคโนโลยี High-speed Laser Texture Measurement
- ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเพื่อลดอุบัติเหตุจากการลื่นไถล

3) เก็บรวบรวมข้อมูล โดยจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

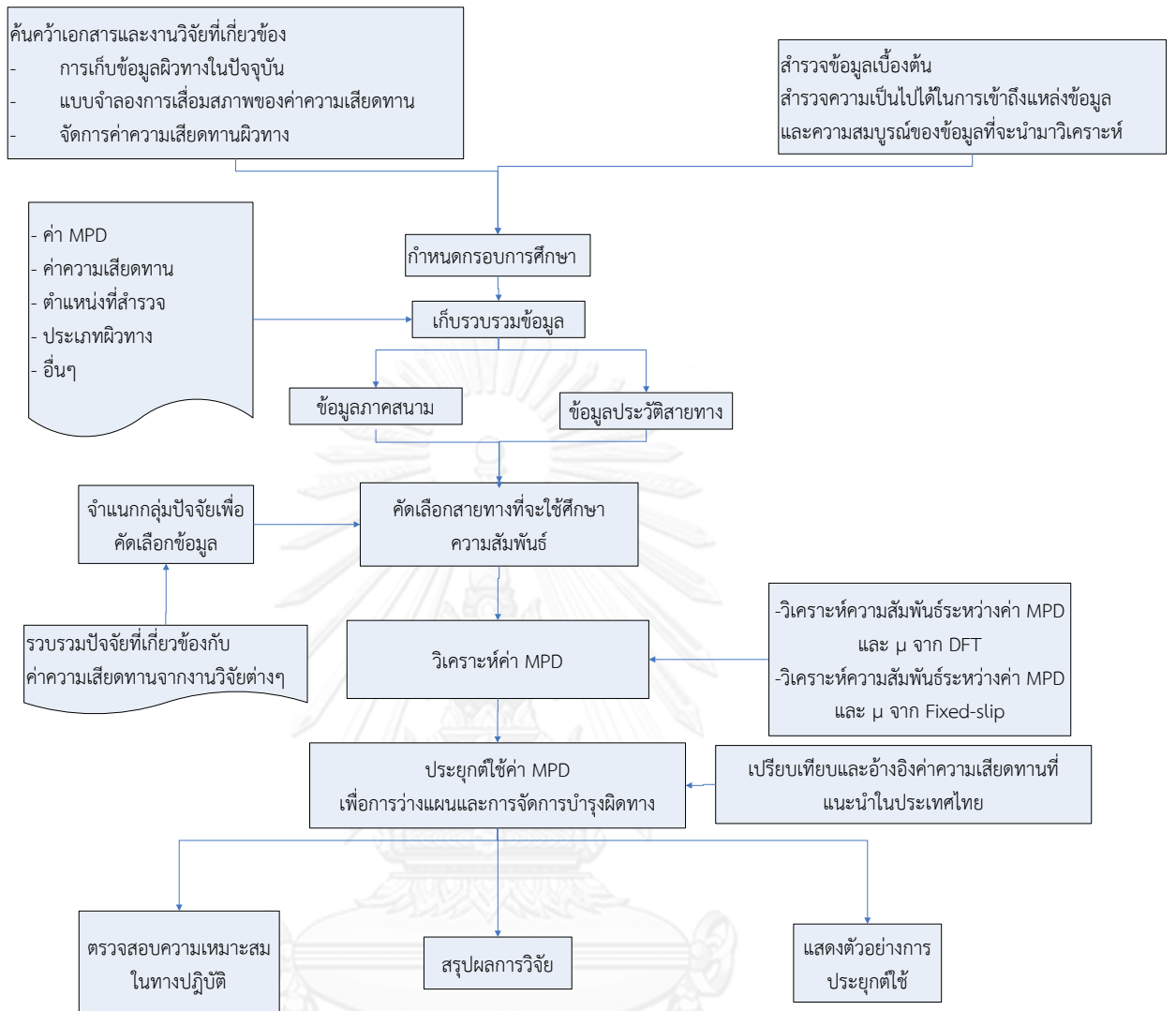
- ข้อมูลค่าความเสียหายที่ได้จากวิธีการวัดค่าความเสียหายของผิวทาง โดยข้อมูลส่วนนี้จะแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ
  - ข้อมูลค่าความเสียหายที่ได้จากการสำรวจสภาพความผิดผิวทางของถนนลาดยางในประเทศไทย ของกรมทางหลวงใช้ข้อมูลจากเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทาง ( $\mu$ ) ชนิด Airport Surface Friction Tester T -10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip
  - ข้อมูลจากโครงการ “ศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบการสำรวจและประเมินค่าความเสียหายของผิวทาง (กรมทางหลวงชนบท, 2556)” โดยในโครงการจะเก็บข้อมูลค่าความเสียหายพร้อมกับค่า MPD ณ ตำแหน่งเดียวกันจากเครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งสามารถทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ความเร็วต่างๆ
- ข้อมูลค่า MPD ที่ได้จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ
  - ข้อมูลจาก ระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง (Central Road Database: CRD) (กรมทางหลวง, 2555) ซึ่งเป็นข้อมูลการสำรวจค่า MPD ทั่วประเทศ
  - ข้อมูลที่ได้จากโครงการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีแบบการสำรวจและประเมินค่าความเสียหายของผิวทางเพื่อความปลอดภัยของ (กรมทางหลวงชนบท, 2556) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทั้งค่าความเสียหายและค่า MPD ในสายทางเดียวกัน ตำแหน่งเดียวกัน และเวลาใกล้เคียงกัน

4) คัดเลือกสายทางเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD และค่าความเสียหายผิวทาง โดยคำนึงถึงปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อความสัมพันธ์ เช่น เลือกช่วงทดสอบบนทางตรงที่ผิวทางมีความสม่ำเสมอ (Homogenous) ตลอดช่วงการทดสอบคัดเลือกสายทางที่มีความยาวในช่วงแปลงทดสอบไม่น้อยกว่า 200 เมตร โดยเลือกช่วงที่เป็นเส้นตรง ไม่เป็นทางลาดชัน และควรมีช่วงทางตรงก่อนถึงแปลงทดสอบไม่น้อยกว่า 50 เมตร ประเภทวัสดุที่



ใช้ในการสร้างผิวทางเป็นประเภทเดียวกัน และเลือกช่วงของสายทางให้มีความหลากหลายของค่าความเสียดทานมากที่สุด เพื่อสามารถทราบถึงปัจจัยที่ทำให้ค่าทั้งสองเหมือนและแตกต่างกันได้อย่างครบถ้วน

- 5) การศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่า Mean Profile Depth ที่ได้จากเครื่องมือทดสอบ High-speed Laser Texture Measurement กับความเสียดทานผิวทางจากเครื่องมือ 2 ชนิดได้แก่ เครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction Tester (DFT) และเครื่องมือชนิด Fixed Slip ประเภท ASFT-T-10 ซึ่งสามารถทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ความเร็วต่างๆ โดยดำเนินการในสายทางที่ได้คัดเลือกมาแล้ว
  - 6) ศึกษาระดับของค่าความเสียดทานของผิวทางในสายทางต่างๆที่ได้จากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD กับมาตรฐานระดับพึงระวังในต่างประเทศ เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของค่าความเสียดทานในประเทศไทย และเป็นเครื่องมือในการคัดกรองสายทางสำหรับการวางแผนซ่อมบำรุงในระดับโครงข่าย
  - 7) พัฒนาวิธีการจัดการงานบำรุงผิวทางที่เป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของค่าความเสียดทานผิวทางโดยอาศัยความสัมพันธ์จากข้อ (5) ในการใช้ค่า MPD และหลักเกณฑ์ที่ได้จากข้อ (6)
  - 8) สรุปผลการวิจัย และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์
- โดยภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1.1 ดังนี้



รูปที่ 1.1 ภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงาน

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวางแผนงานด้านการบำรุงรักษาผิวทางที่ดีนั้นควรครอบคลุมลักษณะความเสียหายของผิวทางทุกประเภท แต่ในปัจจุบันการจัดการงบประมาณเพื่องานบำรุงทางส่วนใหญ่จะพิจารณาจากค่าความเสียหาย ของผิวทางเท่านั้น โดยมีได้การคำนึงถึงค่าความเสียหายของผิวทาง ซึ่งความเสียหายของผิวทางนับเป็นตัวแปรหลักตัวหนึ่งในการประเมินสภาพความปลอดภัยของถนน ผิวทางที่มีความเสียหายของผิวทางไม่เพียงพอย่อมส่งผลให้สายทางเกิดความไม่ปลอดภัยขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากถนนลื่นหรือสภาพถนนที่มีความเสียหายของผิวทางต่ำ อันเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นในการยกระดับความปลอดภัยของถนน ในบทนี้จึงได้อธิบายถึงพฤติกรรมและลักษณะความเสียหายของผิวทาง ลักษณะวิธีการสำรวจค่าความเสียหายทางในปัจจุบัน พฤติกรรมและลักษณะของค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยที่มีผลค่าความเสียหายผิวทาง รวมถึงการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทาง

#### 2.1 ความหมายและความสำคัญของความเสียหายของผิวทาง

##### 2.1.1 ค่าความเสียหายของผิวทาง (Pavement Friction)

ค่าความเสียหายของผิวทางคือ แรงต้านทานบริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อและผิวทาง หรือแรงต้านไม่ให้ล้อลื่นไถลไปบนผิวทางแรงต้านทานนี้จะเกิดขึ้นเมื่อยางรถยนต์หมุนหรือไถลไปตามพื้นผิวของถนนแรงต้านทานนี้สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1 (Henry, 2000)

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

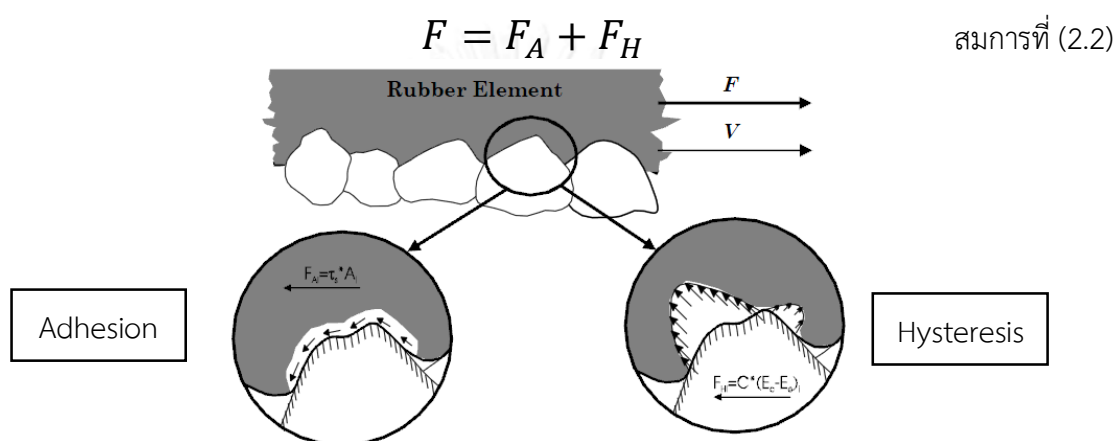
โดยที่

$\mu$	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทาง
$F$	=	แรงเสียดทานในแนวสัมผัส
$F_w$	=	น้ำหนักรถยนต์ที่กระทำกับล้อในแนวตั้ง

แรงเสียดทานผิวทางได้รับผลจากสององค์ประกอบหลัก นั่นคือแรง Adhesion และ Hysteresis แม้ว่ามีส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อแรงเสียดทานผิวทาง เช่น ผิวยางล้อรถ แต่ส่วนประกอบอื่นนั้นไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแรง Adhesion และ Hysteresis ดังนั้นแรงเสียดทานผิวทางสามารถคิดได้จากผลรวมของแรง Adhesion และ Hysteresis

แรง Adhesion เป็นแรงเสียดทานที่เกิดจากการเชื่อมหรือหน่วงจากวัสดุขนาดเล็กกับยางยานพาหนะ โดยค่าของแรง Adhesion จะแปรผันตรงกับแรงเฉือนและขนาดพื้นที่ที่สัมผัส ซึ่งส่วนใหญ่จะขึ้นกับลักษณะพื้นผิวละเอียด (Micro-texture)

แรง Hysteresis เป็นองค์ประกอบหลักของแรงเสียดทานซึ่งเกิดจากการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของยางยานพาหนะ เมื่อยางบีบอัดกับพื้นผิวทาง การกระจายความเครียดทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงาน ซึ่งพลังงานนี้จะถูกเก็บไว้ภายในยาง พลังงานส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแรงเสียดทานเพื่อช่วยหยุดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในขณะที่ส่วนอื่นๆ จะสูญเสียไปในรูปแบบของความร้อน ซึ่งแรง Hysteresis จะขึ้นกับลักษณะพื้นผิวหยาบ (Macro-texture)



รูปที่ 2.1 แรงเสียดทานประกอบด้วย แรง Adhesion และแรง Hysteresis (NCHRP, 2006)

ความเสียดทานของผิวทางมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประเภทโดย Gendy และ Shalaby (2004) ได้ระบุไว้ว่าค่าความเสียดทานได้รับอิทธิพลจากปัจจัย 6 ประเภท ได้แก่ 3 ประเภทจากลักษณะของพื้นผิวหยาบ และ 3 ประเภทจากพื้นผิวละเอียด โดยสามารถอธิบายได้จากลักษณะ 3 อย่าง คือ ขนาด การกระจายตัว และรูปร่างของวัสดุในผิวทางนั้นๆ ดังนั้นถึงแม้ว่าค่า Mean Profile Depth จะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่าความเสียดทานแต่ก็ควรพิจารณาปัจจัยทั้ง 3 รวมด้วย อีกทั้ง Mclean และ Foley (1998) มีการแบ่งระดับลักษณะของพื้นผิวทาง โดยจำแนกตามความยาวคลื่นได้เป็น 4 ระดับ ดังตารางที่ 2.1

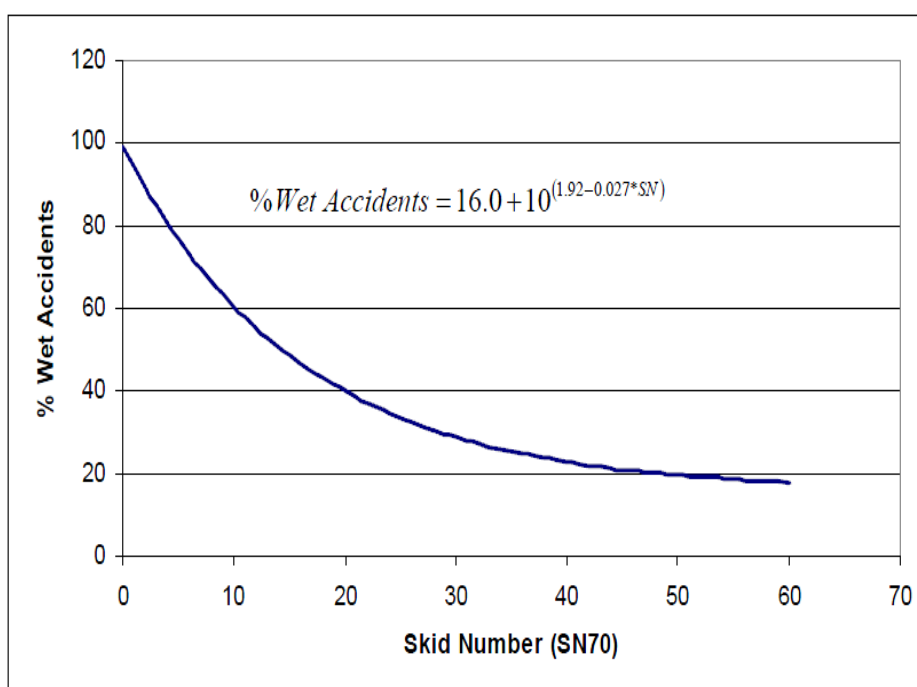
ตารางที่ 2.1 การจำแนกลักษณะของพื้นผิวทางตามความยาวคลื่น (Mclean และ Foley, 1998)

ชนิด	ความยาวคลื่น (มม.)	ตัวแปร
Micro texture	<0.5	ขึ้นกับวัสดุที่มีขนาดเล็ก หรือผิวสัมผัสของวัสดุ
Macro texture	0.5-50	ขึ้นกับขนาดของวัสดุและผิวสัมผัสยางล้อรถ
Mega texture	50-500	ขึ้นกับพื้นที่สัมผัสระหว่างล้อและผิวทาง
Unevenness	>500	เป็นค่าบอกความขรุขระของถนน

จะเห็นได้ว่า ความเสียหายของผิวทางนั้นขึ้นกับลักษณะของผิวทางทั้งระดับ Macro-texture และ Micro-texture ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ทดสอบลักษณะของพื้นผิวทางในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือทดสอบลักษณะของพื้นผิวทางแบบใช้ความเร็ว และเครื่องมือทดสอบลักษณะของพื้นผิวทางแบบควบคุมการจราจรหรือแบบจุด โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ


### 2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอุบัติเหตุและความเสียหายผิวทาง

จากการศึกษาการเกิดอุบัติเหตุทางถนนมีปัจจัยจากหลายสาเหตุ ความเสียหายผิวทางเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการควบคุมและลดจำนวนอุบัติเหตุทางถนน จากการศึกษาของ Ivey et al. (1973) และ Kutttesch (2004) พบว่าสภาพผิวทางที่เปียกทำให้เกิดอุบัติเหตุทางรถยนต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันสภาพผิวทางเปียกมีผลต่อการลดความเสียหายของผิวเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิดอุบัติเหตุทางถนนที่คาดว่าจะมีสาเหตุจากความเสียหายของผิวทาง จากรายงานที่ศึกษาข้อมูลบนทางหลวงนอกเมืองในรัฐเคนทักกี พบว่าอัตราการเกิดอุบัติเหตุจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเสียหายของผิวทางเปียก Skid Number (SN70) มีค่าน้อยกว่า 40 สำหรับการจราจรในระดับต่ำและระดับปานกลาง (SN70 เป็นค่าความเสียหายของผิวทางที่วัดจากเครื่องมือทดสอบ Fixed Slip โดยวัดที่ระดับความเร็ว 70 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 112 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.2

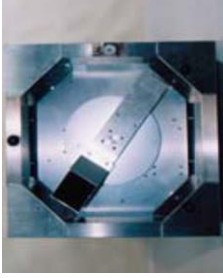


รูปที่ 2.2 อัตราการเกิดอุบัติเหตุทางถนนที่คาดว่าจะมีสาเหตุมาจากความเสียหาย (Kutttesch, 2004)

ตารางที่ 2.2 สรุปเครื่องมือและวิธีการทดสอบลักษณะของพื้นผิวทางแบบใช้ความเร็ว

วิธีทดสอบ	มาตรฐาน	ลักษณะการทำงานของเครื่องมือทดสอบ	ลักษณะเครื่องมือทดสอบลักษณะของพื้นผิวทาง
High-speed Laser Texture Measurement	ASTM E 1845 ISO 13473-1 ISO 13473-2 ISO 13473-3	เครื่องมือทดสอบเลเซอร์ความเร็วสูงแบบไม่สัมผัส ผิวทางสามารถใช้ในการเก็บข้อมูลลักษณะผิวทางโดยการประเมินพื้นผิวทางช่วงความสูง 0.25 มิลลิเมตร หรือต่ำกว่า เครื่องมือนี้สามารถวัดประเมินผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) ได้ในช่วง 0.5 – 50 มิลลิเมตร มีการติดตั้งระบบ GPS เพื่อระบุตำแหน่งทดสอบ ข้อมูลที่เก็บได้จะถูกรวบรวมผลด้วยโปรแกรมประมวลผลและคำนวณลักษณะผิวทางและค่าดัชนีผิวทางอื่นๆ	 <p>เครื่องมือวัดลักษณะผิวทางด้วยเลเซอร์ความเร็วสูง (อาทิ FHWA, ROSAN) ตั้งรูปซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความเร็วสูงที่และระบบเลเซอร์ตรวจจับความเร็วสูงที่ 64 KHZ หรือสูงกว่า ในการวัด อุปกรณ์เลเซอร์ตรวจจับความเร็วสูงจะถูกติดตั้งกับรถความเร็วสูงในการวัดพื้นผิวถนน โดยข้อมูลที่แต่ละถูกเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา</p>

ตารางที่ 2.3 สรุปเครื่องมือและวิธีการทดสอบลักษณะของพื้นผิวทางแบบควบคุมการจราจรหรือแบบจุด

วิธีทดสอบ	มาตรฐาน	ลักษณะการทำงานของเครื่องมือทดสอบ	ลักษณะเครื่องมือทดสอบลักษณะของพื้นผิวทาง
Sand Patch Method (SPM)	ASTM E 965, ISO 10844	Sand Patch Method (SPM) เป็นการวัด โดยอาศัยวิธี Volumetric-based การวัดเชิงปริมาตรซึ่งจะเป็นการวัด Macro-texture การทดสอบผู้ทดสอบจะกระจ่ายเม็ดแก้วกลมที่ทราบปริมาตรที่แน่นอนเป็นวงกลมบนพื้นผิวทาง	อุปกรณ์การทดสอบประกอบด้วย กรอบสี่เหลี่ยมปริมาตร 25,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ไม้วัดความยาว กล้องบรรจุ แพลง และจานรอง
Outflow Meter (OFM)	ASTM E 2380	Outflow Meter (OFM) เป็นการวัดแบบอาศัยปริมาตร ซึ่งวัดอัตราการระบายน้ำ ออกจากพื้นผิวและช่องว่างภายใน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดศักยภาพของผิวทางที่เกี่ยวข้องกับ เวลาในการระบายน้ำออกจากยางที่เคลื่อนที่ ตัวแปรของการวัด	อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยทรงกระบอกที่ ประกอบด้วยวงแหวนวางอยู่ด้านล่างและ ด้านบนด้านเปิด
Circular Texture Meter (CTM)	ASTM E 2157	Circular Texture Meter (CTM) เป็น อุปกรณ์วัด โดยไม่สัมผัสผิวถนนโดยใช้ เลเซอร์ เครื่องมีลักษณะเป็นทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 286 มิลลิเมตร เครื่องจะ ทำการหมุนด้วยความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที และให้ค่าที่วัดได้คือ Mean profile depth (MPD) จากการทดสอบ	

## 2.2 เครื่องมือทดสอบความเสียดทานผิวทาง

เครื่องมือที่ใช้การสำรวจค่าความเสียดทานในปัจจุบันมีหลายประเภท ซึ่ง AASHTO และ ASTM ได้พัฒนามาตรฐานตามคุณลักษณะของผิวทางและจำแนกประเภทของเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจค่าความเสียดทาน ได้ดังนี้

1) เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานที่ความเร็วสูง (High-speed Friction Measuring Devices) โดยทั่วไปเครื่องมือประเภทนี้ถูกติดตั้งบนรถต่อพ่วง ซึ่งผูกติดกับด้านท้ายรถยนต์ ลาก สามารถทดสอบค่าความเสียดทานในความเร็วที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน ASTM E 1845 (2009) และทดสอบขณะพื้นผิวเปียก โดยผู้ทดสอบต้องราดน้ำลงบนผิวถนนที่ทดสอบ ขณะทดสอบล้อของเครื่องมือจะถูกกดลงบนผิวถนน และบันทึกแรงต้านจากการลาก เป็นผลให้ได้ค่าความเสียดทานโดยตรง ซึ่งชนิดของเครื่องมือวัดค่าความเสียดทานที่ความเร็วสูง ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในแต่ละประเทศ มีดังนี้

- ก. เครื่องมือวัดความเสียดทานจากการล้อคล้อทดสอบ (Locked-wheel Testers)
- ข. เครื่องมือวัดความเสียดทานการไถลแบบไม่คงที่ (Variable-slip Testers)
- ค. เครื่องมือวัดความเสียดทานการไถลแบบคงที่ (Fixed-slip Testers)
- ง. เครื่องมือวัดความเสียดทานด้านข้าง (Side-force Testers)

2) เครื่องมือวัดค่าความเสียดทานที่ความเร็วต่ำหรือวัดเป็นจุดทดสอบ (Low-speed or Spot Friction Measuring Devices) ประกอบด้วย

- ก. การวัดความเสียดทานจากระยะทางการหยุด (Stopping Distance Measurement)
- ข. การวัดความเสียดทานจากอัตราการหน่วง (Deceleration Rate Measurement)
- ค. การวัดความเสียดทานด้วยเครื่องมือแบบพกพา (Portable Testers) เช่น British Pendulum Tester (BPT), เครื่อง Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์


โดยเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด มีรายละเอียดตามตารางที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ ซึ่งเครื่องมือที่กล่าวมานี้สามารถนำมาใช้ในการสำรวจ และประเมินค่าความเสียดทานได้โดยตรง ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งที่สำรวจ แต่ไม่สามารถนำมาใช้กับการบริการจัดการในระดับโครงข่ายได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน




ตารางที่ 2.4 สรุปเครื่องมือและวิธีการทดสอบค่าความเสียดทานผิวทางแบบใช้ความเร็วสูงในการทดสอบ

การทดสอบ	มาตรฐาน	ลักษณะการทำงานของเครื่องมือทดสอบ	ลักษณะเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทาน
Locked-Wheel	ASTM E 274	เป็นเครื่องมือที่ถูกติดตั้งบนรถตอปวงโดยจะผูกติดกับด้านท้ายรถยนต์ลาก การทำงานโดยทั่วไปจะขับด้วยความเร็ว 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขณะนั้นผิวเปียก โดยมีความหนาของชั้นน้ำประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ในการทดสอบล้ออย่างทดสอบจะถูกกดบนพื้นผิว จากนั้นระบบจะปล่อยล้อและลากไปบนพื้นผิว แรงต้านจากการลากจะถูกบันทึกเฉลี่ยในช่วง 1-3 วินาที หลังล้อถูกล็อคแบบสมบูรณ์ การวัดสามารถเริ่มวัดใหม่ได้อีกครั้งเมื่อล้อถูกปลดล็อคและหมุนอิสระ	<p>การทดสอบใช้การตอปวงกันระหว่างรถยนต์ลาก และรถตอปวงทดสอบค่าความเสียดทาน Locked-Wheel Skid Trailer</p> <p>ลักษณะล้อที่ใช้ทดสอบมี 2 ประเภท ได้แก่ ล้อแบบมีสัน (Ribbed Tire) มาตราฐาน ASTM E 501 เหมาะในการวัด Macro-texture และล้อเรียบ (Smooth Tire) มาตราฐาน ASTM E 524 เหมาะในการวัด Micro-texture</p>
Variable-Slip	ASTM E 1859	เครื่องมือทดสอบแบบ Variable-Slip จะใช้การวัดค่าความต้านทานที่มีความสัมพันธ์กับการลื่นไถล (ร้อยละ 0-100) ของความเร็วรถที่ลากระหว่างล้อและพื้นผิวทางน้ำที่ใช้จะลาดบนผิวทางทดสอบมีความหนา 0.5 มิลลิเมตร โดยล้อจะถูกปล่อยให้หมุนอิสระ แล้วปล่อยให้ความเร็วของล้อทดสอบลดลง ความเสียดทานจะถูกบันทึกค่าที่ ช่วง 2.5 มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า	<p>- เครื่องมือประเภทนี้อาจที่เช่น French IMAG.</p> <p>- เครื่องมือ Norwegian Noise meter RUNAR</p> <p>- เครื่องมือ ROAR and SALTAR systems.</p>

ตารางที่ 2.4 สรุปเครื่องมือและวิธีการทดสอบค่าความเสียดทานผิวทางแบบใช้ความเร็วสูงในการทดสอบ (ต่อ)

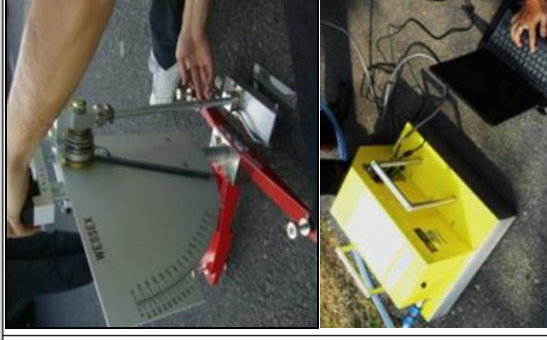
การทดสอบ	มาตรฐาน	ลักษณะการทำงานของเครื่องมือทดสอบ	ลักษณะเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทาน
Fixed Slip	Various	<p>เครื่องมือทดสอบแบบ Fixed-slip จะใช้วัดความต้านทานการหมุนของล้อชนิดเรียบที่เคลื่อนที่ความเร็วค่าหนึ่งๆ ประมาณ ร้อยละ 12-20 ของความเร็วรถที่โลกโดยจะทดสอบขณะพื้นผิวเปียกที่ความหนาของชั้นน้ำเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ที่ด้านหน้ารถต่อพวงที่มีเครื่องมือวัดค่าความเสียดทาน จะทดสอบที่ความเร็ว 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดสอบการหมุนของล้อจะถูกยับยั้งล้อที่หมุนเมื่อถึงร้อยละความเร็วของรถลากที่กำหนด น้ำหนักล้อ ความเสียดทาน จะถูกคำนวณโดยการแปลงค่าแรงดึงและโมเมนต์บิด</p>	<p>ลักษณะเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทาน</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- เครื่องมือประเภทนี้ อาทิ เช่น Roadway and runway Friction testers (RFTs).</li> <li>- เครื่องมือ Airport Surface Friction Tester (ASFT)</li> <li>- U.K. Grip tester</li> <li>- Road Analyzer and Recorder (ROAR).</li> <li>- มาตรฐาน ASTM E 1551 ใช้ทดสอบล้อโดยใช้การทดสอบ Fixed-Slip</li> </ul> 

ตารางที่ 2.5 สรุปเครื่องมือและวิธีการทดสอบค่าความเสียหายที่ความเร็วต่ำหรือวัดเป็นจุดทดสอบ

วิธีทดสอบ	มาตรฐาน	ลักษณะการทำงานของเครื่องมือทดสอบ	ลักษณะเครื่องมือทดสอบค่าความเสียหาย
Stopping Distance	ASTM E 445	ต้องมีการฉีดน้ำจนกระทั่งผิวหน้าของถนนอยู่ในสภาพเปียกด้วยน้ำ ในขณะที่ทดสอบผู้ขับขี่ต้องขับด้วยความเร็วคงที่โดยระบุไว้ 40 ไมล์ต่อชั่วโมงหรือ 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ต้องมีการกำหนดลักษณะของล้อรถ และระยะทางในการทดสอบจนถึงจุดสุดท้าย วิธีนี้มีความแตกต่างกันในด้านวิธีการเช่น ระดับความเร็ว และระบบเบรก ABS เป็นต้น	รถยนต์ส่วนบุคคลหรือรถบรรทุกเบา (อย่างน้อย 3200 ปอนด์) (ควรติดตั้งระบบการสิ้นสสะเทียม) และระบบเบรก โดยต้องให้ได้เต็มความสามารถส่วนการออกแบบยางรถยนต์ควรจะเป็นไปตาม ASTM E 501
Deceleration Rate	ASTM E 2101	เครื่องมือจะใช้ความเร็วมาตรฐานในการทดสอบ ประมาณ 20 ถึง 30 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 32-48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้เบรกในการลอคทำให้ล้อเกิดความหน่วงจากนั้นวัดอัตราการชะลอตัว อัตรานี้จะถูกบันทึกและนำไปคำนวณหาความเสียหาย	 <p>เครื่องมือที่เป็นเครื่อง กล หรือ Electronic ที่ถูกติดตั้งไว้ในยานพาหนะ ในการวัดค่าความหน่วง (Deceleration) นั้นได้มีการบันทึกค่าอัตราชะลอตัว</p>

ตารางที่ 2.5 สรุปเครื่องมือและวิธีการทดสอบค่าความเร็วต่ำหรือวัดเป็นจุดทดสอบ (ต่อ)

วิธีทดสอบ	มาตรฐาน	ลักษณะการทำงานของเครื่องมือทดสอบ	ลักษณะเครื่องมือทดสอบค่าความเสียหาย
Portable Testers	ASTM E 303 ASTM E 1911	เครื่องมือทดสอบแบบพกพาสามารถนำไปใช้ในการวัดความเสียหายของพื้นผิวทาง การทดสอบนี้จะใช้ผู้คุมหรือทฤษฎีการเลื่อนในการวัดความเสียหายในห้องปฏิบัติการหรือในสนาม	<p>ลักษณะเครื่องมือทดสอบค่าความเสียหาย</p> <p>- British Pendulum Tester (BPT) ได้กำหนดความเร็วขั้นต่ำในการเลื่อนระหว่างขงมาตรฐาน</p> <p>- เครื่อง DFT เป็นระบบโครงสร้างที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ โดยปกติจะถูกเก็บที่ 12, 24, 36, และ 48 ไมล์/ชั่วโมง หรือ 20, 40, 60, และ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมงความเร็วนี้มีความสัมพันธ์กับความเสียหายที่วัดได้ โดยสัมพันธ์กับค่าคอมพิวเตอรืแบบพกพา</p>



## 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียดทานและค่า Mean Profile Depth (MPD)

จากงานวิจัยของ Fülöp et al. (2000) ได้แสดงถึงหลักการคำนวณค่าความเสียดทาน ณ ความเร็ว ต่างๆประกอบด้วยปัจจัยสำคัญสองปัจจัยคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยวัดที่ความเร็วนั้นๆ และค่า MPD ณ สายทางเดียวกัน ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$S_p = a + b \times T \quad \text{สมการที่ (2.3)}$$

$$F_{60} = A + B \times F \times e^{\left(\frac{t \times V - S_{ref}}{S_p}\right)} \quad \text{สมการที่ (2.4)}$$

โดย

$S_p$	คือ พารามิเตอร์ของพื้นผิวทางซึ่งสะท้อนผลจากลักษณะผิวทางระดับหยาบอ้างอิงจาก International Friction Index
$F_{60}$	คือ พารามิเตอร์ความเสียดทานที่ความเร็วการอ้างอิง 60 ก.ม./ชั่วโมง (IFI)
$F$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยวัดที่ความเร็ว $V$ ก.ม./ชั่วโมง
$S_{ref}$	คือ ความเร็วไหลอ้างอิงโดยคงที่ที่ 60 ก.ม./ชั่วโมง
$T$	คือ ค่า MPD
$t$	คือ อัตราการไหล ดังนั้น $t \cdot V$ คือค่าการไหลที่แท้จริง
$a, b, A, B$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอุปกรณ์เฉพาะเพื่อชดเชยผลกระทบของความเร็วในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยสามารถหาได้จากแผนภาพการถดถอยเชิงเส้นซึ่งได้จาก International Experiment (PIARC, 1995)

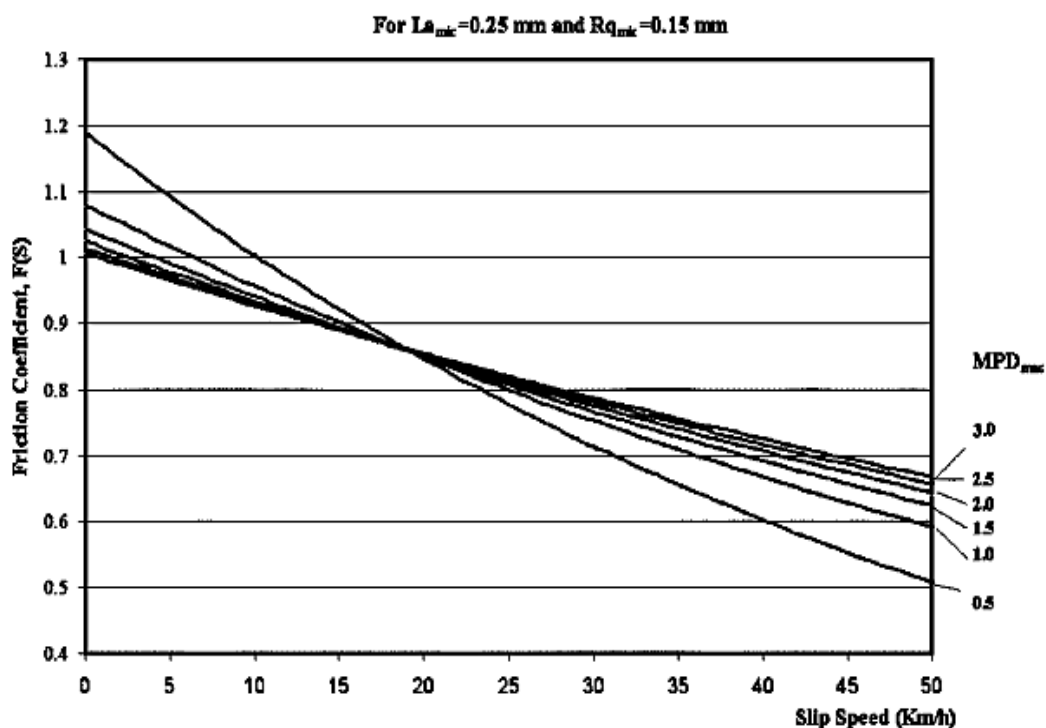
นอกจากนี้ยังมีวิจัยของ Murat, Iyınam และ Iyınam (2005) ได้วิจัยด้านการพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากการวัดค่าลักษณะพื้นผิวหยาบ (Macro texture) และลักษณะพื้นผิวละเอียด (Micro texture) โดยได้สำรวจตัวอย่างสายทางในประเทศเบลเยียมจำนวน 18 สายทาง จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า MPD มีผลต่อการระบายน้ำระหว่างล้อรถกับผิวทางและมีผลต่อความเสียดทานของผิวทาง โดยที่ความเร็วรถสูง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่า MPD กล่าวคือ เมื่อรถใช้ความเร็วมากกว่า 18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะแปรผันตรงกับค่า MPD

## 2.4 หลักการของค่า Mean Profile Depth (MPD)

### 2.4.1 ค่า Mean Profile Depth (MPD)

ค่า Mean Profile Depth (MPD) คือตัวชี้วัดสภาพความขรุขระของผิวทางระดับผิวทางหยาบ (Macro-texture) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 50 มิลลิเมตร และ ความสูงคลื่นอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 25 มิลลิเมตร โดยสะท้อนถึงความขรุขระของผิวทางที่เกิดจาก

คุณสมบัติวัสดุผสม และวิธีการปูในสนาม ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้ High-speed Laser Texture Measurement เป็นอุปกรณ์ในการสำรวจซึ่งคำนวณให้ผลออกมาในหน่วย มิลลิเมตร ตาม ASTM E 1845 – 09 มาตรฐานสำหรับการคำนวณค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ (Calculating Pavement Macro texture Mean Profile Depth) และงานวิจัยของ Fisco (2009) ระบุไว้เกี่ยวกับมาตรฐานการเก็บข้อมูล MPD ไว้ดังนี้

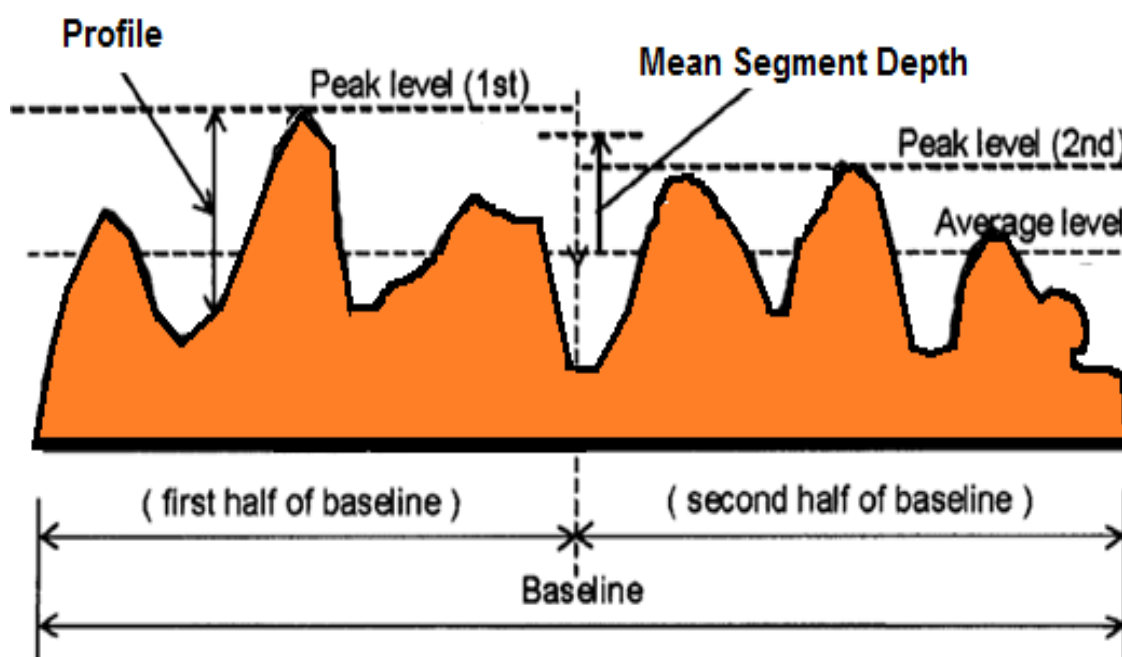


รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD และค่าความเสียดทาน  
(Murat et al., 2005)

- ในการเก็บข้อมูลค่า MPD มีความจำเป็นต้องเก็บเป็นระยะทางต่อเนื่องอย่างน้อย 100 มิลลิเมตร ต่อ 1 ตัวอย่าง
- ความถี่ Sampling Rate 62.5 กิโลเฮิร์ตซ์
- มีความละเอียด 45 ไมครอน
- ขนาดของจุดของลำแสงเลเซอร์ ควรมีขนาด 1 มิลลิเมตร
- อุปกรณ์เลเซอร์ติดตั้งอยู่สูงจากพื้นประมาณ 1 ฟุต

- มุมตกกระทบจากการยิงแสงเลเซอร์กับพื้นผิวทางและการสะท้อนเข้าตัวรับสัญญาณไม่ควรเกิน 30 องศา เพื่อความถูกต้องในการวัดระยะจากตัวเลเซอร์ถึงพื้นผิว
- ต้องมีการกรองสัญญาณคลื่นที่ได้จากการสำรวจเพื่อกำจัดค่าลักษณะของผิวทางที่มีความละเอียดมากเกินไป
- เมื่อได้ข้อมูลแล้วให้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 50 มิลลิเมตร จากนั้นหาระดับสูงสุดของแต่ละส่วน นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้เป็น ค่าความลึกเฉลี่ย (Mean Segment Depth, MSD)
- การคำนวณค่า MSD ที่ได้จากเครื่องมือสำรวจ ดังสมการที่ 2.4
- การคำนวณค่า MPD ได้จากการเฉลี่ยค่า Mean Segment Depth ในช่วงระยะที่ทำการสำรวจ

$$\text{Mean Segment Depth} = \frac{\text{Peak level (1st)} + \text{Peak level (2nd)}}{2} \quad \text{สมการที่ (2.4)}$$



รูปที่ 2.4 วิธีการคำนวณค่า MPD (ASTM E 1845, 2009)

#### 2.4.2 เทคโนโลยีการสำรวจและประเมินค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ

การศึกษาเทคโนโลยีการสำรวจและประเมินค่าลักษณะผิวทางแบบหยาบ โดยใช้เทคนิค High-speed Laser Texture Measurement ในระดับโครงข่ายทั้งในประเทศและ



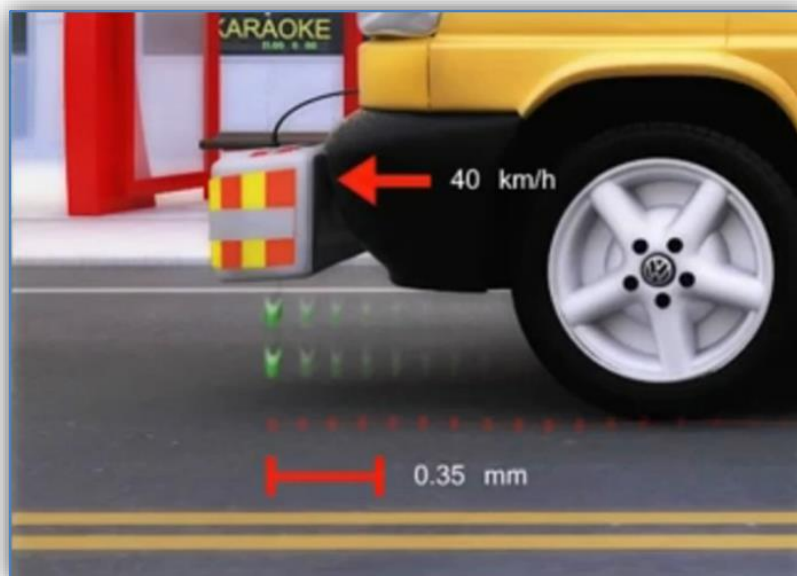
ต่างประเทศ พบว่ามีการใช้อุปกรณ์สำรวจผิวทางโดยใช้เทคโนโลยี High-speed Laser ซึ่งเป็นอุปกรณ์มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดตั้งด้านหน้ารถสำรวจ ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งมีใช้ทั้งในกรมทางหลวงและ กรมทางหลวงชนบท ค่าที่สำรวจได้นั้นจะมีทั้งข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) สัญญาณ Odometer ค่า Longitudinal profile และค่า Mean Profile Depth โดยส่งข้อมูลผ่านทางสายอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ทำให้ส่งข้อมูลได้รวดเร็ว

อุปกรณ์ High-speed Laser จะใช้เซ็นเซอร์ 2 แบบ เซ็นเซอร์แบบแรกคือ เลเซอร์ใช้วัดระยะทางจากอุปกรณ์เลเซอร์ถึงพื้นผิวทาง เซ็นเซอร์แบบที่สองคือ 3-axis gyro และ Accelerometer เพื่อใช้วัดการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของตัวเลเซอร์ เมื่อรถเคลื่อนที่ค่าที่ได้จะถูกเก็บลงคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล ผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ CSV หรือ XML ประสิทธิภาพของเครื่องนี้สามารถหาค่า Longitudinal Profile ในทุกๆ 0.25 เมตร และสามารถคำนวณค่า IRI ได้จาก Longitudinal Profile ตัวเลเซอร์ตรวจความยาวคลื่นที่ค่าต่ำสุดคือ 0.35 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการติดตั้ง High-speed Laser ที่ด้านหน้าของรถ (กรมทางหลวงชนบท, 2556)





รูปที่ 2.6 ประสิทธิภาพของเลเซอร์ที่ติดกับรถสำรวจผิวทาง (ViaTech, 2013)

## 2.5 การวางแผนและการจัดการความเสียหายผิวทางในต่างประเทศ

ค่าความเสียหายของผิวทางเป็นปัจจัยหนึ่งในหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยทางถนน โดยเฉพาะความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุรถชนกันอันเนื่องมาจากถนนลื่นในกรณีที่ถนนเปียก (Wet Skidding Crash) จากการศึกษาของ Wilson, Jacobsen และ Chan (2013) พบว่าโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุดังกล่าวจะลดลงเมื่อความเสียหายระหว่างยางรถยนต์กับผิวทางมีมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญในพฤติกรรมของการเสื่อมสภาพของผิวทาง หรืออัตราการลดลงของความเสียหายบนผิวถนน อีกทั้งการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางควรกำหนดระดับพึงระวัง และระดับปรับปรุงแก้ไข ในการเผื่อระวังถึงการเสื่อมสภาพของผิวทางดังกล่าว โดยมีรายละเอียดของเกณฑ์ของทั้ง 2 ระดับดังนี้

- ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) คือ ระดับที่ค่าความเสียหายเริ่มมีอัตราลดลงอย่างรวดเร็วอย่างมีนัยสำคัญ เป็นสายทางที่ควรให้ความระมัดระวัง และอาจติดตั้งป้ายเตือนแก่ผู้ใช้ทาง เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบสภาพผิวทาง หรือปรับปรุงผิวทางในระยะสั้น
- ระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) คือ ระดับความเสียหายที่แสดงถึงว่าสายทางบริเวณนี้ควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างเร่งด่วน ซึ่งระดับค่าความเสียหายนี้มีค่าต่ำกว่าระดับปรับปรุงแก้ไข ในส่วนการดำเนินการอาจติดตั้งป้ายเตือนหรือวางแผนปรับปรุงก่อสร้างผิวทาง

โดยการวางแผนและการจัดการความเสียหายผิวทางในต่างประเทศ เพื่อจัดทำระดับพึงระวัง (Investigatory) และระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention) สำหรับความเสียหาย มีปัญหา

สำคัญในการวางแผนและการจัดการความเสียหายคือ ไม่สามารถระบุถึงความเสียหายในสายทางใดปลอดภัยหรือสายทางใดมีความเสี่ยงสูง จึงมีหลากหลายแนวความคิดในการจัดระดับพืงระวัง (Investigatory) และระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention) ของค่าความเสียหาย จากการประชุมระดับชาติและนานาชาติและการประชุมเชิงปฏิบัติการด้านความเสียหายพิวทาง NCHRP (2006) ได้มีการกำหนดวิธีจัดทำระดับพืงระวัง และระดับปรับปรุงแก้ไข สำหรับความเสียหายดังนี้

#### 2.5.1 วิธีการจัดตั้งโดยการใช้ข้อมูลประวัติความเสียหายพิวทางเท่านั้น

วิธีนี้ใช้กับแนวโน้มจากประวัติของการลดลงของค่าความเสียหายในสายทางกำหนด โดยจัดทำฐานข้อมูลค่าความเสียหายพิวทางกับอายุพิวทาง หรืออายุหลังจากการปรับปรุงพิวทางครั้งล่าสุด ซึ่งการจัดระดับพืงระวังทำได้โดยระบุค่าความเสียหายพิวทางที่เริ่มลดลงด้วยอัตราที่เร็วอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระดับปรับปรุงแก้ไขนั้นอาจกำหนดไว้หลังจากผ่านระดับพืงระวังไปแล้วระยะหนึ่ง (เช่นกำหนดเป็นร้อยละ 5 ของค่าความเสียหายที่ต่ำกว่าระดับพืงระวัง) โดยค่าความเสียหายที่ลดลงอย่างรวดเร็วสามารถระบุได้ชัดเจนโดยการใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

#### 2.5.2 วิธีการจัดตั้งโดยการใช้ข้อมูลประวัติความเสียหายพิวทางและข้อมูลอุบัติเหตุ

วิธีนี้ทำโดยเปรียบเทียบความเสียหายทางประวัติศาสตร์และข้อมูลอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนสายทางนั้น โดยระดับพืงระวังจัดทำได้จากการทำแผนภาพแนวโน้มค่าความเสียหายกับอัตราการเกิดอุบัติเหตุเช่นเดียวกับวิธีแรกขณะที่ระดับปรับปรุงแก้ไขจะถูกกำหนดโดยตำแหน่งที่มีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในการเกิดอุบัติเหตุ

#### 2.5.3 วิธีการจัดตั้งโดยการใช้แนวโน้มการกระจายตัวของค่าความเสียหายพิวทางและอัตราชนที่คาดว่าได้รับผลจากความเสียหาย

วิธีนี้ใช้การกระจายตัวของข้อมูลความเสียหายเทียบกับอัตราการเกิดอุบัติเหตุที่น่าจะมีผลมาจากการลดลงของความเสียหายในสายทางนั้นๆ

ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน โดยแนวความคิดแรก เป็น การกำหนดค่าความเสียหายของสายทางทุกสายให้มีค่าความปลอดภัยค่าเดียวแต่แนวความคิดนี้จะใช้งบประมาณสูง และมีได้คำนึงถึงอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นอันเกิดจากความเสื่อมสภาพของความเสียหายจริง กล่าวคือ การใช้แนวความคิดนี้นั้นที่มีจำนวนอุบัติเหตุมากก็มีความจำเป็นที่ต้องบำรุงรักษาเท่ากับถนนที่มีจำนวนอุบัติเหตุน้อย แนวความคิดที่สอง คือ การจัดทำระดับพืงระวังและระดับปรับปรุงแก้ไขโดยอาศัยการระบุค่าความเสียหายสำหรับแต่ละสายทางโดยคำนึงถึง ประเภทของสายทาง และประวัติข้อมูลอุบัติเหตุ แนวความคิดสุดท้าย คือ การจัดทำระดับพืงระวังและระดับปรับปรุงแก้ไขสำหรับแต่ละสายทางโดยอาศัยแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูล ค่าความเสียหายและอัตราการเกิดอุบัติเหตุซึ่งเป็นแนวความคิดที่ต่างประเทศนิยมใช้ในปัจจุบัน ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีที่สอง คือการจัดตั้งโดยการใช้ข้อมูลประวัติความเสียหายพิวทางและข้อมูลอุบัติเหตุมาประยุกต์ใช้เพื่อเสนอแนะเป็นแนวทางการวางแผนในการซ่อมบำรุงพิวทางจากค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ย เนื่องจากข้อมูลอุบัติเหตุในประเทศไทย

มีการจัดเก็บอย่างเป็นรูปธรรม สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ จึงเหมาะที่จะใช้ร่วมกับข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยเพื่อ จัดทำระดับจัดทำระดับพึงระวัง (Investigatory) และระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention) โดยมีขั้นตอนการวางแผนและการจัดการความเสียหายผิวทางดังนี้

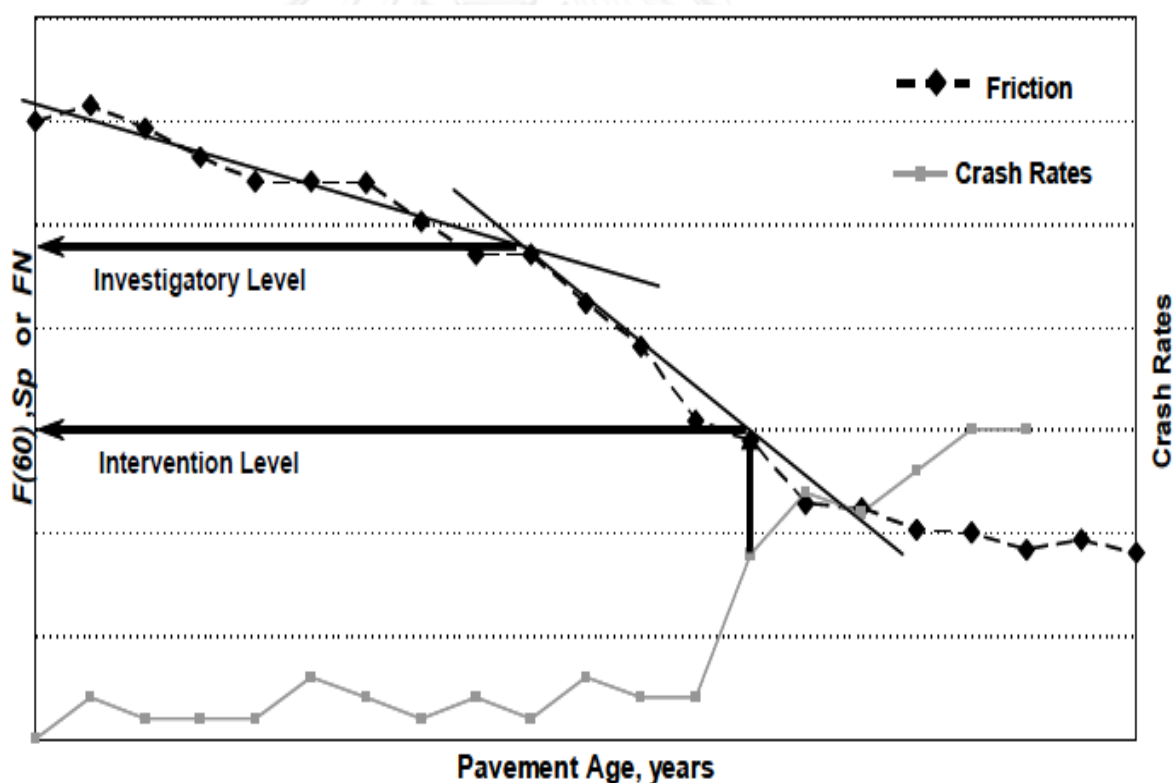
ขั้นตอนที่ 1 ทำแผนภาพระหว่างความเสียหายผิวทางเทียบกับอายุหรือเท่ากับอายุ หลังจากการปรับปรุงผิว ค่าครั้งล่าสุด

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเส้นโค้งการเสื่อมสภาพการลดลงของความเสียหาย โดยความโค้งขึ้นอยู่กับข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 แบ่งความชันของเส้นโค้งออกเป็นสามชั้น (โค้งรูปตัว S ดังรูปที่ 2.7 )

ขั้นตอนที่ 4 ตั้งระดับพึงระวัง ณ ตำแหน่งที่มีการลดลงของค่าความเสียหายอย่างมีนัยสำคัญครั้งแรก

ขั้นตอนที่ 5 การตั้งระดับปรับปรุงแก้ไข ถูกกำหนดโดยตำแหน่งที่มีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในการเกิดอุบัติเหตุ



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างวิธีการวางแผนโดยการใช้ข้อมูลประวัติความเสียหายผิวทางและข้อมูลอุบัติเหตุ (NCHRP, 2006)

ในการตัดสินใจทางวิศวกรรมจะพิจารณาจากงบประมาณที่มีจำกัดและจากด้านความปลอดภัย ดังนั้นควรพิจารณาผลกระทบของการจัดตั้งระดับพึงระวังและระดับปรับปรุงแก้ไขในแง่ของ

การปรับปรุงด้านความปลอดภัยและค่าใช้จ่ายเพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยภายในงบประมาณที่จำกัด ซึ่งในต่างประเทศมีกำหนดรายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่แนะนำ โดยถูกกล่าวถึงใน NCHRP (2006) และกรมทางหลวงชนบท (2554) สรุปได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สรุปค่าความเสียหายของผิวทางที่แนะนำ ในการศึกษางานวิจัยของประเทศต่างๆ (กรมทางหลวงชนบท, 2554)

ลำดับ	ประเทศ/หน่วยงาน	ตัวแปรควบคุม	ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	ค่าความเสียหายของผิวทาง	ชนิดเครื่องมือทดสอบ/มาตรฐานการทดสอบ
1	ฟินแลนด์	-	ความเร็ว (กม./ชม.) ≤80 ≤100 ≤120	$\mu$ 0.4 0.5 ≥0.6	Finnish Standard (PANK 5201 หรือ TIE 475)
2	สวีเดน	สภาพผิวทาง ผิวถนนเปียก		$\mu$ 0.5	Fixed Slip Device (Skiddometer BV-11)
3	สหรัฐอเมริกา/ Washington State Department of Transportation	-	ประเภทของสายทาง ถนนที่ต้องการปรับปรุงผิวทาง ถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย ถนนที่มีการตรวจวัดบ่อยครั้ง ถนนที่มีปริมาณการจราจรมาก	SN <30 ≥30 31-34 ≥35	Skid Trailer
4	อังกฤษ	ความเร็ว 80 กม./ชม.	ประเภทสายทาง - Motorway - Dual carriageway non-event - Single carriageway non-event  Dual carriageway (all purpose)-minor junctions - Single carriageway minor junctions & approaches to across major junctions (all limbs) Approach to roundabout - Approach to pedestrian crossing and other high risk situation - Roundabout - Gradient 5-10 เปอร์เซ็นต์ longer than 50m - Gradient ≥ 10 เปอร์เซ็นต์ longer than 50 m - Bend radius < 500 m - dual carriageway - Bend radius < 500 m - single carriageway	$\mu$ 0.35 0.35-0.40 0.40-0.45  0.45-0.55  0.50-0.55 0.45-0.50 0.45-0.50 0.50-0.55 0.45-0.50	Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)

ตารางที่ 2.6 สรุปค่าความเสียหายของผิวทางที่แนะนำ ในการศึกษางานวิจัยของประเทศต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	ประเทศ/หน่วยงาน	ตัวแปรควบคุม	ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	ค่าความเสียหายของผิวทาง	ชนิดเครื่องมือทดสอบ/ มาตรฐานการทดสอบ	หมายเหตุ
5	ออสเตรเลีย /Microroads	ความเร็ว 50 กม./ชม.	ประเภทสายทาง  - Traffic light controlled intersection, Pedestrian/school crossing, Railway level crossings, Roundabout approaches  - Curves with radius 250 m, Gradient 5 เปอร์เซ็นต์ and 50 m long, Freeway/higway/on/offramps  - Intersections  - Manoeuvre-free areas of undivided roads  - Manoeuvre-free areas of divided roads	Primary road >2500 veh/lane /day	Secondary road <2500 veh/lane /day	Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)
				<u>SFC50</u>	<u>SFC50</u>	
				0.55	0.5	
		0.5		0.45		
		0.45		0.4		
		0.4		0.35		
		0.35		0.3		
20 กม./ชม.	- Curves with radius<=100m  - Roundabouts	<u>SFC20</u>	<u>SFC20</u>			
		0.6	0.55			
		0.55	0.5			
6	นิวซีแลนด์/ Transit New Zealand Technical Standard	-	ประเภทสายทาง  - Approaches to railway level crossing, traffic lights, pedestrian crossings, roundabout, Stop and Give Way controlled intersections (state highway only), One Lane Bridges (including bridge deck)  - Curve<250m radius, Down gradient>10 เปอร์เซ็นต์  - Approaches to road junction, Down gradient 5-10 เปอร์เซ็นต์, Motorway junction area including on/off ramps  - Undivided carriageway (event-free)  - Divided carriageway (event-free)	SEC		Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)
				0.55		
				0.5		
				0.45		
				0.4		
				0.35		

ตารางที่ 2.6 สรุปค่าความเสียหายของผิวทางที่แนะนำ ในการศึกษางานวิจัยของประเทศต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	ประเทศ/หน่วยงาน	ตัวแปรควบคุม	ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	ชนิดเครื่องมือทดสอบ/มาตรฐานการทดสอบ			หมายเหตุ
7	อิสราเอล/ Israeli Public Works Department	-	จำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุ ลดจำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุลง 7.5 เปอร์เซ็นต์	Mu-meter reading  >30			Mu-meter
8	Wisconsin, สหรัฐอเมริกา/ U.S. Department of Transportation	-	สภาพผิวทาง Dry Wet Slush Loose Snow Packed Snow	FN Median 47 45 30 26 21	FN 25 <sup>th</sup> percentile 44 42 26 23 19	FN 75 <sup>th</sup> percentile 51 47 34 28 22	
9	ฝรั่งเศส	-	จำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุขณะผิวทางเปียก เพิ่มขึ้น 5 เท่า	SFC  <0.5 (initial >0.6)			Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)
10	นอร์เวย์/ Norwegian Road GripProject	-	อัตราการเกิดการชนกัน 0.8 0.55 0.25 0.2	$\mu$ <0.15 0.15-0.24 0.25-0.34 0.35-0.44			

ตารางที่ 2.7 สรุปค่าความเสียหายที่แนะนำของประเทศต่างๆ (กรมทางหลวงชนบท, 2554)

ประเทศ	ทางด่วน / Motorway	ทางสายหลัก	ทางสายรอง	ถนนท้องถิ่น
เดนมาร์ก	ความเร็ว < 80 กม.ต่อชม., $\mu=0.4$ ; ความเร็ว > 80 กม.ต่อชม., $\mu=0.5$			
ฮังการี	SCRIM > 0.50	SCRIM > 0.40	SCRIM > 0.33	
ญี่ปุ่น	Friction > 0.25			
เนเธอร์แลนด์	DWW > 38	DWW > 38		
รัฐเซาธ์ออสเตรเลีย ออสเตรเลีย	BPN > 45	BPN > 45	BPN > 45	BPN > 40
สวีตเซอร์แลนด์	BPN > 65			
รัฐวิกตอเรีย ออสเตรเลีย	SCRIM > 0.35-0.55			

## 2.6 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าความเสียหายของผิวทางเป็นตัวแปรหลักในการประเมินความปลอดภัยบนท้องถนน อันมีปัจจัยสำคัญ ได้แก่ แรง Adhesion ที่ขึ้นกับลักษณะพื้นผิวละเอียด (Micro-texture) และแรง Hysteresis ซึ่งขึ้นกับลักษณะพื้นผิวหยาบ (Macro-texture) อีกทั้งยังพบว่าสภาพผิวทางที่เปียกมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุทางรถยนต์สูง เนื่องจากความเสียหายของผิวทางลดลง จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาและรวบรวมข้อมูลค่าความเสียหายผิวทางเพื่อนำมาวางแผนการซ่อมบำรุงผิวทางอันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของค่าความเสียหาย โดยในปัจจุบันเครื่องมือสำหรับสำรวจค่าความเสียหายมีสองชนิดคือ เครื่องมือวัดค่าความเสียหายที่ความเร็วสูง และเครื่องมือวัดค่าความเสียหายแบบจุดทดสอบ ซึ่งเครื่องมือทั้งสองชนิดมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เครื่องมือวัดค่าความเสียหายที่ความเร็วสูงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลค่าความเสียหายในระดับโครงข่ายได้ ต่างจากเครื่องมือวัดค่าความเสียหายแบบจุดทดสอบที่สามารถสำรวจค่าความเสียหายได้โดยตรง แต่มีข้อจำกัดด้านระยะเวลา จึงไม่เหมาะในการใช้งานระดับโครงข่าย มีการศึกษาพบว่าค่าความเสียหาย ณ ความเร็วสูง มีค่า Mean Profile Depth (MPD) เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญ โดยค่า MPD เป็นตัวชี้วัดสภาพความขรุขระของผิวทางระดับผิวทางหยาบ และสามารถวัดได้จากเครื่องมือทดสอบเลเซอร์ความเร็วสูง (High-speed Laser Texture Measurement) ตามมาตรฐาน ASTM E 1845-09

เนื่องจากค่าความเสียหายส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยบนทางถนน การเฝ้าระวังการเสื่อมสภาพของผิวทางจึงเป็นสิ่งจำเป็น มีการกำหนดแนวทางการบำรุงรักษาผิวทาง 2 ระดับ คือ ระดับพึงระวัง และระดับปรับปรุงแก้ไข โดยมีการใช้ค่าความเสียหายเป็นมาตรฐานในการกำหนดแนวทางในการบำรุงรักษา แต่เนื่องจากปัจจัยสภาพแวดล้อมของแต่ละสายทางที่แตกต่างกันทำให้ไม่สามารถใช้ค่าความเสียหายที่ระดับเดียวกันได้ จึงกำหนดค่าความเสียหายในแต่ละมาตรฐาน โดยอาศัยปัจจัยจาก ประเภทสายทาง ปริมาณการจราจร ข้อมูลประวัติการเกิดอุบัติเหตุในสายทาง เป็นต้น มาจัดกำหนดระดับพึงระวัง และระดับปรับปรุงแก้ไข

### บทที่ 3

#### การเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาการสำรวจค่าความเสียดทานในอดีตพบว่า การพัฒนารูปแบบการสำรวจข้อมูลค่าความเสียดทานเพื่อการวางแผนการซ่อมบำรุงแต่ละรูปแบบมีข้อดีและ ข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พยายามพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานของผิวทางเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงข้อจำกัดในด้านระยะเวลาและ งบประมาณในการสำรวจค่าความเสียดทาน เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ อันเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่ง เนื่องจากหากข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาครบถ้วนและมีความถูกต้อง จะเป็นผลให้ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์มีความน่าเชื่อถือด้วยเช่นกัน

#### 3.1 เครื่องมือเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานของผิวทางและค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย เริ่มต้นโดยการเก็บข้อมูลค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ซึ่งสามารถสำรวจได้จากเครื่องมือทดสอบเลเซอร์ความเร็วสูง (High-speed Laser Texture Measurement) แต่ในส่วน of ค่าความเสียดทานผิวทางรวบรวมได้จากเครื่องมือ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T -10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip และ เครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction Tester (DFT) จึงแบ่งประเภทของเครื่องมือเก็บข้อมูลของการวิจัยนี้ได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

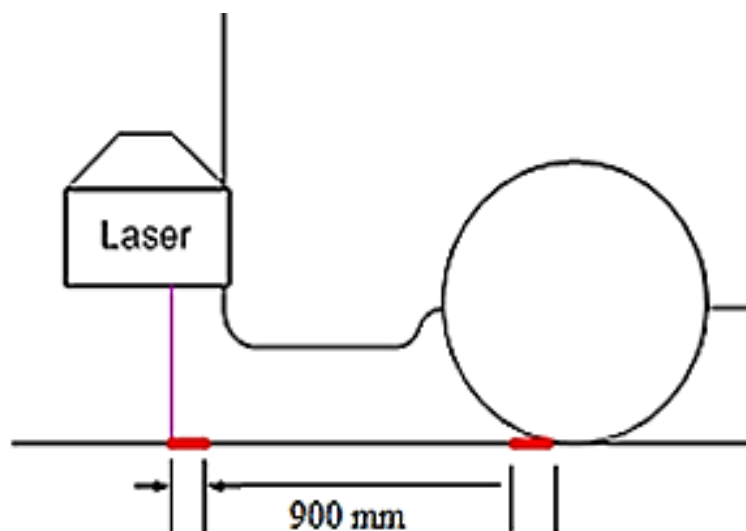
##### 3.1.1 High-speed Laser Texture Measurement

เครื่องมือทดสอบ High-speed Laser Texture Measurement เป็นการทดสอบแบบไม่สัมผัสผิวทาง สามารถใช้ในการเก็บข้อมูลลักษณะผิวทาง โดยประเมินพื้นผิวทางช่วงความสูง 0.25 มิลลิเมตร หรือต่ำกว่า เครื่องมือนี้สามารถวัดประเมินผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) ได้ในช่วง 0.5 – 50 มิลลิเมตร อ้างอิงจากหลักการในการทดสอบค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E 1845 (2009)

อุปกรณ์เลเซอร์โพสไฟล์ทำหน้าที่หลักในการตรวจวัดค่าเนื้อผิวทาง โดยการใช้การยิงลำแสงเลเซอร์ที่มีความถี่สูง 62,500 ครั้งต่อวินาที เพื่อวัดค่าความลึกของแต่ละจุดบนผิวทาง จากนั้นจึงจะส่งข้อมูลต่อไปยังโปรแกรมควบคุมหลักเพื่อบันทึกค่าและประมวลผลเป็นค่าความลึกโปรไฟล์เฉลี่ย ในการหาค่า MPD นั้น จะใช้อุปกรณ์เลเซอร์ในการวัดระยะห่างและบันทึกค่าโพสไฟล์ของผิวทาง โดยบันทึกเป็นช่วง (Segment) มีความยาวช่วงละ 100 มิลลิเมตร แต่ละช่วงห่างกัน 900 มิลลิเมตร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเก็บค่าโพสไฟล์สั้นๆ ทุก ระยะ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ในแต่ละช่วงจะเก็บค่าเลเซอร์โพสไฟล์ไม่น้อยกว่า 100



ตัวอย่างในระยะ 100 มิลลิเมตร ทั้งนี้การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเก็บข้อมูลมีดังตารางที่ 3.1



Segment Length = 100 mm.

Laser Data per Segment > 100 samples

รูปที่ 3.1 การบันทึกข้อมูลค่าโพไฟล์ของผิวทาง

ตารางที่ 3.1 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดโดยมาตรฐาน ASTM E 1845

พารามิเตอร์	ASTM E 1845 – 09
Samples Interval	น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร
Vertical Resolution	น้อยกว่า 0.05 มิลลิเมตร
Vertical Range	มากกว่า 20 มิลลิเมตร
Vertical Non Linearity	น้อยกว่า 2%
Angle: Emitting Device Surface Receiving Device	น้อยกว่า 30°
Segment Length	100 มิลลิเมตร ± 2 มิลลิเมตร
Maximum Laser Spot Size	น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร

ในการทดสอบอุปกรณ์เลเซอร์ความเร็วสูงจะถูกติดตั้งกับรถสำรวจ โดยข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา ทั้งนี้เพื่อควบคุมตัวแปรต่าง และตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมือ ก่อนการสำรวจจึงต้องมีการตรวจสอบสภาพทั้งเครื่องมือและยานพาหนะก่อนใช้งาน ซึ่งระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM E 1845 และ คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ High-speed Laser Texture Measurement



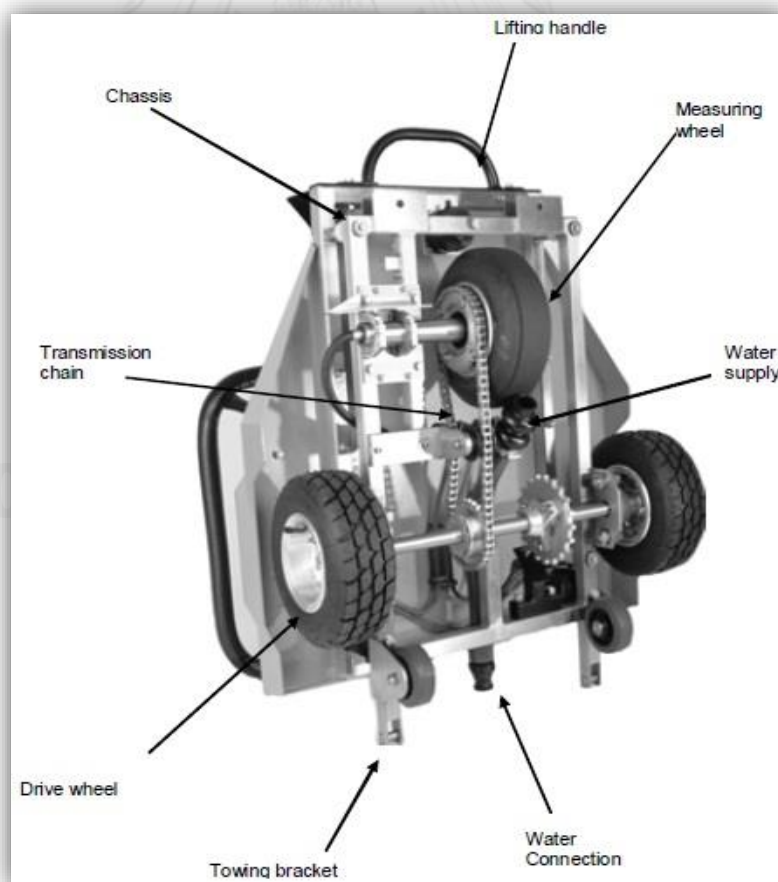
รูปที่ 3.2 ภาพการใช้เครื่องมือสำรวจ High-speed Laser Texture Measurement

### 3.1.2 Airport Surface Friction Tester T -10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip

เครื่องมือ ASFT-T-10 เป็นเครื่องมือวัดความเสียดทานของผิวทาง ชนิด Fixed Slip โดยมีหลักการคือทดสอบความฝืดระหว่างล้อยางของรถทดสอบกับผิวทางถนน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการสำรวจสภาพความเสียดทานทั้งผิวทางรันเวย์สนามบินและผิวทางถนนอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถสำรวจความเสียดทานผิวทางได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้ความเร็วสูงในการสำรวจข้อมูลได้ ตามมาตรฐาน ASTM E 275 (2013) แต่ในงานวิจัยนี้ อ้างอิงข้อมูลค่าความเสียดทานผิวทางที่สำรวจโดยเครื่องมือ ASFT-T-10 ในอดีตในช่วง พ.ศ. 2554 จากโครงการตรวจสอบสภาพความฝืดผิวทางของถนนลาดยางในประเทศไทย โดยสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง เพื่อนำมาทดสอบความสัมพันธ์กับค่า Mean Profile Depth ที่ได้จาก High-speed Laser Texture Measurement ในโครงการระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง กรมทางหลวง

### หลักการทดสอบค่าความเสียดทานของเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip

ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip เป็นการทดสอบความเสียดทานผิวทาง โดยวิธีวัดความฝืดระหว่างผิวทางถนนกับล้อยางของรถทดสอบ ที่มีลักษณะเป็นรถทดสอบพ่วง 2 ล้อ และล้อทดสอบ 1 ล้อ ติดตั้งอยู่กับเพลลา ดังรูปที่ 3.3 และมีกลไกที่ใช้ต้านทานการเคลื่อนที่โดยเกียร์ และระบบโซ่เชื่อมกับเพลาล้อขับเคลื่อน ทำให้เกิดการหน่วงที่ล้อทดสอบ กำหนดน้ำหนักที่กระทำลงบนล้อทดสอบในแนวตั้งเพื่อสามารถคำนวณแรงที่ตกลงบนพื้นผิวทาง อันเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อความเสียดทานที่จะทดสอบได้ ในการทดสอบจะทดสอบด้วยล้อในสภาพพื้นผิวเปียกที่ความเร็วคงที่ ด้วยการวัดแรงลื่นไถล สำหรับการทดสอบผิวทางในสภาพเปียก น้ำจะถูกเก็บสะสมไว้ที่ถังน้ำซึ่งอยู่บนรถลาก ต่อท่อกับวาล์วควบคุมหัวฉีดน้ำที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของล้อทดสอบ เพื่อปล่อยน้ำที่บริเวณล้อทดสอบ ควบคุมโดยชุดปั๊มที่ติดตั้งอยู่ในชุดรถทดสอบ เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ เมื่อเริ่มการวิ่ง ตัวรถทดสอบจะหดรอบของล้อยางรถทดสอบให้ต่ำกว่ารอบที่รถลากขณะวิ่ง จึงเป็นการจำลองการห้ามล้อแบบล้อไม่ตาย (Anti-Brake System) ทำให้สามารถทดสอบความเสียดทานตามยาวในลักษณะต่อเนื่องได้ (Continuous Longitudinal Friction)



รูปที่ 3.3 เครื่องมือ Fixed Slip: Grip Tester (Lorenz และ Choi, 2011)




การหาค่าความเสียหาย ของพื้นผิวจราจร โดยวิธีใช้รถตู้พ่วงอุปกรณ์ทดสอบ ความเสียหายที่สามารถวัดได้อย่างต่อเนื่องรุ่น ASFT-T-10 สามารถตรวจวัดค่าความผิดปกติจราจรได้ตามมาตรฐาน ISO 8349 ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ Fixed Slip

รายการ	รูปประกอบ
รถลาก และรถบรรทุกน้ำ ในงานวิจัยนี้ใช้รถตู้ในการทดสอบ	
ถังเก็บน้ำ ความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร	
ส่วนที่ใช้ทดสอบความผิดปกติของถนนของเครื่องมือ ASFT-10	



ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ Fixed Slip (ต่อ)

รายการ	รูปประกอบ
คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งมากับรถตู้ ใช้แสดงผล และสั่งการ	
ชุดควบคุมระบบ Hydraulic ของล้อวัดค่าความฝืดผิว จราจร	
ระบบล้อกลางที่ใช้ทดสอบ ความฝืดของถนน	

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ Fixed Slip (ต่อ)

รายการ	รูปประกอบ
คอมพิวเตอรืและชุดทดสอบ ASFT T-10	
Sensor ตรวจวัดอุณหภูมิ ติดตั้งบริเวณหน้ารถลาก	

### 3.1.3 Dynamic Friction Tester (DFT)

เครื่องมือทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) ชนิดนี้มีลักษณะเป็นเครื่องมือทดสอบแบบพกพา มีขนาดเล็ก และต้องอาศัยการปิดช่องจราจรช่วยในขณะทดสอบ เครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction Tester (DFT) ใช้ระบบวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้หลักการวัดแรงบิดของการหมุนน้ำหนักที่กดจากสปริงลงบนแผ่นยาง ในลักษณะเคลื่อนที่เป็นวงกลม บนพื้นผิวทางเปียกที่ความเร็วแตกต่างกัน เครื่องมือ DFT สามารถทดสอบได้ตั้งแต่ช่วงความเร็วต่ำหรือหยุดนิ่งจนถึงความเร็วสูงสุดถึง 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางนี้ ได้เลือกใช้เครื่องมือ Dynamic Friction Tester รุ่น NIPPONDFT ดังรูปที่ 3.4 โดยชุดทดสอบประกอบไปด้วย ตัวเครื่องมือ ชุดยางทดสอบ และแท่งก้น้ำขนาดเล็กซึ่งต่อกับระบบปั๊มของตัวเครื่องทดสอบเพื่อใช้ในการสเปรย์น้ำลงบนผิวทาง ทำให้เกิดเป็นฟิล์มเคลือบผิวทางขณะทดสอบ จึงสามารถทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) ที่ได้เป็นค่าวิกฤติที่มีค่าน้อยที่สุดในสภาวะผิวทางที่เปียก



รูปที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางแบบแปรผันความเร็วชนิด Dynamic Friction Tester (DFT)

การทดสอบเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD กับความเสียดทานผิวทาง ในการวิจัยนี้ได้เลือกเอาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) ที่วัดได้ ณ ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยอ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบและสำรวจความเสียดทานของผิวทางทั้งในและต่างประเทศ (ASTM E 1911, 2009) ระบุไว้ว่าความเร็วดังกล่าวนี้เป็นค่าที่เหมาะสมในการสำรวจ และเปรียบเทียบค่าระหว่างเครื่องมือวัดความเสียดทานผิวทางที่ได้รับผลจากระดับ Macro-texture และมีความเร็วไม่สูงเกินไปในการทำความเร็วเพื่อทดสอบ ทั้งนี้ในการวัดค่าความเสียดทานของผิวทาง อาศัยหลักการวัดทางกายภาพโดยตรงของการเคลื่อนที่ ณ ความเร็วต่างๆ กันของชิ้นยางทดสอบและ ให้ค่าความเสียดทานอย่างต่อเนื่องที่ความเร็วต่างๆ กัน ซึ่งมีความใกล้เคียงกับรูปแบบของความเสียดทานที่เกิดขึ้นจริงของยานพาหนะที่ขับขึ้นบนท้องถนน เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบเพื่อหาค่าความเสียดทานของผิวทางด้วยเครื่องทดสอบอื่นๆ แล้ว จะพบว่าเครื่องมือทดสอบนี้ให้ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายมากกว่าชนิดอื่นๆ แต่ในขณะที่ผลทดสอบยังคงความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบวัดด้วยค่าความเสียดทานกับค่า MPD โดยใช้ค่าความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบแบบแปรผันความเร็ว (DFT) ซึ่งเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือใช้เป็นตัวเปรียบเทียบวัด

- หลักการทดสอบค่าความเสียดทานผิวทางของเครื่องมือ Dynamic Friction Tester
 

การทดสอบหาค่าความเสียดทานโดยใช้เครื่องมือทดสอบแบบแปรผันตามความเร็ว (Dynamic Friction Tester) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบหาค่าความเสียดทานขนาดเล็กและสะดวกในการติดตั้ง โดยอ้างอิงมาตรฐานในการทดสอบตาม ASTM E 1991 (2009) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความสึกพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) ด้วยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement จะสามารถหาความสัมพันธ์และนำค่า MPD ไปใช้งานหรือเปรียบเทียบกับค่า  $\mu$  ได้

  - ขั้นตอนในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในภาคสนาม
    1. การเตรียมเครื่องมือทดสอบและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดสอบ ตามที่คู่มือการใช้งานได้ระบุไว้ ก่อนเริ่มต้นการทดสอบผู้ใช้ต้องตรวจสอบจำนวนครั้งในการใช้งานชุดชิ้นยางทดสอบ ให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ นั่นคือ มีการใช้งานมาไม่เกินกว่า 20 ครั้ง หากครบจำนวนครั้งดังกล่าวแล้ว ต้องเปลี่ยนชุดยางทดสอบใหม่ทุกครั้งก่อนใช้งาน
    2. เครื่องมือทดสอบรุ่น NIPPONDFT นี้ ได้รับการสอบเทียบโดยผู้ผลิตจากโรงงานแล้ว จึงมีจำเป็นต้องสอบเทียบก่อนการใช้งานแต่อย่างใด โดยให้ค่าความเสียดทาน ณ ความเร็วจำนวน 4 ค่าในการแสดงผลเมื่อทดสอบเสร็จสิ้นในแต่ละครั้ง โดยความเร็วดังกล่าวสามารถกำหนดได้ตั้งแต่ 0-80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในที่นี้ผู้วิจัยได้เลือก ณ ความเร็วที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
    3. การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในภาคสนาม โดยหลังจากการตั้งค่าเบื้องต้นในการใช้งาน และเครื่องทดสอบอยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน จึงนำเครื่องทดสอบไปยังบริเวณพื้นผิวทางที่จะทดสอบ ซึ่งในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับการศึกษานี้ได้ระบุตำแหน่งโดยการพนสีตามระยะทางซึ่งสัมพันธ์กับช่วงตำแหน่ง MPD ที่ต้องการสำรวจผิวทางหาความสัมพันธ์ โดยมีวิธีการทดสอบ ดังนี้
      - ก. เลือกตำแหน่งทดสอบที่มีความเรียบพอสมควร ให้ผิวสัมผัสหน้าของเครื่องทดสอบ DFT สัมผัสผิวทางอย่างเต็มที่ขณะทดสอบ เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากเครื่องทดสอบนั้นมีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น
      - ข. วางเครื่องทดสอบให้ตรงตำแหน่งกรอบอ้างอิงที่ได้ทำไว้ จากนั้นเริ่มการทดสอบโดย งานหมุนทดสอบที่ประกอบด้วยชิ้นยางทดสอบจะหมุนเพื่อทำความเร็วไปที่ความเร็วสูงสุดตามที่ได้ตั้งค่าไว้ จากนั้นแผ่นจานวงกลมซึ่งติดตั้งชิ้นยางทดสอบ จะถูกเลื่อนระดับลงมาพร้อมกับการฉีดกระจายน้ำจากถังเก็บลงบนผิวทางโดยอัตโนมัติ



เครื่องจะอ่านค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้ ณ ความเร็วสูงสุด จนถึงจุดค่าความเร็วเป็นศูนย์

- ค. ในการสำรวจ ต้องมีการพักเครื่องมือทดสอบทุกๆ การทดสอบ 12 ครั้ง เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 10 นาที ก่อนเริ่มการทดสอบครั้งถัดไป เพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์
- ง. การบันทึกข้อมูลจากการทดสอบจะแสดงในรูปแบบไฟล์สเปรดชีต



รูปที่ 3.5 การใช้งานเครื่องมือทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง แบบแปรผันความเร็วชนิด Dynamic Friction Tester (DFT)

3.2 การคัดเลือกสายทางเพื่อเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานจากเครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction Tester (DFT) และค่าความลึกโพรไฟล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement

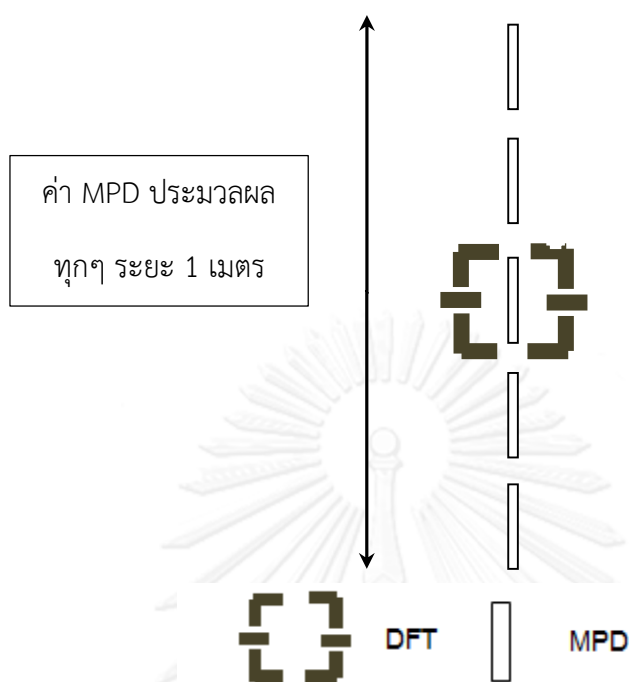
เพื่อให้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) สามารถอ้างอิงหรือหาความสัมพันธ์ไปยังค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง อันเป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดมาตรฐานงานวิศวกรรมจราจรด้านความปลอดภัยในหลายๆ ประเทศด้วยกัน ผู้วิจัยจึงพยายามศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า MPD ที่วัดได้จากเครื่องมือทดสอบเลเซอร์ความเร็วสูง (High-speed Laser Texture Measurement) กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากเครื่องมือวัดชนิดอื่น โดยผู้วิจัยได้

เลือกใช้เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบหาค่าความเสียดทานแบบแปรผันความเร็วซึ่งมีความสะดวกในการพกพา โดยมีรายละเอียดของการคัดเลือกสายทางตัวอย่างในการสำรวจดังนี้

### 3.2.1 การคัดเลือกสายทางและการกำหนดตัวอย่างในการทดสอบ

หลักการคัดเลือกสายทางคือ คำนึงถึงแนวทางการวิเคราะห์เพื่อให้ได้สายทางที่คัดเลือกเป็นตัวแทนที่เหมาะสมในการศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือกดังนี้

1. เลือกช่วงทดสอบบนทางตรงที่ผิวทางมีความสม่ำเสมอ (Homogenous) ตลอดช่วงการทดสอบ
2. คัดเลือกสายทางที่มีความยาวในช่วงแปลงทดสอบไม่น้อยกว่า 200 เมตร โดยเลือกช่วงที่เป็นเส้นตรง ไม่เป็นทางลาดชัน และควรมีช่วงทางตรงก่อนถึงแปลงทดสอบไม่น้อยกว่า 50 เมตร สำหรับให้เครื่องมือสามารถทำความเร็วได้ก่อนเข้าแปลงทดสอบ
3. เลือกสายทางที่มีปริมาณการจราจรใกล้เคียงกันทั้ง 4 แปลงทดสอบ โดยพิจารณาที่ปริมาณการจราจรน้อย โดนเลือกปริมาณรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 800-1,000 เพื่อลดผลกระทบจากความแตกต่างของปริมาณการจราจร
4. เนื่องจากถนนในประเทศไทย ทั้งของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทนั้น ชนิดของผิวทางมีอยู่หลากหลายชนิด แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกเฉพาะผิวทางลาดยางเท่านั้น เนื่องจากการเสื่อมสภาพของค่าความเสียดทานเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยาง ต่างจากผิวทางคอนกรีตที่มีภูมิเหตุมาจากปัจจัยอื่น
5. การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือ DFT นั้น จะเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ณ ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในการทดสอบ โดยทำตำแหน่งละ 1 ครั้ง แปลงทดสอบจะต้องสามารถวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบค่าได้โดยจำนวนตัวอย่างทดสอบไม่น้อยกว่า 25 จุด จำนวนรวมไม่น้อยกว่า 100 จุด
6. การทดสอบค่า Mean Profile Depth จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement ข้อมูลดิบที่ได้จะเป็นค่าความลึกผิวทางทุกระยะ 10 เซนติเมตร จากนั้นจึงหาค่า Moving Average ในช่วง 25 เมตร เพื่อลดความคลาดเคลื่อน
7. เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mean Profile Depth และค่าความเสียดทานจากเครื่องมือ DFT โดยสำรวจค่า MPD ก่อนเนื่องจาก เครื่องมือทดสอบ High-speed Laser Texture Measurement ไม่ทำความเสียหายผิวทางที่สำรวจ ต่างจากเครื่องมือ DFT ซึ่งทำให้ผิวทางที่ทดสอบหลุดล่อน ในตำแหน่งเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3.6



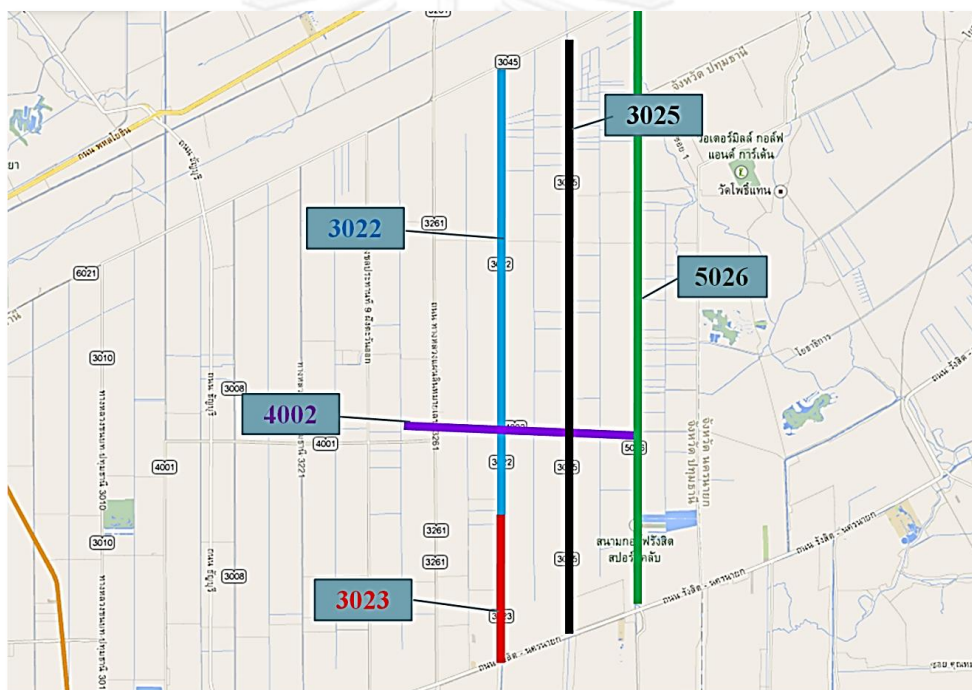
รูปที่ 3.6 แนวการวิ่งของเครื่องมือทดสอบ High-speed Laser Texture Measurement ผ่านตำแหน่งเดียวกับจุดทดสอบเครื่องมือ DFT

### 3.2.2 สายทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลทั้งสิ้น 5 สายทาง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทั้ง 2 เครื่องมือ โดยในแต่ละสายทางทดสอบมีรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) สายทางที่เก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement เพื่อตรวจวัดค่า MPD ควรเป็นสายทางแบบต่อเนื่องสายทางละ 1 กิโลเมตร
- 2) เครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) ชนิด แปรผันตามความเร็ว (DFT) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดและให้ค่าแบบจุด โดยในการเก็บข้อมูลนี้ตรวจวัดค่า  $\mu$  สายทางละ 20 จุดทดสอบเป็นอย่างน้อย รวมเป็น 113 จุดทดสอบ โดยมีรายละเอียดในการสำรวจข้อมูลดังนี้
  - สายทางที่ 1 รหัสสายทาง ปท.3022
  - สายทางที่ 2 รหัสสายทาง ปท.3023
  - สายทางที่ 3 รหัสสายทาง ปท.3025
  - สายทางที่ 4 รหัสสายทาง ปท.4002
  - สายทางที่ 5 รหัสสายทาง ปท.5026

การเก็บข้อมูลภาคสนาม สายทางทั้ง 5 ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลนี้เป็นสายทาง ณ พื้นที่ในบริเวณจังหวัดปทุมธานี ช่วงคลองรังสิตตั้งแต่ คลอง 11 ถึง คลอง 13 ซึ่งสายทางมีลักษณะเป็นถนนเลียบบคลอง มีปริมาณจราจรน้อย ทำให้สามารถควบคุมความเร็วและตำแหน่งของการตรวจวัดโดยเลเซอร์ให้ตรงกับตำแหน่งที่ระบุ เพื่อให้ได้ข้อมูลค่า MPD ในตำแหน่งเดียวกับการทดสอบด้วยเครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) อีกทั้งเลือกทำการสำรวจบนสายทางทั้งที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท โดยพิจารณาให้ครอบคลุมและได้ช่วงสายทางที่มีคุณภาพในหลายระดับตามที่ต้องการทดสอบ เป็นไปตามเกณฑ์การคัดเลือกที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอน ตำแหน่งของสายทางแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 พื้นที่คัดเลือกเป็นแปลงเก็บข้อมูล

### 3.3 การรวบรวมข้อมูลความเสียหายจากเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip กับข้อมูล MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement

ข้อมูลในส่วนนี้เป็นข้อมูลประวัติค่าความเสียหายผิวทางและ ประวัติค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยที่มีการสำรวจในโครงการสำรวจก่อนหน้าแล้ว ซึ่งข้อมูลค่าความเสียหายผิวทางนั้น สำรวจโดยเครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip สามารถตรวจวัดค่าความผิดผิวจราจรได้ตามมาตรฐาน ISO 8349 โดยผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากโครงการตรวจสอบสภาพความผิดผิวทางของถนนลาดยางในประเทศไทยโดยสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง

ส่วนข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement ตรวจวัดค่าความลึกโพรไฟล์ตามมาตรฐาน ASTM E 1845 (2009) ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง กรมทางหลวง โดยข้อมูลทั้งสองเป็นข้อมูลที่เก็บบนสายทางเดียวกัน ช่องทางจราจรเดียวกัน แต่อาจมีความคลาดเคลื่อน ณ ตำแหน่งร่องล้อที่สำรวจ อีกทั้งการสำรวจข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยนั้นสำรวจก่อนค่าความเสียหายผิวทางด้วยเครื่องมือ Fixed Slip ประมาณ 4-5 เดือน

การคัดเลือกสายทางและการกำหนดตัวอย่างในการเก็บข้อมูล

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้สำรวจความเสียหายผิวทางแบบต่อเนื่องหรือเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip เป็นเครื่องมือที่มีจำกัดในประเทศไทย เนื่องจากเครื่องมือมีราคาแพงและต้นทุนการดำเนินการสูง เป็นผลให้ไม่สามารถจัดหาเครื่องมือเพื่อสำรวจในแปลงทดสอบที่จัดเตรียมไว้ได้ ดังนั้นข้อมูลสายทางที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ เป็นข้อมูลความเสียหายผิวทางและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยในอดีตที่มีการเก็บรวบรวมไว้แล้ว โดยขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูลดังนี้

- 1) รวบรวมข้อมูลความเสียหายผิวทางจากฐานข้อมูล ดังแสดงตัวอย่างระบบฐานข้อมูลในรูปที่ 3.8 ซึ่งจัดทำโดยโครงการตรวจสอบสภาพความผิผิวทางของถนนลาดยางในประเทศไทย ของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ซึ่งมีข้อมูลระยะทางการวิ่งโดยเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip เป็นระยะทางทั้งหมด 11,921.89 กิโลเมตร โดยแยกตามสำนักทางหลวง 17 สำนัก อยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 และปี พ.ศ. 2555

The screenshot shows a web application for the Department of Highways (กรมทางหลวง) and the Research and Development Center (สำนักวิจัยและพัฒนาทาง). The interface includes a search bar, a table of road damage data, and a video player.

เลขที่สายทาง	ระยะทาง (กม.)
320 สายทางเลขที่ 14 นครราชสีมา	1291.90
440 สายทางเลขที่ 10 เชียงใหม่	933.20
640 สายทางเลขที่ 3 หนองคาย	930.70
330 สายทางเลขที่ 2 นนทบุรี	864.80
430 สายทางเลขที่ 9 นคร	849.50
420 สายทางเลขที่ 12 นครศรีธรรมราช	839.00
910 สายทางเลขที่ 4 พิษณุโลก	823.60
330 สายทางเลขที่ 13 นครศรีธรรมราช	792.40
920 สายทางเลขที่ 1 เชียงใหม่	763.10
620 สายทางเลขที่ 5 นครราชสีมา	638.90
156 สายทางเลขที่ 16 นครราชสีมา(พิเศษ)	633.30
185 สายทางเลขที่ 18 นครราชสีมา	544.90
630 สายทางเลขที่ 7 นครราชสีมา	505.50
610 สายทางเลขที่ 8 นครราชสีมา	474.40
310 สายทางเลขที่ 15 นครราชสีมา	448.40
550 สายทางเลขที่ 6 นครราชสีมา	426.50
152 สายทางเลขที่ 17 นครราชสีมา	286.30

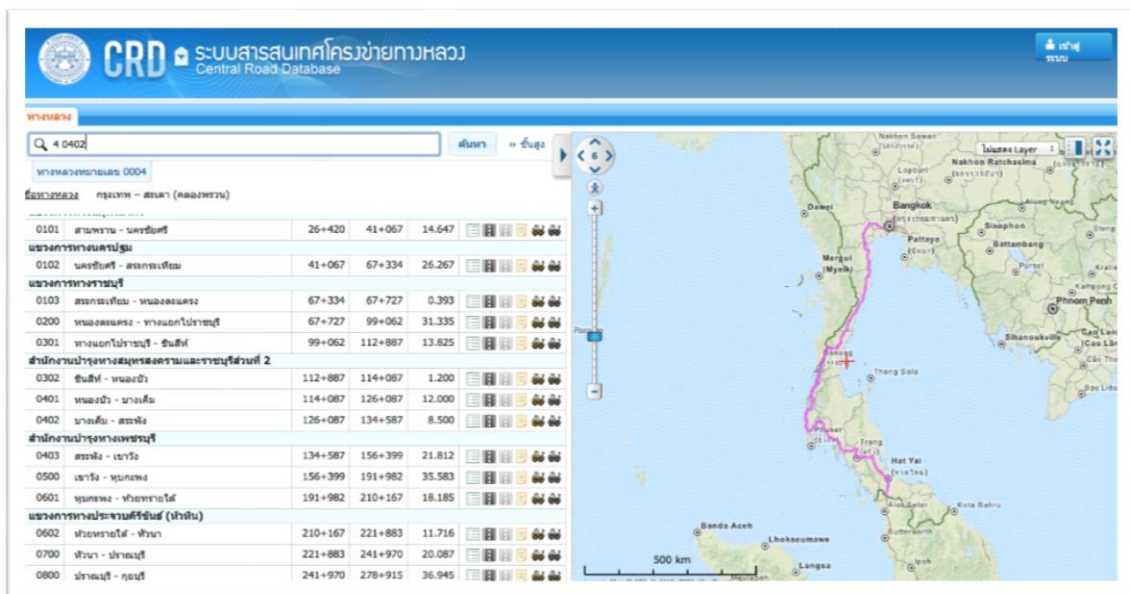
ข้อมูลสายทางทั้งหมด: 11,921.89 กม.

กรมทางหลวง  
สำนักวิจัยและพัฒนาทาง  
DEPARTMENT OF HIGHWAYS  
กรมการขนส่งทางหลวง ถนนพหลโยธิน แขวงสามยุค กรุงเทพมหานคร 10710 โทร. 02-1440000 | Demonstration By Air

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างฐานข้อมูลความเสียหายผิวทาง (โครงการตรวจสอบสภาพความผิผิวทางของถนนลาดยางในประเทศไทย, 2554)



2) รวบรวมข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย จากระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ทาง <http://roadnet.doh.go.th/crd2> ดังแสดงตัวอย่างระบบฐานข้อมูลในรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยสำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement ทั่วประเทศไทยกว่า 60,000 กิโลเมตร



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างฐานข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (ระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง, 2555)

3) จากข้อมูลที่รวบรวมในข้อ 1 และ 2 ซึ่งอยู่ในรูปแบบดิจิทัลไฟล์ ทำให้สะดวกในการนำมาคัดกรองสายทางเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง อันเกิดจากการเก็บข้อมูลที่ใหม่พร้อมกัน เพื่อการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ มีเกณฑ์การคัดกรองดังนี้

- เลือกเฉพาะสายทางที่ผิวทางเป็นชนิดลาดยาง เนื่องจากสายทางส่วนมากในประเทศไทยเป็นสายทางลาดยาง และปัญหาค่าความเสียหายผิวทางต่ำเป็นปัญหาสำคัญของสายทางชนิดนี้
- เลือกข้อมูลความเสียหายของผิวทางและค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยที่อยู่บนสายทางและช่องจราจรเดียวกัน
- เลือกสายทางที่รถสำรวจทั้งสองวิ่งสำรวจในช่องจราจรซ้ายสุด เพราะเป็นบริเวณที่มีการกดทับของล้อมากที่สุด
- อ้างอิงตำแหน่งจากหลักกิโลเมตร โดยให้การวิ่งสำรวจของรถทั้งสองเริ่มและสิ้นสุดในหลักกิโลเมตรเดียวกัน
- เลือกสายทางที่เวลาสำรวจต่างกันไม่เกิน 5 เดือน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากเวลา

- เลือกเฉพาะสายทางที่เป็นทางตรง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่

จากการคัดกรองข้อมูลประวัติสายทางที่รวบรวม ทั้งข้อมูลความเสียหายผิวทางและความสึกพรไพล์เฉลี่ยที่ได้จากโครงการของกรมทางหลวงที่ได้ทำการสำรวจมาแล้ว โดยใช้เกณฑ์ที่กล่าวมาในขั้นต้น ได้ข้อมูลทั้งหมดจำนวน 4 สายทาง โดยมีรายละเอียดของสายทางที่คัดกรองได้ดังนี้

- 1) แขวงทางหลวง 337 หมายเลขทางหลวง 0004 ตอนควบคุม 401 ตอนควบคุมย่อย 1 กิโลเมตรที่ 126 ถึง 134 และ กิโลเมตรที่ 121 ถึง 126
- 2) แขวงทางหลวง 337 หมายเลขทางหลวง 0004 ตอนควบคุม 402 ตอนควบคุมย่อย 1 กิโลเมตรที่ 126 ถึง 134
- 3) แขวงทางหลวง 611 หมายเลขทางหลวง 0202 ตอนควบคุม 0202 ตอนควบคุมย่อย 1 กิโลเมตรที่ 30 ถึง 50
- 4) แขวงทางหลวง 611 หมายเลขทางหลวง 0205 ตอนควบคุม 0700 ตอนควบคุมย่อย 1 กิโลเมตรที่ 339 ถึง 343

### 3.4 ผลการเก็บข้อมูล

เนื่องจากการวิจัยนี้ได้แบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ข้อมูลภาคสนามอันประกอบด้วย ค่าความเสียหายจากเครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction Tester (DFT) และ ค่าความสึกพรไพล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement กับข้อมูลประวัติสายทางอันประกอบด้วย ข้อมูลความเสียหายจากเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip และ ข้อมูล MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement จึงแสดงผลข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้ เป็น 2 ส่วน ดังนี้

#### 3.4.1 การเก็บข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ( $\mu$ ) ด้วยเครื่องมือ DFT และค่าความสึกพรไพล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement

จากแนวทางการคัดเลือกพื้นที่เก็บข้อมูลเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาความสัมพันธ์ โดยใช้เครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement เพื่อเก็บข้อมูลค่า MPD ซึ่งกำหนดเส้นทางผ่านตามจุดที่ระบุตำแหน่งของเครื่องมือ DFT ไว้ และการเก็บข้อมูล MPD จะเลือกข้อมูลที่บันทึก ณ ความเร็วในการทดสอบที่ประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่เนื่องจากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement เป็นการเก็บข้อมูลด้วยความเร็วสูง จึงอาจมีความผิดพลาดด้านตำแหน่งที่ระบุ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement มีลักษณะเป็นข้อมูลต่อเนื่องทุกๆ 10 เซนติเมตร จึงนำข้อมูลค่า MPD ที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average) เพื่อลดความคาดเคลื่อนของตำแหน่ง โดยคำนวณค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ทุกระยะ 25 เมตร เป็นผลให้สามารถเปรียบเทียบค่าความสึกพรไพล์เฉลี่ย ณ ตำแหน่งเดียวกับเครื่องมือ DFT ได้

จากนั้นจึงเก็บข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางโดยเครื่องมือ DFT ซึ่งกำหนดความเร็วของการทดสอบค่าความเสียหายไว้ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเช่นกัน ในการทดสอบค่าความเสียหายจะให้ข้อมูลเป็นจุด โดย 1 ตำแหน่ง อ่านค่า 1 ครั้ง ได้ผลการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 113 ตัวอย่าง จาก 5 สายทาง มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3 แสดงคู่อันดับระหว่างค่าความเสียหายผิวทางจากเครื่องมือ DFT และค่า MPD ในสายทางต่างๆ

ตารางที่ 3.3 ผลการเก็บข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายและค่า MPD

สายทางที่ 3023			สายทางที่ 4002			สายทางที่ 3022			สายทางที่ 3025			สายทางที่ 5026		
	DFT	MPD (มม.)		DFT	MPD (มม.)		DFT	MPD (มม.)		DFT	MPD (มม.)		DFT	MPD (มม.)
1	0.42	1.300	24	0.33	1.201	47	0.46	1.179	75	0.53	1.341	93	0.47	2.039
2	0.51	1.316	25	0.3	1.215	48	0.45	1.756	76	0.39	1.604	94	0.38	1.629
3	0.43	1.537	26	0.37	1.228	49	0.55	1.627	77	0.4	1.735	95	0.46	2.023
4	0.37	2.029	27	0.39	1.213	50	0.49	1.618	78	0.39	1.749	96	0.38	2.169
5	0.38	1.869	28	0.4	1.262	51	0.53	2.136	79	0.44	1.568	97	0.36	1.547
6	0.39	1.494	29	0.3	1.315	52	0.46	1.332	80	0.51	1.550	98	0.44	2.202
7	0.4	1.653	30	0.41	1.688	53	0.42	1.572	81	0.41	1.392	99	0.39	2.098
8	0.38	2.141	31	0.41	1.663	54	0.43	1.358	82	0.44	1.334	100	0.4	2.040
9	0.36	1.542	32	0.39	1.405	55	0.4	1.754	83	0.41	1.673	101	0.38	1.992
10	0.4	1.578	33	0.43	1.472	56	0.53	1.382	84	0.39	1.802	102	0.42	2.063
11	0.36	2.070	34	0.46	1.252	57	0.45	1.347	85	0.45	1.792	103	0.42	2.683
12	0.39	1.634	35	0.38	1.193	58	0.53	1.675	86	0.46	1.658	104	0.45	2.945
13	0.41	1.598	36	0.32	1.208	59	0.45	1.438	87	0.47	1.484	105	0.42	2.128
14	0.38	1.889	37	0.51	1.327	60	0.56	1.450	88	0.38	1.658	106	0.44	1.865
15	0.37	2.109	38	0.45	1.364	61	0.59	1.487	89	0.41	1.723	107	0.44	1.876
16	0.39	1.953	39	0.45	1.256	62	0.48	1.675	90	0.45	1.820	108	0.42	2.464
17	0.38	2.052	40	0.43	1.428	63	0.52	1.373	91	0.37	1.934	109	0.45	2.126
18	0.4	1.773	41	0.44	1.444	64	0.49	1.468	92	0.38	1.579	110	0.46	2.547



ตารางที่ 3.3 ผลการเก็บข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่า MPD (ต่อ)

สายทางที่ 3023			สายทางที่ 4002			สายทางที่ 3022			สายทางที่ 3025			สายทางที่ 5026		
	DFT	MPD (มม.)		DFT	MPD (มม.)		DFT	MPD (มม.)		DFT	MPD (มม.)		DFT	MPD (มม.)
19	0.38	1.679	42	0.44	1.337	65	0.47	1.560				111	0.45	2.331
20	0.39	1.955	43	0.34	1.295	66	0.5	1.496				112	0.46	2.446
21	0.4	2.046	44	0.4	1.335	67	0.46	1.755				113	0.43	1.997
22	0.37	1.828	45	0.29	1.319	68	0.45	1.787						
23	0.42	1.552	46	0.3	1.342	69	0.38	1.344						
						70	0.51	1.554						

ข้อสังเกตเบื้องต้นจากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือ DFT คือ การทดสอบซ้ำโดยเครื่องมือ DFT ณ ตำแหน่งจุดทดสอบเดิมนั้นไม่สามารถทำได้ ทั้งนี้ เนื่องจากลักษณะของผิวทางที่ผ่านการทดสอบแล้วจะมีการหลุดลอกของวัสดุผิวหน้าบางส่วน ซึ่งสาเหตุมาจากเครื่องมือที่ทดสอบมีความเร็วค่อนข้างสูงและทดสอบในระยะเวลาอันสั้น ทำให้ผิวทางที่ทดสอบได้รับความเสียหาย เป็นผลให้ความเสียดทานไม่สามารถทดสอบซ้ำได้ นอกจากนี้ เนื่องจากการทดสอบด้วยเครื่องมือ DFT ต้องพ่นน้ำลงบนพื้นผิวทดสอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกผิวทดสอบที่มีลักษณะแห้งก่อนหน้าการเก็บข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากการทดสอบบนผิวที่เปียกอยู่แล้ว ผลที่ได้จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงเนื่องจากมีปริมาณฟิล์มน้ำที่ผิวขณะทดสอบมีมาก

3.4.2 ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $\mu$ ) ด้วยเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip และค่าความลึกโพรไฟล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement

สำหรับข้อมูลส่วนที่สองเป็นประวัติค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานผิวทาง ( $\mu$ ) จากเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip และข้อมูลประวัติค่า MPD ที่ได้จากเครื่อง High-speed Laser Texture Measurement โดยกรมทางหลวง เนื่องจากความไม่พร้อมของอุปกรณ์ รวมถึงงบประมาณที่จำกัด การสำรวจค่า MPD จึงถูกเก็บรวบรวมก่อนการสำรวจข้อมูลความเสียดทานผิวทาง 4-5 เดือน ดังนั้นเพื่อที่จะลดข้อผิดพลาดจากการเปรียบเทียบข้อมูลในตำแหน่งที่แตกต่างกัน จึงเลือกข้อมูลจากตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันที่สุด โดยอ้างอิงจากหลักกิโลเมตรในสายทางนั้นๆ อีกทั้งเลือกเส้นทางเดียวกันและช่องทางเดียวกันเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ประวัติค่า MPD และความเสียดทานผิวทางที่ได้จากการรวบรวม

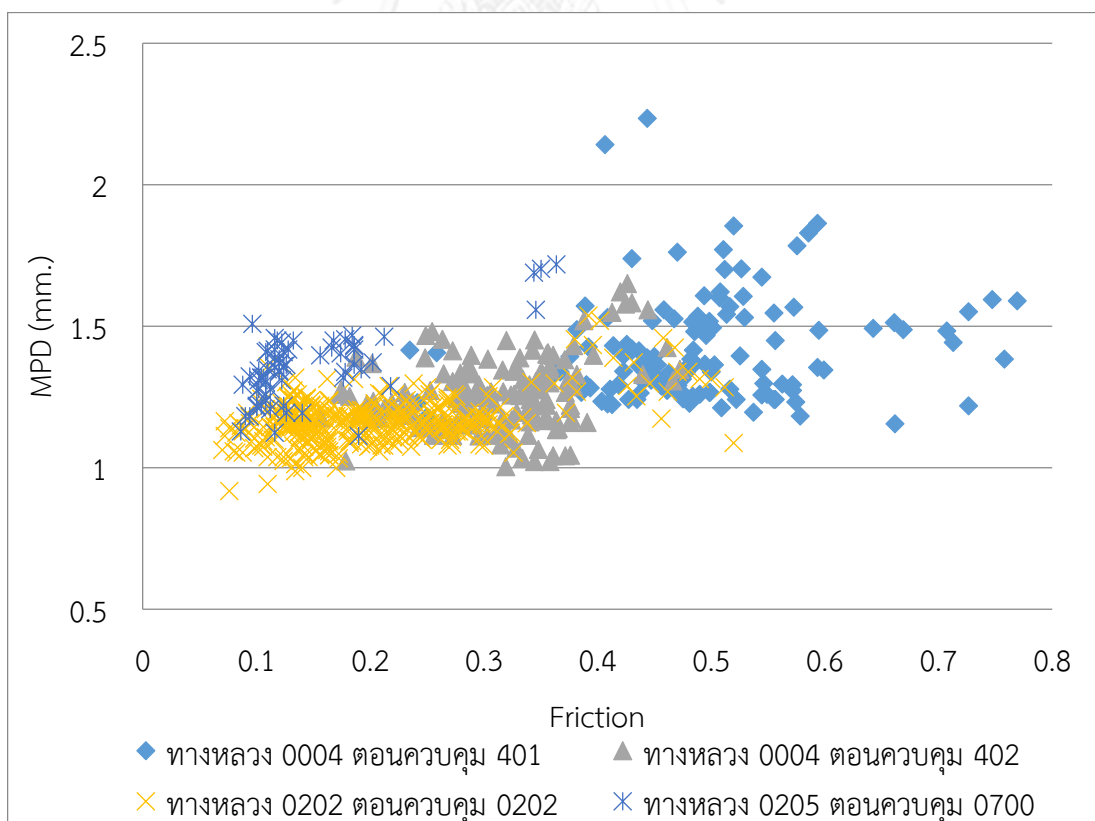
จากกรมทางหลวงมีลักษณะการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยค่า MPD เป็นข้อมูลทุกๆระยะ 25 เมตร แต่ข้อมูลความเสียหายผิวทางเป็นข้อมูลทุกๆระยะ 10 เมตร ดังนั้นจึงใช้การคำนวณโดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) ในทุก 50 เมตร ใช้การอ้างอิงตำแหน่งจากหลักกิโลเมตร (ช่อง STA ในตารางที่ 3.4) โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 3.4 รวมกับการคัดเลือกสายทางดังที่กล่าวมาให้หัวข้อ 3.3 เพื่อลดผลกระทบของข้อผิดพลาดในด้านตำแหน่ง เป็นผลให้มีเพียง 722 ตัวอย่างจาก 4 สายทางที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์นี้ โดยได้ผลการสำรวจดังรูปที่ 3.10 โดยแกนตั้งแสดงค่า MPD กับ แกนนอนแสดงค่าความเสียหายผิวทาง ซึ่งทั้งสองค่าใช้การคำนวณโดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แล้ว และกำหนดรูปแบบของจุดที่ต่างกัน เพื่อแยกแต่ละสายทาง ข้อมูลที่ได้ค่า MPD ส่วนมากอยู่ในช่วง 1-2 มิลลิเมตร ค่าความเสียหายอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1-0.6

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณโดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average)

STA	Friction	MAvg. Friction	STA	MPD	MAvg. MPD
114.09	0.27		114.091	1.15	
114.10	0.24		114.116	1.2	
114.11	0.23		114.141	1.16	1.232
114.12	0.26		114.166	1.16	
114.13	0.24		114.191	1.49	1.418
114.14	0.26	0.24	114.216	1.64	
114.15	0.24		114.241	1.64	1.526
114.16	0.28		114.266	1.45	
114.17	0.22		114.291	1.41	1.408
114.18	0.23		114.316	1.44	
114.19	0.19	0.23	114.341	1.1	1.182
114.20	0.19		114.366	0.95	
114.21	0.19		114.391	1.01	1.254
114.22	0.26		114.416	1.24	
114.23	0.31		114.441	1.97	1.74
114.24	0.21	0.24	114.466	1.55	
114.25	0.23		114.491	1.56	
114.26	0.24				
114.27	0.25				
114.28	0.27				
114.29	0.3	0.26			
114.30	0.32				

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณโดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (ต่อ)

STA	Friction	MAvg. Friction	STA	MPD	MAvg. MPD
114.31	0.25				
114.32	0.27				
114.33	0.26				
114.34	0.24	0.25			
114.35	0.24				
114.36	0.2				
114.37	0.21				
114.38	0.16				
114.39	0.3	0.30			
114.40	0.35				
114.41	0.36				
114.42	0.4				
114.43	0.43				
114.44	0.44	0.43			



รูปที่ 3.10 ผลการสำรวจข้อมูลประวัติความเสียหายและ MPD

### 3.5 สรุปผลการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียดทานของผิวทางกับค่า MPD ได้รวบรวมข้อมูลซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชุด คือ ข้อมูลความสัมพันธ์ที่สำรวจค่าความเสียดทานจากเครื่องมือทดสอบ Dynamic Friction Tester (DFT) กับค่า MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement และข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างประวัติค่าความเสียดทานจากเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip กับข้อมูลประวัติค่า MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement โดยข้อมูลทั้ง 2 อ้างอิงการใช้เครื่องมือตามมาตรฐานสากล รวมถึงมีการคัดเลือกสายทางตัวอย่างเพื่อให้ได้สายทางที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ทำให้ได้จำนวนข้อมูลตัวอย่างจากการสำรวจภาคสนาม 113 ตัวอย่าง จาก 5 สายทาง และข้อมูลจากประวัติสายทางต่างๆ ที่ได้รับการสำรวจไว้แล้วจำนวน 722 ตัวอย่างจาก 4 สายทาง

แต่จากการรวบรวมข้อมูลพบว่า การระบุตำแหน่งที่สำรวจทั้งค่า MPD และค่าความเสียดทาน ให้ตำแหน่งของค่าทั้ง 2 ตรงกันนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเป็นการสำรวจที่ให้ความเร็วสูง จึงต้องใช้การคำนวณโดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) ในทั้ง 2 ชุดข้อมูล อีกทั้งในข้อมูลประวัติค่าความเสียดทานเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip กับข้อมูลประวัติค่า MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement มีความคลาดเคลื่อนจากเวลาที่สำรวจไม่ตรงกัน แต่ด้วยข้อมูลค่า MPD จัดเก็บก่อนค่าความเสียดทานผิวทางจากเครื่องมือ ASFT-T-10 เป็นผลให้ ณ เวลาเดียวกับที่เก็บข้อมูลค่า MPD ค่าความเสียดทานจะมีค่ามากกว่าที่แสดงในข้อมูลชุดนี้ จึงยังสามารถนำข้อมูลชุดดังกล่าวไปวิเคราะห์เพื่อจุดประสงค์ในการคัดกรองค่าความเสียดทานโดยอาศัยค่า MPD ได้

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลความเสียดทานผิวทาง และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ใช้วิธีทางสถิติพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $\rho$ ) หลังจากนั้นใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (t-test for one sample) โดยแบ่งเป็น 2 ชุดข้อมูล ตามประเภทเครื่องมือสำรวจค่าความเสียดทานของผิวทางที่แตกต่างกัน ได้แก่

- ความเสียดทานผิวทางสำรวจโดยเครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยสำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement
- ความเสียดทานผิวทางสำรวจโดยเครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T - 10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip และค่าความลึกโพรไฟล์สำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement

#### 4.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเสียดทานผิวทางสำรวจโดยเครื่องมือ DFT และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยสำรวจโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) ด้วยเครื่องมือทดสอบ DFT ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือชนิดนี้เป็นเครื่องมือเปรียบเทียบวัด (Benchmarking) นั้นหมายถึงเครื่องทดสอบ DFT ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีค่าความน่าเชื่อถือมากใช้เป็นตัวแปรต้นในการเปรียบเทียบวัด จากการทดสอบสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ มีรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลจากการทดสอบจากภาคสนามของความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) จากเครื่องมือ DFT และค่า MPD จากเครื่องมือทดสอบ High-speed Laser Texture Measurement ที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.4 พบว่าความสัมพันธ์ในภาพรวมระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ได้จากเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด ค่อนข้างกระจายตัว แต่จะสังเกตได้ว่าที่ค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ค่าความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) จะไม่ต่ำกว่า 0.35 แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาต้องเป็นไปตามหลักทางสถิติ ดังนั้น เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบทางสถิติโดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) ที่ได้จากเครื่องมือ DFT และค่า MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement จากผลทดสอบภาคสนามในหัวข้อ 3.4 ซึ่งข้อมูลทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ตัวพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเป็น 0.004 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก และมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งหมายความว่าบนพื้นฐานข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ความเสียดทานของผิวทางจากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement และ Dynamic Friction Tester (DFT) ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

Correlations		
	DFT60	MPD
DFT60	Pearson Correlation	1
	Sig. (2-tailed)	.966
	N	113
MPD	Pearson Correlation	.004
	Sig. (2-tailed)	.966
	N	113

แต่ทางที่ผู้วิจัยได้มีข้อสังเกตเบื้องต้นในการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) จากเครื่องมือ DFT และค่า MPD จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement พบว่า ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ไม่มีค่าความเสียดทานผิวทางน้อยกว่า 0.35 จึงมีแนวคิดที่จะใช้ค่า MPD เพื่อคัดกรองค่าความเสียดทานของผิวทาง จึงใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) โดยกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนไม่มาก ( $n < 200$ ) ซึ่งข้อมูลชุดนี้มีจำนวน 113 ตัวอย่าง จึงถือเป็นกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กในการวิจัยทางการศึกษา การทดสอบนี้ใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ( $\bar{x}$ ) นำไปเปรียบเทียบกับ ค่าเกณฑ์ที่ตั้งขึ้นแล้ว ( $\mu$ ) หรือค่าตัวเลขค่าหนึ่งซึ่งผู้วิจัยถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มเพื่อนำมาสรุปว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลตัวอย่างมีความแตกต่าง หรือสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งขึ้นหรือไม่ โดยสูตรที่ใช้คือ

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \text{ โดยมี } df = n - 1 \quad \text{สมการที่ (4.1)}$$

เมื่อ  $\bar{x}$  แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลดิบ

$\mu_0$  แทนเกณฑ์ที่ตั้งขึ้น

S แทนความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูลดิบ

n แทนจำนวนข้อมูล

df แทนขั้นแห่งความเป็นอิสระ (Degree of Freedom)

โดยต้องอยู่บนสมมติฐานเบื้องต้นดังนี้

- 1) กลุ่มตัวอย่างได้รับการสุ่มเลือกมาจากกลุ่มประชากรที่มีการแจกแจงเป็นปกติ
- 2) ค่าของตัวแปรตามแต่ละหน่วยเป็นอิสระต่อกัน
- 3) ไม่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร
- 4) กลุ่มตัวอย่างมีขนาดมากกว่า 30 และไม่เกิน 200 ตัวอย่าง

จากนั้นตั้งสมมติฐานทางสถิติ 2 แบบ คือ

- สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis:  $H_0$ )
- สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis:  $H_1$ )

ในที่นี้คือวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตรเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ ค่าเกณฑ์ที่ตั้งขึ้นแล้ว นั่นคือความเสียหายผิวทาง ( $\mu$ ) จากเครื่องมือ DFT ที่ 0.35 โดยต้องการศึกษาว่า จากข้อมูลทั้งหมด 113 ตัวอย่างทดสอบ จาก 5 สายทาง ณ ตำแหน่งที่ MPD มีค่ามากกว่า 1.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าความเสียหายผิวทางมากกว่า 0.35 จึงได้ทดลองใช้วิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่างกับ ตำแหน่งที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีจำนวน 70 ตำแหน่ง และกำหนด  $H_0$  และ  $H_1$  ดังนี้

$$H_0: \mu \leq \mu_0 = 0.35$$

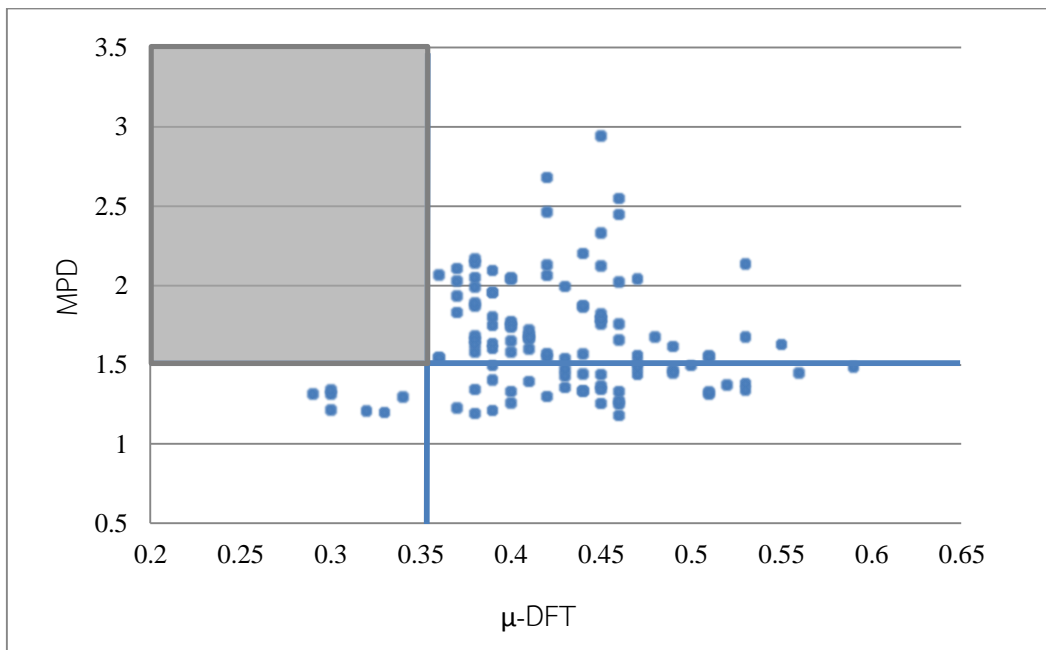
$$H_1: \mu > 0.35$$

กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ  $\alpha = 0.01$  หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ได้ผลการทดสอบด้วยวิธีค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean		
DFT60	70	.4220	.04432	.00530		
	Test Value = 0.35					
			Sig. (one-tailed)	Mean Difference	99% Confidence Interval	
	t	df			Lower	Upper
DFT60	79.668	69	.000	.42200	.4080	.4360

ซึ่งจากตารางค่าวิกฤต t พบว่า ที่  $\alpha = 0.01$  การทดสอบแบบหางเดียว (One-tailed Test) ซึ่ง  $df = 69$  มีค่าวิกฤต  $t = 2.3901$  เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า  $t$  ที่ได้จากการคำนวณกับค่าวิกฤต  $t$  ที่ได้จากรายการ  $t = 79.669 >$  ค่าวิกฤต เห็นได้ว่าค่า  $t$  ที่ได้จากการคำนวณมากกว่าค่าวิกฤตจึงเป็นการปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  คือ ณ ตำแหน่ง MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าความเสียหายผิวทางมากกว่า 0.35 ในระดับความเชื่อมั่น 99 %



รูปที่ 4.1 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าความเสียหายผิว และค่า MPD

จากการอ้างอิงถึงเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพึงระวังของต่างประเทศ กล่าวไว้ใน กรมทางหลวงชนบท (2554) อันได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศออสเตรเลีย และประเทศ นิวซีแลนด์ โดยพิจารณาลักษณะทางตรง ตามลักษณะเรขาคณิตของถนนที่ต้องการกำหนดหรือจำแนก เป็นเกณฑ์ ภายหลังจากการศึกษาพบว่าเกณฑ์แต่ละประเทศมีลักษณะคล้ายกัน นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียหายของผิวทางถนนที่อยู่ในช่วงทางตรงจะมีค่าความเสียหายผิวทางอยู่ในช่วง 0.35 - 0.45 ดัง ตารางที่ 4.3 โดยการกำหนดวิธีการเลือกค่าที่อยู่ในช่วงขึ้นอยู่กับ ประเภทถนนและปริมาณจราจรบนถนน นั้นๆ นั่นคือพิจารณาว่าเป็นถนนเป็นสายหลักหรือ สายรอง

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียหายและค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง (MPD) ที่กล่าวมา อาจสามารถสำรวจค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง (MPD) เพื่อคัดกรองค่าความเสียหาย ผิวทาง ณ ระดับพึงระวังได้ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่เก็บรวบรวมในการวิเคราะห์นี้ยังขาดข้อมูลในส่วนที่มี ความเสียหายผิวทางต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเสียหายของผิวทาง ( $\mu$ ) ต่ำกว่า 0.35 ผู้วิจัยจึง รวบรวมข้อมูลประวัติความเสียหายผิวทางและค่า MPD ในอดีตโดยเฉพาะในสายทางที่มีค่าความเสียหาย ผิวทางต่ำเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ให้สมบูรณ์มากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพึงระวังในผิวทางตรงของประเทศ สหรัฐอเมริกา ประเทศออสเตรเลีย และประเทศนิวซีแลนด์

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



#### 4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าความเสียดทานผิวทางสำรวจโดยเครื่องมือ ASFT-T-10 ประเภท Fixed Slip และค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยโดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement

จากงานวิจัยของ Dardano (2005) ได้เสนอการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเครื่องมือทดสอบความฝืดที่สนามบินชนิดนี้ ระหว่างเครื่องมือประเภท Fixed Slip ที่นิยมมากที่สุด (Grip Tester) กับเครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งเป็นเครื่องชนิดเดียวกับที่งานวิจัยนี้ใช้ในหัวข้อ 4.1 โดยผลของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของทั้งสองเครื่องมือ  $R^2$  เท่ากับ 0.89 สำหรับข้อมูลดิบ (Raw Data) และ 0.96 สำหรับค่าหลังจากการแปลงเป็นดัชนีความฝืดสากล (IFI) สรุปได้ว่า เครื่องมือ Fixed Slip กับเครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งข้อมูลดิบที่อ่านได้จากเครื่องมือและ ค่าหลังจากการแปลงเป็นดัชนีความฝืดสากล (IFI) แล้ว

ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลทางประวัติของสายทางของ MPD และประวัติความเสียดทานผิวทางที่ถูกเก็บรวบรวมโดยกรมทางหลวง เพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างที่มีความเสียดทานต่ำมากขึ้น โดยข้อมูลในความเสียดทานผิวทางในอดีตถูกสำรวจโดยเครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T - 10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3

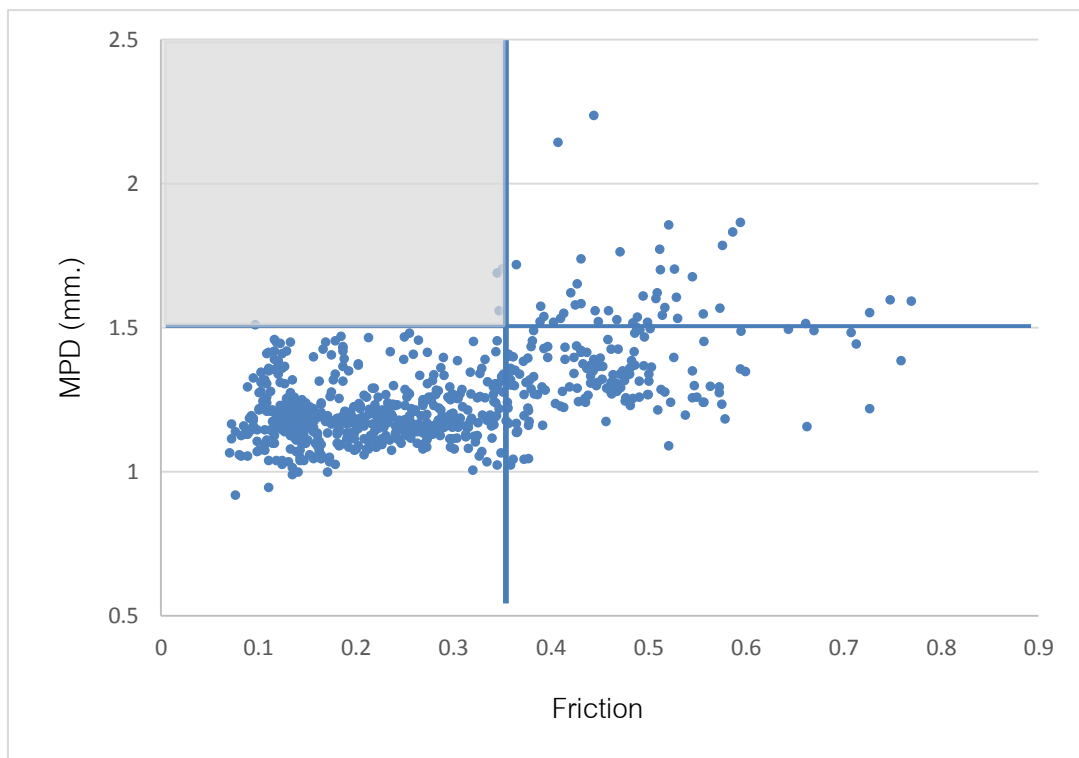
จากแผนภาพเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในภาพรวมแสดงดังรูปที่ 4.2 โดยจากการพิจารณาความสัมพันธ์ในภาพรวมพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ได้จากเครื่องมือทั้ง 2 ชนิดยังคงกระจายตัวและไม่สามารถหาค่าความสัมพันธ์โดยตรงได้ แต่ ณ ค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ค่าความเสียดทานของผิวทางยังคงไม่ต่ำกว่า 0.35 แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาต้องเป็นไปตามหลังทางสถิติ จึงทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) โดยกำหนด  $H_0$  และ  $H_1$  โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วนดังนี้

##### 1) สำหรับทุกจุดที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร

$$H_0 : \mu \leq \mu_0 = 0.35$$

$$H_1 : \mu > 0.35$$

กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ  $\alpha = 0.01$  หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ได้ผลการทดสอบจากโปรแกรม SPSS ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งจากการเปิดตารางค่าวิกฤต t พบว่า ที่  $\alpha = 0.01$  การทดสอบแบบหางเดียว (One-tailed Test) ซึ่ง  $df = 47$  มีค่าวิกฤต  $t = 2.432$  เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า  $t$  ที่ได้จากการคำนวณกับค่าวิกฤต  $t$  ที่ได้จากรายการ  $t = 7.952 >$  ค่าวิกฤต เห็นได้ว่าค่า  $t$  ที่ได้จากการคำนวณมากกว่าค่าวิกฤต จึงเป็นการปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  คือ ณ ตำแหน่ง MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าความเสียดทานมากกว่า 0.35 ในระดับความเชื่อมั่น 99 %



รูปที่ 4.2 ผลทดสอบจากเครื่องมือ Fixed Slip และ High-speed Laser

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean		
Friction	48	.48053	.113721	.016414		
	Test Value = 0.35					
	t	df	Sig. (one-tailed)	Mean Difference	99% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Friction	7.952	47	.000	.130532	.08647	.17460

2) สำหรับทุกจุดที่มีค่า MPD น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร

$$H_0 : \mu \geq \mu_0 = 0.35$$

$$H_1 : \mu < 0.35$$

กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ  $\alpha = 0.01$  หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %  
ได้ผลการทดสอบจากโปรแกรม SPSS ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean		
Friction	674	.25894	.130109	.005012		
	Test Value = 0.35					
	t	df	Sig. (one-tailed)	Mean Difference	99% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Friction	-18.170	673	.000	-.091062	-.10401	-.07812

ซึ่งจากการเปิดตารางค่าวิกฤต t พบว่า ที่  $\alpha = 0.01$  การทดสอบแบบหางเดียว (One-tailed Test) ซึ่ง  $df = 673$  มีค่าวิกฤต  $t = 2.835$  เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า t ที่ได้จากการคำนวณกับค่าวิกฤต t ที่ได้จากรายการ  $t = -18.17 < \text{ค่าวิกฤต}$  เห็นได้ว่าค่า t ที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่าค่าวิกฤต จึงเป็นการปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  กล่าวคือ ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร ค่าความเสียหายผิวทางจะมีค่าน้อยกว่า 0.35 แต่เนื่องจากผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือ DFT อีกทั้งข้อมูลที่ค่า MPD น้อยกว่า 1.5 มีการกระจายตัวของค่าความเสียหายมาก ทำให้ยังไม่สามารถสรุปการนำข้อมูล ณ MPD น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร ไปประยุกต์ใช้ได้ แต่วิเคราะห์ได้ว่าสามารถใช้ค่า MPD เพื่อการคัดกรองค่าความเสียหาย ณ ระดับพึงระวัง โดย ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ค่าความเสียหายจะมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพึงระวังในผิวทางตรงที่สากลยอมรับ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ค่า MPD เพื่อคัดกรองค่าความเสียหายของผิวทางที่อยู่เหนือระดับพึงระวัง

#### 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ จากการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่าไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่าง MPD และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทาง ทั้งจากเครื่องมือ DFT และ Fixed Slip โดยเชื่อมโยงถึงการพิจารณาลักษณะสภาพพื้นผิวของถนนในระดับ Macro Texture และ Micro Texture ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของค่าความเสียหายผิวทาง แต่ค่า MPD สามารถสะท้อนได้ถึงระดับ Macro Texture เพียงอย่างเดียว ทำให้มีทิศทางของความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองอาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆ ที่มีความแตกต่างกันไปตามลักษณะพื้นที่การสำรวจข้อมูล

แต่ผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการใช้เครื่องมือต้นแบบเพื่อเป็นเกณฑ์คัดกรองค่าความเสียหายผิวทางจึงอ้างอิงถึงเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพึงระวังของต่างประเทศ (กรมทางหลวงชนบท, 2554) ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ โดยพิจารณาลักษณะทางตรง พบว่าเกณฑ์ค่าระดับพึงระวังของแต่ละประเทศมีลักษณะคล้ายกัน นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์

ความเสียหายของผิวทางถนนที่อยู่ในช่วงทางตรงจะมีค่าความเสียหายผิวทางอยู่ในช่วง 0.35 - 0.45 จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ให้ความสนใจ ณ ตำแหน่งค่าความเสียหายผิวทางมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าความเสียหายผิวทางที่ผ่านเกณฑ์ระดับพึงระวัง โดย ณ ตำแหน่ง MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าความเสียหายผิวทางมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพึงระวังในผิวทางตรงที่สากลยอมรับ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ค่า MPD เพื่อคัดกรองค่าความเสียหายของผิวทางที่อยู่เหนือระดับพึงระวังแต่อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยยังขาดข้อมูล ณ ตำแหน่งที่มีความเสียหายผิวทางต่ำ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงรวบรวมข้อมูลประวัติของค่า MPD และความเสียหายผิวทางซึ่งสำรวจโดยเครื่องมือ Fixed Slip จากกรมทางหลวง เพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างที่มากขึ้นโดยเฉพาะกลุ่มที่มีค่าความเสียหายต่ำ จากที่กล่าวมา การสำรวจค่า MPD จัดทำก่อนการสำรวจค่าความเสียหายผิวทางสี่ถึงห้าเดือน แต่ผลวิเคราะห์ยังคงเป็นเช่นเดียวกันกับข้อมูลก่อนหน้านี้ กล่าวคือที่ค่า MPD สูงกว่า 1.5 มิลลิเมตร ค่าความเสียหายของผิวทาง ( $\mu$ ) ของตำแหน่งเดียวกันจะมากกว่า 0.35 นอกจากนี้จากการทดสอบทางสถิติพบว่า สมมติฐานดังกล่าวเป็นความจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 99% จึงเป็นการยืนยันความเป็นไปได้ที่จะใช้ค่า MPD เป็นเครื่องมือในการคัดกรองค่าความเสียหายผิวทาง

## บทที่ 5

### แนวทางการบริหารจัดการความเสียหายผิวทางโครงข่ายจาก ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย

การอำนวยความสะดวกทางถนนรวมถึงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยโครงข่ายถนน เพื่อให้ผู้ใช้ทางสามารถใช้ถนนและสัญจรได้อย่างปลอดภัย ในปัจจุบันยังไม่มี การเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพความผิดของผิวทาง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การยกระดับความปลอดภัยบนท้องถนน ดังนั้นเมื่อมีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านความผิดของผิวทางที่เพียงพอจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์และหาค่าความเสียหายของผิวทางที่มีความเหมาะสมตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ รวมถึงสามารถวางแผนการบำรุงผิวทางเพื่อที่จะรักษา ค่าความเสียหายของผิวทางให้คงอยู่ในระดับสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเป็นระยะเวลานาน งานวิจัยนี้จึงพยายามเสนอแนะแนวทางในการใช้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยเพื่อการคัดกรองและลดจำนวนสายทางที่ต้องการการสำรวจค่าความเสียหายอย่างละเอียด โดยเสนอเกณฑ์การใช้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยที่มีค่ามากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะบ่งชี้ระดับพึงระวังของค่าความเสียหายผิวทางในระดับโครงข่าย เนื่องจากค่าความลึกโพรไฟล์สามารถสำรวจได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถติดตั้งเครื่องมือสำรวจบนยานพาหนะที่มีการสำรวจผิวทางในระดับโครงข่ายเป็นประจำอยู่แล้ว เป็นผลให้ไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากต้นทุนการสำรวจผิวทางที่มีอยู่แล้ว จึงเป็นไปได้ที่จะสำรวจมีข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยในระดับโครงข่าย โดยอยู่ในงบประมาณที่จำกัด

#### 5.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลเพื่อบริหารจัดการความเสียหายผิวทางโครงข่าย

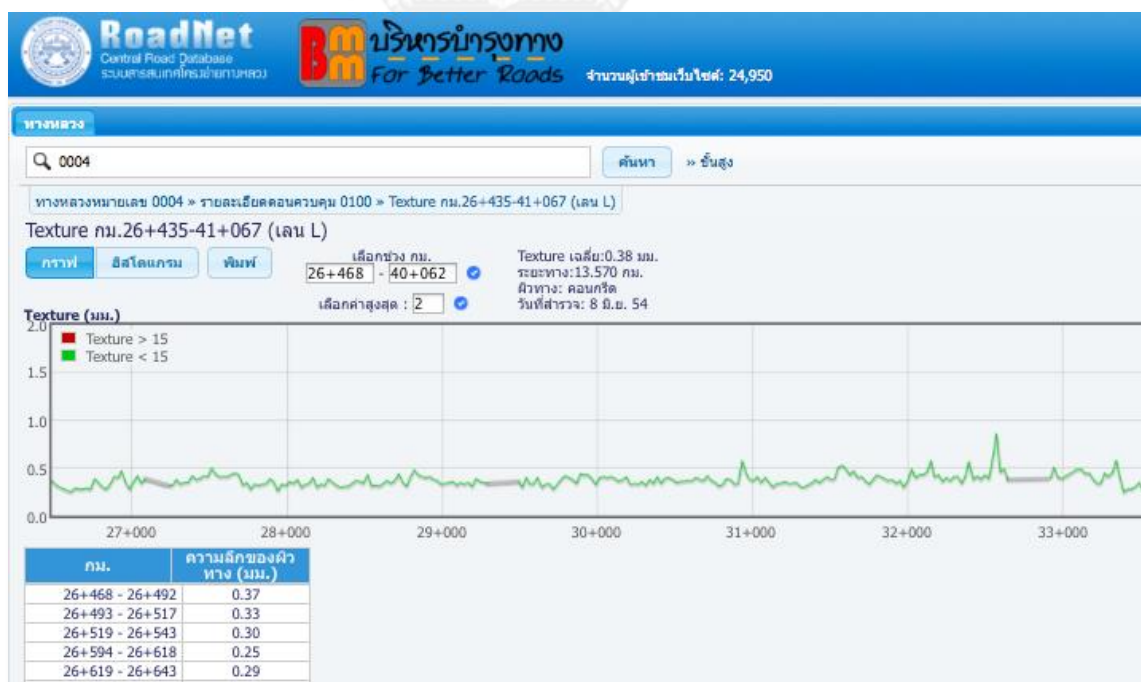
ในการบริหารจัดการความเสียหายผิวทางในระดับโครงข่ายมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีข้อมูลในด้านต่างๆ ที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์และวางแผน โดยในปี พ.ศ. 2554 กรมทางหลวง มีระยะทางในความรับผิดชอบ ในจำนวนกว่า 68,502 กิโลเมตร ซึ่งระบุไว้ใน ระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง (2555) จำนวนนี้กว่าร้อยละ 83 เป็นผิวทางชนิดลาดยางประเภทผิวแอสฟัลท์ติกคอนกรีต (Asphalt Concrete) และเคพซีล (Cape Seal) รวมกัน ส่วนที่เหลือเป็นผิวทางชนิดคอนกรีต และลูกรัง อีกทั้งการเสื่อมสภาพของความเสียหายเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของผิวทาง ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่ามีโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุทางถนนจากปัจจัยทางด้านความเสียหายต่ำในสายทางที่ผิวลาดยางมีมาก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการสำรวจและเก็บข้อมูลเพื่อบริหารจัดการความเสียหายผิวทางลาดยางเป็นหลัก

การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพผิวทางในประเทศไทย จากหน่วยงานราชการทั้ง กรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทได้ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลเป็นประจำจากงบประมาณประจำปี โดยตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บ ได้แก่ ค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) สภาพความเสียหายของผิวทาง ปริมาณจราจร จำนวนอุบัติเหตุและ ตำแหน่งการเกิดรวมอุบัติเหตุถึงลักษณะของการชน เป็นต้น โดยข้อมูลที่กล่าวมาเป็นข้อมูลที่มีการสำรวจและจัดเก็บอย่างต่อเนื่อง

ในหัวข้อการสำรวจและเก็บข้อมูลเพื่อบริหารจัดการความเสียหายผิวทางโครงข่ายนี้ จะกล่าวถึงข้อมูลที่จำเป็นต้องสำรวจในระดับโครงข่าย เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดในการกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขในการซ่อมบำรุงความเสียหายผิวทาง โดยในการวิจัยนี้เสนอแนวทางการบริหารจัดการโดยใช้ดัชนีชี้วัด 3 อย่าง ได้แก่ ข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ข้อมูลอุบัติเหตุอันมีสาเหตุมาจากความเสียหายผิวทาง ข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทาง ซึ่งข้อมูลทั้ง 3 เป็นข้อมูลที่สามารถจัดเก็บได้โดยมีค่าใช้จ่ายเพิ่มจากงบประมาณที่ใช้ในสำรวจในปัจจุบันไม่มากนัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 5.1.1 ข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD)

จากที่กล่าวมาค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย สามารถสำรวจได้โดยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement โดยติดตั้งเพิ่มเติมบนรถที่มีการสำรวจอยู่แล้ว จึงไม่มีต้นทุนการสำรวจเพิ่มเติม อีกทั้งในปัจจุบันกรมทางหลวงมีการเก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง กรมทางหลวง ในปี พ.ศ. 2553 – พ.ศ. 2556 โดยข้อมูลจะถูกบันทึกลงในระบบรายงานข้อมูลกลางของกรมทางหลวง ซึ่งจัดเก็บพร้อมกับการวิ่งสำรวจค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยในระดับโครงข่าย สามารถจัดเก็บได้โดยใช้ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมไม่มาก และสามารถเชื่อมโยงกับค่าดัชนีอื่นๆ โดยอ้างอิงจากหมายเลขทางหลวง



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างเว็บไซต์ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (ระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง, 2555)

### 5.1.2 ข้อมูลอุบัติเหตุอันมีสาเหตุมาจากความเสียหายทาง

ในปัจจุบันมีการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุ (Accident Data) ทำโดย สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง (2556) ในโครงการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านอำนวยความปลอดภัย จัดเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-พ.ศ.2556 โดยข้อมูลจะถูกบันทึกลงบนเว็บไซต์ระบบรายงานอุบัติเหตุบนสายทางของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ระบบหมายเลขทางหลวงเดียวกันกับระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างค่าความสึกโพรไฟล์เฉลี่ยกับข้อมูลอุบัติเหตุ

ทั้งนี้การเลือกใช้ข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อนำมาวิเคราะห์ อาจต้องพิจารณาคัดกรองข้อมูลเพื่อให้อยู่บนสมมติฐานว่ามีสาเหตุมาจากค่าความเสียหายของผิวทางที่ต่ำ โดยผู้วิจัยเสนอการตั้งสมมติฐานเพื่อใช้ในการคัดกรองดังนี้

- 1) เลือกอุบัติเหตุเกิดบนถนนสภาพเปียก เนื่องจากในระบบรายงานอุบัติเหตุบนสายทางของทางหลวง ได้มีการระบุถึงสภาพผิวถนน รวมถึงสภาพอากาศ ขณะที่เกิดอยู่ในฐานข้อมูลด้วย จึงสามารถคัดกรองอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นขณะที่ผิวการจราจรมีสภาพเปียกได้ อ้างอิงจากการศึกษาของ Kuttesch (2004) ที่ระบุว่าสภาพผิวการจราจรที่เปียกมีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุแบบลื่นไถล
- 2) พิจารณาเลือกสาเหตุการชนเฉพาะบางรูปแบบ โดยในรายงานอุบัติเหตุบนสายทางของทางหลวงมีการระบุถึงสาเหตุของการชนไว้ในตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่ามีเพียง 3 สาเหตุแรกที่สามารถมีปัจจัยมาจากความเสียหายของผิวทาง อันได้แก่ ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด, มีการตัดหน้าระยะกระชั้นชิด และแซงรถอย่างผิดกฎหมาย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงแนะนำให้คัดกรองเฉพาะอุบัติเหตุที่มีการระบุว่าสาเหตุจาก 3 อันดับแรกเท่านั้น

ตารางที่ 5.1 สาเหตุการชนต่างๆ (กรมทางหลวง, 2556)

ID	Code	Description
1	7.1	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
2	7.2	มีการตัดหน้าระยะกระชั้นชิด
3	7.3	แซงรถอย่างผิดกฎหมาย
4	7.4	ขับรถไม่เปิดไฟ / ไม่ใช้แสงสว่างตามกำหนด
5	7.5	ไม่ให้สัญญาณชะลอ / เลี้ยว
6	7.6	ไม่ให้สัญญาณเข้าจอด หรือออกจากที่จอด
7	7.7	ไม่ให้สิทธิรถที่มาก่อนผ่านทาง เช่น ทางแยก
8	7.8	รถเสียไม่แสดงเครื่องหมายหรือสัญญาณไฟที่กำหนด
9	7.9	ฝ่าฝืนป้ายหยุดขณะออกจากทางร่วมแยก

ตารางที่ 5.1 สาเหตุการชนต่างๆ (ต่อ)

ID	Code	Description
10	7.1	ไม่ขับรถในช่องทางเดินรถซ้ายสุดในถนนที่มี 4 ช่องทาง
11	7.11	ฝ่าฝืนสัญญาณไฟ / เครื่องหมายจราจร
12	7.12	บรรทุกเกินอัตรา
13	7.13	ขับรถไม่ชำนาญ / ไม่เป็น
14	7.14	อุปกรณ์รถบกพร่อง
15	7.15	มีสิ่งกีดขวางบนทางหลวง
16	7.16	เมาสุรา
17	7.17	หลับใน
18	7.18	อื่น ๆ

- 3) พิจารณาถึงลักษณะของการชนให้อยู่บนสมมติฐานว่าอาจมีปัจจัยมาจากความเสียหายของผิวทาง โดยจากรายงานอุบัติเหตุของ กรมทางหลวง (2556) ได้จำแนกลักษณะของการชน 88 รูปแบบ ซึ่งผู้ทำวิจัยเสนอให้เลือกเฉพาะลักษณะจากชนที่มีผลมาจากค่าความเสียหายได้แก่ ลักษณะการชนดังตารางที่ 5.2 ซึ่งได้คัดลักษณะการชนที่ไม่มีผลจากความเสียหายออก เช่น การชนประสานงา ชนจากการจอดรถ ตกข้างทางในทางตรง เป็นต้น

ตารางที่ 5.2 ลักษณะการชนบนสมมติฐานว่ามีปัจจัยมาจากความเสียหายของผิวทาง

ID	Code	Description
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



ตารางที่ 5.2 ลักษณะการชนบนสมมติฐานว่ามีปัจจัยมาจากความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ID	Code	Description
14	205	รถเลียวย้ายชนรถทางตรงบนถนนสายเดียวกัน
15	206	รถเลียวย้ายชนรถเลียวย้ายบนถนนสายเดียวกัน
16	207	รถทางตรงชนรถที่กำลังเลียวยกั้บรถบนถนนสายเดียวกัน
17	300	อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการชนในทิศทางเดียวกัน
18	301	ชนท้าย
19	302	ถูกชนท้ายขณะเลียวย้าย
20	303	ถูกชนท้ายขณะเลียวยาว
21	304	ถูกชนท้ายขณะเลียวยกั้บรถ
22	305	รถที่วิ่งคู่กันมาเลียวยชนกัน
23	306	ถูกชนจากรถที่เปลี่ยนช่องทางขวา
24	307	ถูกชนจากรถที่เปลี่ยนช่องทางซ้าย
25	308	รถทางตรงหรือเลียวยาวชนกับรถเลียวยาว (จากทิศทางเดียวกัน)
26	309	รถทางตรงหรือเลียวย้ายชนกับรถเลียวย้าย (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	แซงขวาชนกับรถเลียวยาว
37	601	ชนรถที่จอดอยู่ (จอดคันเดียว)
38	603	ชนกับประตูรถที่เปิดอยู่
39	706	แลบเสียหลักตกถนนบนทางตรงขณะเลียวย้ายเข้าทางเชื่อม
40	707	แลบเสียหลักตกถนนบนทางตรงขณะเลียวยาวเข้าทางเชื่อม
41	800	อื่นๆ ที่เกี่ยวกับตกถนนทางบนทางโค้ง
42	801	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งขวา
43	802	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งซ้าย
44	803	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งขวา ชนเสาไฟ ต้นไม้ ฯลฯ
45	804	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งซ้าย ชนเสาไฟ ต้นไม้ ฯลฯ
46	805	แลบเสียหลักตกถนนบนทางโค้งซ้ายขณะเลียวย้ายเข้าทางเชื่อม

### 5.1.3 ข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางโดยละเอียด

ในส่วนของข้อมูลการสำรวจความเสียหายผิวทางโดยตรง เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพ ความสามารถดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว ใช้จำนวนเจ้าหน้าที่และค่าใช้จ่ายในการสำรวจไม่มาก และเป็นเครื่องมือที่ทางราชการในประเทศไทยทั้งกรมทางหลวง อีกทั้งกรมทางหลวงชนบทนิยมใช้สำรวจ พบว่ามีเครื่องมืออยู่ 3 ชนิดที่เหมาะสม ดังนี้

#### 1) British Pendulum Tester (BPT)

ส่วนมากใช้กับข้อมูลและการทดสอบทางห้องปฏิบัติการเพื่อเพิ่มคุณภาพ งานทดสอบวัสดุเนื่องจากได้ข้อมูลในลักษณะจุด ใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นการวัดความเสียหายที่พื้นผิว อีกทั้ง BPT สามารถใช้ในการวัดค่าความเสียหายทั้งตามยาวและด้านข้างได้ ตัวเครื่องมือมีราคาไม่แพง และ เครื่องมือมีขนาดที่ไม่ใหญ่ พกพาสะดวก แต่มีความแปรปรวนสูง ความแปรปรวนนี้อาจจะเกิดขึ้นมาจากขั้นตอนการดำเนินการ และจากสภาพแวดล้อม อีกทั้งต้องมีการควบคุมการจราจรในการทดสอบเนื่องจากทำการทดสอบได้ช้า จึงไม่เหมาะกับสายทางที่มีการจราจรคับคั่ง

#### 2) Dynamic Friction Tester (DFT)

เป็นเครื่องมือที่สามารถดำเนินการทดสอบได้อย่างรวดเร็ว มีราคาไม่แพง ผลทดสอบที่ได้ไม่ขึ้นกับผู้ทดสอบรวมทั้งผลกระทบของลม นอกจากนี้ความเสียหายเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นตัวแทน ณ ความเร็วต่างๆ แต่เครื่องมือชนิดนี้ไม่สามารถทำการทดสอบซ้ำได้ และไม่สามารถจำลองลักษณะของล้อยางของยานพาหนะกับผิวทางได้ เป็นเครื่องมือที่เก็บค่าเฉพาะจุดในการวัด ซึ่งการวัดเป็นการจำลองจุดตัวแทนของช่วงทดสอบเพื่อรวมหลายๆช่วงเป็นตัวแทนสายทางทดสอบ จึงเป็นการยากหากต้องการสำรวจสายทางจำนวนมาก

#### 3) Fixed Slip Tester

ใช้ทดสอบสายทางในภาคสนาม ช่วงสายทางตรง สามารถประเมินความเสียหายของผิวทางระดับโครงข่ายสายทางได้ มีการศึกษาและมีมาตรฐานมากมายรองรับ เป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่เสียเวลาการทดสอบมาก แต่ตัวเครื่องมือมีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งเครื่องมือชนิดนี้จะใช้ทดสอบบนช่วงทางตรงเท่านั้น ไม่สามารถทดสอบในส่วนทางโค้ง ทางแยก และวงเวียนได้ รวมถึงไม่สามารถวัดเป็นจุดได้เนื่องจากตัวเครื่องมือเป็นการวัดแบบต่อเนื่องเท่านั้น โดยในปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่กรมทางหลวงเลือกใช้ในการสำรวจข้อมูลค่าความเสียหายทั่วประเทศ

## 5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองความเสียหายของผิวทาง

ผู้วิจัยได้เสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสายทางในระดับโครงข่าย (Network Level) ที่ทราบค่า MPD โดยที่องค์ประกอบในการวิเคราะห์หรือ เกณฑ์ของดัชนีต่างๆ อ้างอิงตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 เพื่อช่วยการวางแผนการซ่อมบำรุงผิวทางจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางในระดับโครงข่ายสามารถทำได้โดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาในการเก็บข้อมูล และงบประมาณที่ใช้ โดยการบริหารจัดการความเสียหายของผิวทางในระดับบริหารโครงข่าย มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

### ขั้นตอนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นที่ต้องใช้การวิเคราะห์

การบริหารจัดการความเสียหายของผิวทางโครงข่ายทาง ในระดับบริหารโครงข่าย เริ่มต้นการสำรวจและเก็บข้อมูลโดยมีข้อมูลที่ต้องใช้เพื่อคัดกรองสายทางที่ปลอดภัยจากความเสียหายในด้านความเสียหายต่ำกว่าระดับพึงระวัง โดยอ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ในบทที่ 4 อาศัยข้อมูล ดังนี้

ก. ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยในสายทางโครงข่ายทั่วประเทศ โดยใช้เครื่องมือที่มีความเหมาะสม กล่าวคือมีประสิทธิภาพสูง สามารถดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยใช้จำนวนเจ้าหน้าที่และค่าใช้จ่ายในการสำรวจไม่มาก ทั้งนี้ได้นำเสนอสำรวจ High-speed Laser Texture Measurement โดยใช้เป็นตัวคัดกรองข้อมูลค่าความเสียหายก่อน

ข. ข้อมูลประวัติสายทางที่มีอุบัติเหตุเนื่องจากการลื่นไถล โดยพิจารณาจากอุบัติเหตุที่มีสาเหตุจากความเสียหายของผิวทางต่ำ โดยอยู่บนสมมติฐานว่าอุบัติเหตุที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 5.1

### ขั้นตอนที่ 2 การคัดกรองสายทางที่อยู่เหนือระดับพึงระวัง

หลังจากที่ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางโครงข่ายทั่วประเทศและข้อมูลประวัติสายทางที่มีอุบัติเหตุเนื่องจากการลื่นไถลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้นเป็นขั้นตอนการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลโดยพิจารณาข้อมูลอุบัติเหตุที่อยู่บนสมมติฐานว่ามีสาเหตุมาจากความเสียหายผิวทางต่ำ ควบคู่กับค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย โดยอ้างอิงเกณฑ์จากบทที่ 4 ที่ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) ซึ่งสามารถจำแนกแนวทางการวิเคราะห์ได้ 2 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ตรวจสอบข้อมูลอุบัติเหตุที่อยู่บนสมมติฐานว่ามีสาเหตุมาจากความเสียหายผิวทางต่ำ พบว่าสายทางหรือช่วงบริเวณนั้นมีประวัติเคยเกิดอุบัติเหตุตามสมมติฐาน แสดงว่าเป็นสายทางที่มีความเสี่ยง จึงจะเป็นต้องให้ความสำคัญ และดำเนินการสำรวจค่าความเสียหายโดยละเอียด โดยเครื่องมือสำรวจค่าความเสียหายโดยละเอียด เช่น Dynamic Friction Tester (DFT) หรือ British Pendulum Tester (DFT) หรือ Fixed Slip เป็นระยะๆ แต่ถ้าพบว่ามี

จำนวนอุบัติเหตุเป็นจำนวนมากให้รับดำเนินการอำนวยความสะดวกเบื้องต้น เช่น ติดตั้งป้ายเตือน ติดตั้งราวกันอันตราย เพิ่มไฟสัญญาณจราจร เป็นต้น

กรณีที่ 2 ไม่พบประวัติการเกิดอุบัติเหตุตามสมมติฐาน แสดงให้เห็นว่า สายทางหรือช่วงบริเวณนั้น ณ เวลานั้น มีความปลอดภัยจากอุบัติเหตุทางกายภาพที่เกิดจากความเสียหายของผิวทาง แต่ทั้งนี้ควรพิจารณาค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) โดยใช้เครื่องมือสำรวจ High-speed Laser Texture Measurement เพื่อตรวจสอบและคัดกรองค่าความเสียหายผิวทาง หากพบว่ามีความสูงกว่าระดับพึงระวัง จึงสามารถกล่าวได้ว่าเป็นสายทางที่ไม่มีความเสี่ยงในด้านความเสียหายผิวทาง ในทางกลับกันหากพบว่าค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) บนสายทางหรือช่วงบริเวณนั้นมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับพึงระวัง ควรดำเนินการอำนวยความสะดวกเบื้องต้น และดำเนินการสำรวจค่าความเสียหายโดยละเอียดโดยเครื่องมือสำรวจค่าความเสียหายผิวทาง โดยตรงตามที่กล่าวมา

จากการพิจารณาข้อมูลอุบัติเหตุที่อยู่บนสมมติฐานว่ามีสาเหตุมาจากความเสียหายผิวทางต่ำ ควบคู่กับค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย จะเห็นได้สามารถลดจำนวนสายทางและจำนวนข้อมูลที่ต้องทำการสำรวจค่าความเสียหายผิวทางอย่างละเอียด กล่าวคือ ในปัจจุบันทั้งกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทมีการสำรวจข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index, IRI) ในระดับโครงข่ายทั่วประเทศอยู่แล้ว แต่ตัวเครื่องมือสำรวจค่าความเสียหายของผิวทางโดยตรง มีวิธีการเก็บข้อมูลที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว จึงไม่สามารถเก็บไปพร้อมกับเครื่องมือสำรวจค่าดัชนีความเรียบสากล ซึ่งแตกต่างจากการเก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยด้วยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement ที่สามารถติดตั้งไปกับยานพาหนะที่สำรวจค่าดัชนีความเรียบสากลได้ จึงเป็นการลดต้นทุนในการสำรวจเพื่อการจัดการบริหารความเสียหายระดับโครงข่ายได้

### ขั้นตอนที่ 3 การสำรวจค่าความเสียหายของผิวทางโดยละเอียด

การสำรวจค่าความเสียหายของผิวทางโดยตรงด้วยเครื่องมือสำรวจอย่างละเอียด เช่น Dynamic Friction Tester (DFT) หรือ Fixed Slip หรือ British Pendulum ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.1 ซึ่งจากขั้นตอนที่ 2 จะเห็นได้ว่าการคัดกรองสายทางจากระดับโครงข่าย เพื่อลดจำนวนสายทางที่ต้องสำรวจข้อมูลค่าความเสียหายโดยละเอียด จึงทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถเก็บข้อมูลความเสียหายโดยละเอียดในส่วนสายทางที่มีความเสี่ยงจากการเสื่อมสภาพของความเสียหาย เพื่อนำมาพิจารณาตามเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางที่ระดับพึงระวัง และระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level)

### ขั้นตอนที่ 4 เกณฑ์ระดับพึงระวัง และเกณฑ์ระดับปรับปรุงแก้ไข

โดยเกณฑ์ระดับพึงระวัง ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1 แล้ว และเกณฑ์ระดับปรับปรุงแก้ไข อ้างอิงจากต่างประเทศ (NCHRP, 2006) โดยแนวทางการกำหนดเกณฑ์ระดับปรับปรุง

แก้ไขจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤตของผิวทาง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤตตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของถนนที่ใช้งานมานานหรือเสื่อมสภาพตามเงื่อนไขสภาพแวดล้อมต่างๆ แต่ละสายทางจะมีค่าเฉลี่ย เข้าสู่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤต การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤตของผิวทาง ในแต่ละประเภทลักษณะทางเรขาคณิตของถนนซึ่งได้แก่ ทางโค้ง ทางตรง ทางแยก และทางลาดชัน สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในด้านการออกแบบทางวิศวกรรมงานทาง (Highway Geometric Design) โดยอาศัยพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบถนนเพื่อความปลอดภัย เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤตในแต่ละประเภทลักษณะทางเรขาคณิตของถนน ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤตของผู้ขับขี่ที่สามารถขับได้อย่างปลอดภัยในลักษณะทางโค้ง ทางตรง ทางแยก และทางลาดชัน (กรมทางหลวงชนบท, 2554)

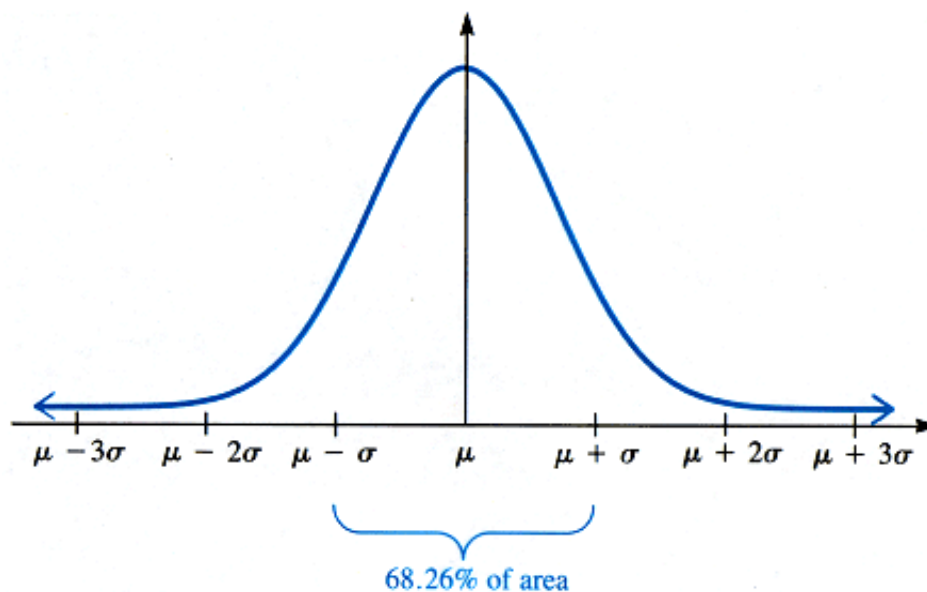
ลักษณะเรขาคณิตของถนน	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤตของผิวทาง ( $\mu_{\text{critical}}$ )
ทางโค้ง ( $R=100$ )	0.28
ทางตรง	0.22
ทางแยก	0.30
ทางลาดชัน	0.36

ในที่นี้จะพิจารณากำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ระดับปรับปรุงแก้ไข ซึ่งเป็นผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤตและค่าสัดส่วนการกระจายของข้อมูล ดังสมการที่ 5.1 เช่น หากผู้วิจัยเลือกพิจารณากำหนดค่าการกระจายเป็นหนึ่งในห้า จะได้สมมติฐานการแจกแจงปกติของข้อมูลที่ระดับ S.D. จะครอบคลุมข้อมูลของ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่เป็นไปได้ถึงประมาณร้อยละ 34 ของข้อมูลที่เป็นไปได้ ดังรูปที่ 5.2

$$\mu_{\text{Intervention}} = \mu_{\text{Critical}} + a(S.D.) \quad \text{สมการที่ (5.1)}$$

โดย

- $\mu_{\text{Intervention}}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ระดับพึงระวัง
- $\mu_{\text{Critical}}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายวิกฤตของผิวทาง
- $a$  คือ ค่าสัดส่วนการกระจายของข้อมูล
- $S.D.$  คือ ค่าการกระจายของข้อมูล



รูปที่ 5.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Distribution)

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาค่าความเสียหายโดยละเอียด

หลังได้กำหนดเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทางระดับพึงระวัง (Investigatory Level) และระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) แล้ว จึงพิจารณาค่าความเสียหายโดยละเอียดในแต่ละสายทาง โดยเป็นได้เป็น 3 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 ค่าความเสียหายของผิวทางอยู่เหนือเกณฑ์ระดับพึงระวัง (Investigatory Level)

แสดงให้เห็นว่า สายทางหรือช่วงบริเวณที่มีค่าความเสียหายมากกว่า 0.35 หรืออยู่เหนือเกณฑ์ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) ณ เวลาที่พิจารณานั้น มีความปลอดภัยจากอุบัติเหตุทางกายภาพที่เกิดจากความเสียหายของผิวทาง แต่ควรพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีชี้วัดความปลอดภัยทางถนน ในการอำนวยความสะดวกหรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตราย รวมถึงควรตรวจสอบและเฝ้าติดตามระดับค่าความเสียหายของผิวทางโดยเครื่องมือสำรวจโดยตรงอย่างเป็นระยะๆ

กรณีที่ 2 ค่าความเสียหายของผิวทางอยู่ใต้เกณฑ์ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) แต่อยู่เหนือระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level)

เนื่องจากในสายทางที่มีค่าความเสียหายผิวทางต่ำกว่า 0.35 หรืออยู่ใต้เกณฑ์ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) แต่อยู่เหนือระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) นั้น ไม่มีประวัติอุบัติเหตุที่อยู่บนสมมติฐานว่ามาจากค่าความเสียหาย แต่ควรให้ดำเนินการอำนวยความสะดวกเบื้องต้น เช่น ติดตั้งป้าย

เตือน ติดตั้งราวกันอันตราย เพิ่มไฟสัญญาณจราจร เป็นต้น พร้อมทั้งควรเฝ้าตรวจสอบและติดตามระดับค่าความเสียหายของผิวทางโดยเครื่องมือสำรวจโดยตรงอย่างใกล้ชิด ในระหว่างที่รอการวางแผนงานอำนวยความสะดวกและวิธีการปรับปรุง บริเวณเสี่ยงอันตรายปกติตามปีงบประมาณ

กรณีที่ 3 ค่าความเสียหายของผิวทางอยู่ใต้เกณฑ์ระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level)

ควรรีบให้ผู้เชี่ยวชาญดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบ และวิเคราะห์ เพื่อดำเนินการหาแนวทางอำนวยความสะดวก และ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตราย ต่อไป โดยระหว่างที่รอการดำเนินการอำนวยความสะดวก และ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตราย ให้มีการอำนวยความสะดวกเบื้องต้น เช่น ติดตั้งป้ายเตือน ติดตั้งราวกันอันตราย เพิ่มไฟสัญญาณจราจร เป็นต้น พร้อมทั้งติดตามและรายงานผลการดำเนินการอำนวยความสะดวกด้านความเสียหายเป็นระยะๆ

#### ขั้นตอนที่ 6 การจัดทำแผนงานอำนวยความสะดวก

การจัดทำแผนงานอำนวยความสะดวก หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายที่มีปัญหาทางด้านความเสียหายของผิวทางประจำปีงบประมาณนั้นๆ โดยรวบรวมแผนงานจากหน่วยงานทั่วประเทศ ได้แก่ กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท เพื่อให้ได้ข้อมูลสายทางทั้งประเทศในการจัดทำแผนงาน และเสนอกรอบงบประมาณต่อไป

ภายหลังจากได้งบประมาณขั้นตอนถัดไปเป็นการอำนวยความสะดวก และปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายที่มีปัญหาทางด้านความเสียหายของผิวทาง ตามแผนงานที่ได้เสนอ ทั้งนี้ให้มีการติดตาม และการรายงานผลข้อมูลการอำนวยความสะดวก และปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายพร้อมทั้งดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลความเสียหายของผิวทางในโครงข่ายของถนนทั่วประเทศ เป็นประจำปีทุกๆ ปี โดยภาพรวมของแนวทางการบริหารจัดการความเสียหายของผิวทางในระดับบริหารโครงข่ายเป็นดังรูปที่ 5.3

ซึ่งในขั้นต้นผู้วิจัยได้ทดลองนำค่า MPD ที่ได้จากระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง (2555) มาคัดกรองสายทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร จำนวนข้อมูลทั้งหมด 35,717 กิโลเมตร ได้ผลดังตารางที่ 5.4 โดยได้ผลว่ามีสายทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตรจำนวน 14.09 % เนื่องจากการสำรวจเป็นการสำรวจในช่องจราจรซ้ายสุดจึงทำให้ความเสียหายที่สำรวจได้ต่ำ

#### 5.3 สรุปแนวทางการบริหารจัดการความเสียหายผิวทางโครงข่ายจากค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย

ในบทนี้ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการบริหารจัดการความเสียหายผิวทางในระดับโครงข่าย โดยอาศัยประวัติอุบัติเหตุบนสมมติฐานว่ามีผลมาจากความเสียหายผิวทางและ ค่า

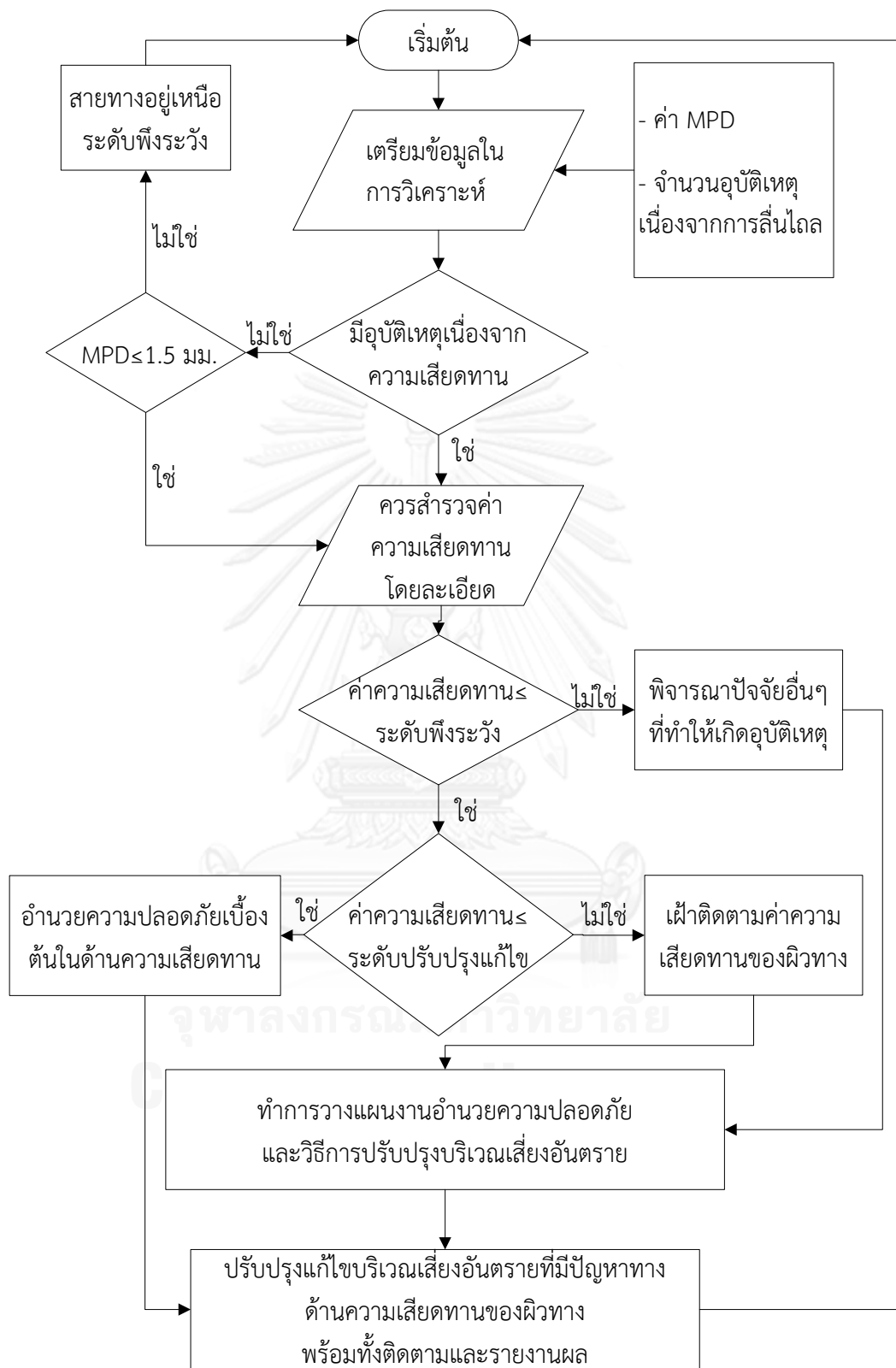
ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างผลการคัดกรองค่า MPD

	MPD > 1.5 มม.	ระยะที่สำรวจ (กม.)
สาย1	19.03%	7918.475
สาย2	16.77%	10231.675
สาย3	8.57%	8288.175
สาย4	12.00%	9279.025
รวม	14.09%	35717.35

ความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (Mean Profile Depth, MPD) ในการช่วยคัดกรองสายทางที่ปลอดภัยจากความเสียหายจากการเสื่อมสภาพของความเสียหาย ซึ่งแนวทางที่ผู้วิจัยเสนอนั้น จะใช้ข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมอยู่แล้ว กล่าวคือ ใช้ข้อมูลอุบัติเหตุที่กรมทางหลวงเก็บรวบรวม ทั้งลักษณะและสาเหตุการของการชน รวมถึงการติดตั้งเครื่องมือสำรวจค่า MPD ที่รถสำรวจของกรมทางหลวงทำการสำรวจ ซึ่งวิ่งสำรวจค่าดัชนีความเรียบสากลทั่วประเทศอยู่แล้ว เพื่อให้การคัดกรองสามารถทำได้ในงบประมาณที่จำกัด

เมื่อลดจำนวนสายทางที่ต้องสำรวจค่าความเสียหายโดยละเอียดแล้ว เป็นผลให้ลดงบประมาณที่ใช้เก็บข้อมูลค่าความเสียหายโดยตรง ในขณะที่มีข้อมูลค่าความเสียหายมากพอที่จะเฝ้าระวังค่าความเสียหายทั้งในระดับพึงระวัง และระดับปรับปรุงแก้ไข จึงสามารถวางแผนจัดการความเสียหายของสายทางในระดับโครงข่ายได้





รูปที่ 5.3 ภาพรวมของแนวทางการบริหารจัดการความเสียหาย

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในปัจจุบันงบประมาณในการซ่อมบำรุงถนนในประเทศไทยมีน้อยกว่า จำนวนเงินที่ต้องใช้เพื่อตอบสนองความต้องการในการซ่อมบำรุงรักษาทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายทางที่มีผิวทางชนิดลาดยาง ซึ่งเป็นชนิดผิวทางส่วนใหญ่ในประเทศจำเป็นต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมากในการซ่อมบำรุง จึงไม่สามารถซ่อมบำรุงทางได้ครอบคลุมทุกความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นผลให้จำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อการจัดการงานซ่อมบำรุงทางเพื่อให้เพียงพอกับงบประมาณที่จำกัด โดยคำนึงถึงความคุ้มค่า ความต้องการ การใช้งบประมาณให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้ทาง รวมถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ทาง

โดยในการวางแผนการซ่อมบำรุงมีหลากหลายปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณา ตามระบบบริหารบำรุงทางที่กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบทนิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ พิจารณาการให้ลำดับความสำคัญของแต่ละสายทาง ตามดัชนีความขรุขระสากล (IRI) อันเป็น ตัวชี้วัดระดับ การให้บริการของทาง ซึ่งค่า IRI เป็นการสะท้อนถึงสภาพบริการของผิวทางเพียงอย่างเดียว แต่ไม่สามารถสะท้อนถึงค่าความผิดของผิวทาง อันเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ทำให้ในปัจจุบันระบบการวางแผนซ่อมบำรุงทางในประเทศไทยยังไม่ครอบคลุมถึงความเสื่อมสภาพของผิวทางจากการลดลงของค่าความเสียดทาน โดยสาเหตุที่ยังไม่มีการนำค่าความเสียดทานมาเป็นตัวชี้วัดในการจัดทำระบบ คือปัญหาจากการสำรวจรวบรวมข้อมูลในระดับโครงข่ายของถนนในประเทศไทยไม่สามารถทำได้ ทั้งจากปัญหาด้านงบประมาณที่จำกัดประกอภกับความขาดแคลนของเครื่องมือที่สามารถสำรวจค่าความเสียดทานของผิวทางในระดับโครงข่าย

งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวคิดในการใช้เครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement เพื่อสำรวจค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) ซึ่งสะท้อนถึงค่าลักษณะผิวทางในระดับ Macro-texture อันเป็นปัจจัยหลักที่มีความสัมพันธ์ต่อค่าความเสียดทานระหว่างล้อยานพาหนะกับผิวทางในขณะที่ยานพาหนะวิ่งด้วยความเร็วสูง มาประยุกต์ใช้กับระบบงานซ่อมบำรุงทาง โดยอาศัยการเก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย ที่สามารถสำรวจได้รวดเร็วและอยู่ในงบประมาณที่จำกัด เพื่อเป็นเครื่องมือในการคัดกรองสายทางที่มีความเสี่ยงในด้านความเสียดทานจากที่ต้องใช้งบประมาณเพื่อสำรวจค่าความเสียดทานผิวทางอย่างละเอียดทั้งโครงข่ายถนน ให้เหลือเฉพาะสายทางที่เสี่ยงต่อการมีค่าความเสียดทานต่ำกว่าระดับพึงระวังเท่านั้น

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) กับค่าความเสียดทานผิวทาง ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ค่า MPD สะท้อนถึงลักษณะของผิวทางในระดับประเมนผิวทางแบบหยาบ (Macro-texture) อันเป็นปัจจัยสำคัญของค่าความเสียดทาน ณ ความเร็วสูง ดังนั้นการสำรวจค่า MPD ด้วยเครื่องมือที่สามารถเก็บข้อมูลได้รวดเร็ว High-speed Laser Texture Measurement ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับประเทศ

ไทย และมีใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการคัดกรองสายทางที่ปลอดภัยจากความเสี่ยงในด้านค่าความเสียดทานผิวทาง รวมถึงช่วยในการวางแผนการจัดการค่าความเสียดทานในระดับโครงข่าย เพื่อนำไปสู่การจัดทำแนวทางในการปรับปรุงการยกระดับความเสียดทานของผิวทาง โดยแบ่งข้อมูลที่ศึกษาออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ข้อมูลภาคสนาม ระหว่าง MPD กับค่าความเสียดทานที่ได้จากเครื่องมือ (Dynamic Friction Tester, DFT) ซึ่งทดสอบ ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกัน จำนวนทั้งหมด 113 ตัวอย่าง จาก 5 สายทาง อีกส่วนหนึ่งคือ ข้อมูลประวัติค่า MPD กับประวัติค่าความเสียดทานผิวทางจากเครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip ในสายทางเดียวกันแต่ดำเนินการสำรวจต่างเวลา จำนวนทั้งหมด 722 ตัวอย่างจาก 4 สายทาง โดยทั้ง 2 ข้อมูลผ่านการคัดกรองเพื่อลดความผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันมีค่าเข้าใกล้ 0 ดังนั้นกล่าวได้ว่าค่าความลื่นไถลของผิวทาง กับค่าความเสียดทานทั้งจาก เครื่องมือ DFT และเครื่องมือ Fixed Slip ไม่มีความสัมพันธ์กันโดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากค่า MPD สามารถสะท้อนถึงการตรวจวัดผิวทางจากลักษณะของ Macro-Texture เพียงอย่างเดียว ไม่สะท้อนถึงลักษณะ Micro Texture ซึ่งทั้งปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเสียดทานผิวทางเป็นอย่างมาก แต่จากการสังเกตช่วงตัวอย่างจากทั้ง 2 ชุดตัวอย่างพบว่าสายทางที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทาง ( $\mu$ ) ของตำแหน่งเดียวกันไม่ต่ำกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าความเสียดทาน ณ ระดับพึงระวังที่สากลยอมรับ และจากการทดสอบทางสถิติ โดยวิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับหนึ่งตัวอย่าง (T-test for One Sample) การพบว่า ในส่วนของข้อมูลภาคสนามระหว่าง MPD กับค่าความเสียดทานที่ได้จากเครื่องมือ (Dynamic Friction Tester, DFT) นั้น ณ ตำแหน่งผิวทางที่มีค่าความลื่นไถลมากกว่า 1.5 มิลลิเมตรจะให้ค่าความเสียดทานมากกว่า 0.35 ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % แต่ยังคงขาดข้อมูลที่มีค่าความลื่นไถลน้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร จึงไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้ได้ จากนั้นผู้วิจัยทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธีเดียวกันกับข้อมูลประวัติค่า MPD กับประวัติค่าความเสียดทานผิวทางจากเครื่องมือ Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT-T-10) ประเภท Fixed Slip พบว่า ณ ตำแหน่งที่ค่า MPD น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร มีการกระจายตัวของข้อมูลค่าความเสียดทานมาก จึงยังไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลส่วนนี้ได้ แต่ ณ ตำแหน่งผิวทางที่มีค่าความลื่นไถลมากกว่า 1.5 มิลลิเมตรจะให้ค่าความเสียดทานมากกว่า 0.35 ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ตรงกับข้อมูลชุดแรก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ค่าความลื่นไถลของผิวทางในการคัดกรองค่าความเสียดทานที่อยู่เหนือระดับพึงระวัง

การวางแผนงานซ่อมบำรุงสายทางอันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของความเสียดทานผิวทางเบื้องต้นพิจารณาข้อมูลประวัติอุบัติเหตุ ที่อยู่บนสมมติฐานว่ามีสาเหตุมาจากค่าความเสียดทานบนสายทางนั้นๆ เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยเบื้องต้น ในด้านความเสี่ยงจากการเสื่อมสภาพด้านความเสียดทาน แล้วจึงอาศัยค่า MPD ในการคัดกรองสายทาง โดยอาศัยเกณฑ์ค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร หรืออยู่เหนือระดับพึงระวัง (Investigatory Level) หากพบว่ามีค่าสูงกว่าระดับพึงระวัง แสดงให้เห็นว่า สายทางหรือช่วงบริเวณนั้น ณ เวลาที่มีการสำรวจ อยู่ในช่วงระดับที่ปลอดภัยจากความเสียดทานของผิวทาง ในทางกลับกันหากพบประวัติอุบัติเหตุที่อยู่บนสมมติฐานว่ามีสาเหตุมา

จากค่าความเสียหายหรือ ค่า MPD ของผิวทางอยู่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร หรืออยู่ที่ระดับพึงระวัง จึงสำรวจค่าความเสียหายโดยละเอียดด้วยเครื่องมือที่สามารถหาค่าความเสียหายได้โดยตรง เพื่อตรวจสอบว่าสายทางนั้น อยู่ในระดับพึงระวัง (Investigatory Level) หรือระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) หากอยู่ในระดับพึงระวังให้เฝ้าติดตามค่าความเสียหายอย่างใกล้ชิด และวางแผนการปรับปรุงค่าความเสียหายตามปีงบประมาณ แต่หากอยู่ในระดับปรับปรุงแก้ไข ควรรีบให้ผู้เชี่ยวชาญดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบ และวิเคราะห์ เพื่อดำเนินการหาแนวทางอำนวยความสะดวก และปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายต่อไป โดยระหว่างที่รอการดำเนินการอำนวยความสะดวก และ/หรือปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตราย ให้มีการอำนวยความสะดวกเบื้องต้น เช่น ติดตั้งป้ายเตือน ติดตั้งราวกันอันตราย เพิ่มไฟสัญญาณจราจร เป็นต้น พร้อมทั้งติดตามและรายงานผลการดำเนินการอำนวยความสะดวกด้านความเสียหายเป็นระยะๆ

จากที่กล่าวมาเห็นได้ว่าการใช้ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) เพื่อเป็นเครื่องมือในการคัดกรองสายทางที่ปลอดภัยจากความเสี่ยงอันเกิดจากการเสื่อมสภาพของความเสียหาย จะเป็นการช่วยลดจำนวนข้อมูลและสายทางที่ต้องเสี่ยงงบประมาณในการสำรวจค่าความเสียหายผิวทางแบบละเอียดได้เป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังช่วยให้การเก็บข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทางในระดับโครงข่ายเพื่อการวางแผนการจัดการงานซ่อมบำรุงสายทางอันเนื่องมาจากความเสียหาย สามารถทำได้ภายใต้งบประมาณที่จำกัด

## 6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสียหายและความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยของผิวทางเพื่อการวางแผนงานบำรุงทาง ได้วิเคราะห์และเสนอแนะบนข้อจำกัดด้านงานวิจัย ในเรื่องชนิดผิวทางและที่มาของข้อมูลตามขอบเขตที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.3 และมีข้อจำกัดภายหลังจากดำเนินงานวิจัยเสร็จสิ้นแล้ว ดังนี้

ก. การเก็บข้อมูลของเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement จัดทำที่ระดับความเร็วประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เช่นเดียวกับเครื่องมือ Fixed-slip ทั้งนี้ยังไม่มีทดสอบทั้ง 2 ข้อมูลที่ความเร็วอื่น รวมถึงมิได้พิจารณาถึงปัจจัยที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

ข. การเก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5-2.5 มิลลิเมตร ดังนั้นในการใช้งานเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement เพื่อสำรวจค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยให้ความถูกต้องได้ระดับหนึ่ง เป็นผลให้การตรวจวัดบนสายทางที่มีขอบเขตของค่าเฉลี่ย MPD มากกว่า 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีข้อมูลไม่เพียงพอในการใช้วิเคราะห์ จึงควรพิจารณาในการนำไปใช้อย่างเหมาะสม

ค. ค่าความเสียหาย ณ ระดับพึงระวัง อ้างอิงจากงานวิจัยของกรมทางหลวงชนบท สามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 0.35-0.45 แต่ในงานวิจัยนี้ ค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) สามารถ

คัดกรองค่าความเสียหายผิวทางได้ที่ค่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าน้อย เหมาะสำหรับถนนที่มีปริมาณจราจรไม่มาก และไม่ใช้ถนนสายหลักเท่านั้น

ง. เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้การคัดเลือกสายทางที่มีปริมาณของรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวัน ในช่วง 800-1,000 มีได้ค่านิ่งถึงปัจจัยที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร

สำหรับในอนาคตเมื่อมีผลการเก็บข้อมูลค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย จากเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement กับข้อมูลความเสียหายผิวทาง ที่มากเพียงพอและครอบคลุมทุกประเภทผิวการจราจร ควรนำมาใช้พัฒนาและปรับปรุงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ยและค่าความเสียหายผิวทางเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาอังกฤษ

- ASTM. (2008). Standard Specification for Special Purpose, Smooth–Tread Tire, Operated on Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment *E 1551*.
- ASTM. (2009). Standard Practice for Calculating Pavement Macrottexture Mean Profile Depth *E 1845*.
- ASTM. (2009). Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester *E 1911*.
- ASTM. (2013). Standard Practice for Describing and Measuring Performance of Ultraviolet and Visible Spectrophotometers *E 275*.
- Dardano, B. E. J. (2005). *Proceedings of the 1st Annual Australian Runway & Roads Friction Testing Workshop*. Paper presented at the Results of physical workshop, Sydney, Australia.
- Fisco, R. N. (2009). *Comparison of Macrottexture Measurement Methods*. (Master's Thesis), The Ohio State University, USA.
- Fülöp, I. A., Bogárdi, I., Gulyás, A., & Csicsely, M. T. (2000). Use of Friction and Texture in Pavement Performance Modeling. *Journal of Transportation Engineering*, 126(3), 243–248.
- Gendy, A. E., & Shalaby, A. (2004). Mean Profile Depth of Pavement Surface Macrottexture Using Photometric Stereo Techniques. *Journal of Transportation Engineering*, 133 (7), 433–440.
- Henry, J. J. (2000). *Evaluation of Pavement Friction Characteristics*. Paper presented at the NCHRP Synthesis 291, Washington, D.C.
- ISO. (2002). Road vehicles - Measurement of road surface friction 8349. Switzerland.
- Ivey, L. D., Lindsay, I. G. I., Tommy, M. N., Robert, L. L., & Kenneth, C. H. (1973). Predicting Wet Weather Accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 13(2), 83-99.
- Kuttesch, S. J. (2004). *Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data*. (Master's Thesis), Virginia Polytechnic Institute and State University., USA.
- Larson, M. R. (2005). *Using Friction and Texture Data to Reduce Traffic Fatalities, Serious Injuries, and Traffic Delays*. Paper presented at the International Conference on Surface Friction, Christchurch, New Zealand.
- Lorenz, M., & Choi, Y. (2011). Review of Skid Resistance and Measurement Methods (pp. 62). Sydnet.: Austroads

- Mclean, j., & Foley, G. (1998). Road surface characteristics and condition: effects on road users. *ARRB Transport Research*(ARR 314).
- Murat, E., 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.
- NCHRP. (2006). *Guide for Pavement Friction* (Vol. Project 1-43). USA.: National Cooperative Highway Research Program
- ViaTech. (2013). *Maintenance systems for road*, Norway Retrieved 2/12/2556 <http://www.viatech.no/ezpublish-4.2.0/index.php/eng/Home2/ViaPPS>

### ภาษาไทย

- กรมทางหลวง. (2554). โครงการตรวจสอบสภาพความผิดผิวทางของถนนลาดยางในประเทศไทย Retrieved 2/12/56, from สำนักวิจัยและพัฒนาทาง <http://202.183.128.5:8082>
- กรมทางหลวง. (2555). ระบบสารสนเทศโครงข่ายและฐานข้อมูลกลางทางหลวง. Retrieved 12/11/56 from สำนักบริหารบำรุงทาง <http://roadnet.doh.go.th/crd2>
- กรมทางหลวงชนบท. (2554). โครงการศึกษาค่าความเสียหายของผิวทางเพื่อปรับปรุงสภาพกายภาพของทางหลวงชนบท. Retrieved 2/12/2556 <http://masterplan.drr.go.th/html>
- กรมทางหลวง. (2556). โครงการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านอำนวยความสะดวก (HAIM). Retrieved 2/11/56, from สำนักอำนวยความสะดวก <http://haims.doh.go.th/>
- กรมทางหลวงชนบท. (2554). รายงานการสำรวจและวิเคราะห์สภาพค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวทาง ในบริเวณจุดเสี่ยงอันตราย.
- กรมทางหลวงชนบท. (2556). โครงการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบการสำรวจและประเมินค่าความเสียหายของผิวทาง
- คุณามาศ พันธุ์เดชะ, วิศณุ ทรัพย์สมพล, สมเกียรติ ทองโต, ชูชัย พันธุ์อัมพร, & วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร. (2554). ระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวงชนบท. Paper presented at the การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16., มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย. (2550). TARC Retrieved 2/11/56 <http://www.tarc.or.th>







ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตารางที่ ก-1 ภาพประกอบการทำงานของเครื่องมือรุ่น ASFT-T-10 ในขั้นตอนต่างๆ

วิธีการติดตั้งอุปกรณ์รุ่น ASFT-T-10	รูปภาพ
<p>1. เชื่อมต่อชุดอุปกรณ์ทดสอบเข้ากับรถตู้ โดยยึดติดกับ คันยึดที่ทำยารถตู้ ตรวจสอบให้เครื่องหมายการยึดอยู่ใน ตำแหน่งการยึดสีเขียว</p>	
<p>2. ตรวจสอบการปิด - เปิดวาล์วน้ำถังเก็บน้ำให้อยู่ในตำแหน่งปิดก่อนการติดตั้ง จากนั้นเติมน้ำ และดำเนินการต่อสายท่อน้ำจากชุดอุปกรณ์ทดสอบกับถังเก็บน้ำ</p>	
<p>3. ดำเนินการต่อสายไฟควบคุมจากรถตู้ไปจ่ายยังเครื่องมือทดสอบความเสียดทาน</p>	
<p>4. ดำเนินการตรวจสอบยางที่ใช้สำหรับทดสอบความเสียดทาน โดยยาล้อรถสำรวจจะมีรูดำหนิไว้เพื่อบอกประสิทธิภาพของยาง โดยถ้ายังมีรูให้เห็นอยู่แสดงว่าใช้งานได้ต่อไป แต่ถ้ารูยางหมด ให้เปลี่ยนยางอะไหล่ โดยเติมลมด้วยก๊าซไนโตรเจน แรงดันลม 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ทั้งล้อรถสำรวจและรถลาก</p>	

ตารางที่ ก-1 ภาพประกอบการทำงานของเครื่องมือรุ่น ASFT-T-10 ในขั้นตอนต่างๆ (ต่อ)

วิธีการติดตั้งอุปกรณ์รุ่น ASFT-T-10	รูปภาพ
<p>5. ดำเนินการตรวจสอบแบตเตอรี่ เครื่องมือทดสอบ ให้อยู่ในสภาพเต็ม ทุกครั้งก่อนการใช้งาน เพื่อสามารถทดสอบได้เต็มประสิทธิภาพ หากแบตเตอรี่ไม่เต็มให้ดำเนินการชาร์จประจุก่อน</p>	
<p>6. ดำเนินการตรวจสอบระบบสายไฟในเครื่องคอมพิวเตอร์ของเครื่องมือทดสอบ รวมถึงตรวจสอบระบบพาวเวอร์ จากนั้นจึงดำเนินการเปิดเครื่องมือทดสอบ</p>	
<p>7. ตรวจสอบระบบคอมพิวเตอร์ในรถทดสอบ โดยการตรวจสอบระบบบลูทูธ (Bluetooth) ทางด้านท้ายของรถตู้ หากมีสัญญาณไฟสีเหลืองแสดงว่าคอมพิวเตอร์ของเครื่องทดสอบทำงานแล้ว จากนั้นจึงมาเปิดเครื่องทดสอบทางด้านหน้า</p>	

ตารางที่ ก-2 ภาพประกอบการทำงานของเครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT)

รูปการทำงาน	รายละเอียด
	<p>การปิดช่องจราจรขณะทำการทดสอบ ด้วยรถฉุกเฉินพร้อมอุปกรณ์ความปลอดภัยเพื่อแจ้งเตือนยานพาหนะอื่นๆ บนสายทาง</p>

ตารางที่ ก-2 ภาพประกอบการทำงานของเครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) (ต่อ)

รูปการทำงาน	รายละเอียด
	<p>วัดระยะโดยใช้ค่าเบื้องต้นจากการสำรวจ High-speed Laser Texture Measurement ในการกำหนดตำแหน่ง</p>
	<p>เติมน้ำในถังเก็บและติดตั้งในตำแหน่งที่สูงเพียงพอตามข้อกำหนดการใช้งาน และควรมีภาชนะใส่น้ำสำรองไว้ในกรณีที่มีการทดสอบเป็นจำนวนมาก และควรใช้น้ำที่ไม่มีตะกอนหรือหลีกเลี่ยงน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ</p>
	<p>วางเครื่องมือให้ตรงจุดทดสอบโดยให้ตรงกับตำแหน่งร่องล้อซ้าย ซึ่งจะสำรวจด้วยเครื่องมือ High-speed Laser Texture Measurement</p>
	<p>เครื่องวัดใช้การส่งทำงานผ่านคอมพิวเตอร์ Laptop จากนั้นปั้มน้ำและหมุนจานทดสอบให้ได้ความเร็วตามที่กำหนด แล้วกดแผ่นทดสอบลงที่ผิวทางเพื่อวัดค่า ได้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน</p>

ตารางที่ ก-2 ภาพประกอบการทำงานของเครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) (ต่อ)

รูปการทำงาน	รายละเอียด
	เปลี่ยนยางเมื่อทดสอบครบตามจำนวนครั้งที่กำหนดไว้

ตารางที่ ก-3 ตำแหน่งที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.2

สายทางที่ 3023		สายทางที่ 4002		สายทางที่ 3022		สายทางที่ 3025		สายทางที่ 5026	
ลำดับ	DFT60	ลำดับ	DFT60	ลำดับ	DFT60	ลำดับ	DFT60	ลำดับ	DFT60
1	0.43	21	0.41	23	0.45	35	0.39	49	0.47
2	0.37	22	0.41	24	0.55	36	0.4	50	0.38
3	0.38			25	0.49	37	0.39	51	0.46
4	0.4			26	0.53	38	0.44	52	0.38
5	0.38			27	0.42	39	0.51	53	0.36
6	0.36			28	0.4	40	0.41	54	0.44
7	0.4			29	0.53	41	0.39	55	0.39
8	0.36			30	0.47	42	0.45	56	0.4
9	0.39			31	0.46	43	0.46	57	0.38
10	0.41			32	0.45	44	0.38	58	0.42
11	0.38			33	0.51	45	0.41	59	0.42

ตารางที่ ก-3 ตำแหน่งที่มีค่า MPD มากกว่า 1.5 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.2 (ต่อ)

สายทางที่ 3023		สายทางที่ 4002		สายทางที่ 3022		สายทางที่ 3025		สายทางที่ 5026	
ลำดับ	DFT60	ลำดับ	DFT60	ลำดับ	DFT60	ลำดับ	DFT60	ลำดับ	DFT60
12	0.37			34	0.47	46	0.45	60	0.45
13	0.39					47	0.37	61	0.42
14	0.38					48	0.38	62	0.44
15	0.4							63	0.44
16	0.38							64	0.42
17	0.39							65	0.45
18	0.4							66	0.46
19	0.37							67	0.45
20	0.42							68	0.46
								69	0.43

ตารางที่ ก-4 ลักษณะการชนรูปแบบต่างๆ

ลำดับ	code	description
1	0	อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับคนเดินเท้า
2	1	ชนคนไถลฝั่งข้าม
3	2	ชนคนที่ออกมาจากหน้าหรือหลังรถ จอดบัง
4	3	ชนคนไถลฝั่งข้าม
5	4	ชนคนยืน นอนทำงาน หรือเล่นบนถนน
6	5	ชนคนเดินริมถนน ตามทิศทางรถ (หันหลังให้รถ)
7	6	ชนคนเดินริมถนน สวนทิศทางรถ (หันหน้าให้รถ)
8	7	ชนคนขณะเดินข้ามทางม้าลาย
9	8	ชนคนเดินบนฟุตบาท
10	9	ชนคนเดินเท้าขณะเลียวย้ายหรือขวา
11	100	อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับบริเวณทางแยก



ตารางที่ ก-4 ลักษณะการชนรูปแบบต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	code	description
12	101	รถทางตรงชนรถทางตรง
13	102	รถเลี้ยวขวาชนรถทางตรง
14	103	รถเลี้ยวซ้ายชนรถทางตรง
15	104	รถทางตรงชนรถเลี้ยวขวา
16	105	รถเลี้ยวขวาชนรถเลี้ยวขวา
17	106	รถทางตรงชนรถเลี้ยวซ้าย
18	107	รถเลี้ยวขวาชนรถเลี้ยวซ้าย
19	108	รถเลี้ยวซ้ายชนรถเลี้ยวซ้าย
20	200	อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการชนในทิศทางตรงกันข้ามบนถนนสายเดียวกัน
21	201	ชนประสานงา
22	202	รถเลี้ยวขวาชนรถทางตรงบนถนนสายเดียวกัน
23	203	รถเลี้ยวขวาชนรถเลี้ยวซ้ายบนถนนสายเดียวกัน
24	204	รถเลี้ยวขวาชนรถเลี้ยวขวาบนถนนสายเดียวกัน
25	205	รถเลี้ยวซ้ายชนรถทางตรงบนถนนสายเดียวกัน
26	206	รถเลี้ยวซ้ายชนรถเลี้ยวซ้ายบนถนนสายเดียวกัน
27	207	รถทางตรงชนรถที่กำลังเลี้ยวกลับรถบนถนนสายเดียวกัน
28	300	อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการชนในทิศทางเดียวกัน
29	301	ชนท้าย
30	302	ถูกชนท้ายขณะเลี้ยวซ้าย
31	303	ถูกชนท้ายขณะเลี้ยวขวา
32	304	ถูกชนท้ายขณะเลี้ยวกลับรถ
33	305	รถที่วิ่งคู่กันมาเฉี่ยวชนกัน
34	306	ถูกชนจากรถที่เปลี่ยนช่องทางขวา
35	307	ถูกชนจากรถที่เปลี่ยนช่องทางซ้าย
36	308	รถทางตรงหรือเลี้ยวขวาชนกับรถเลี้ยวขวา (จากทิศทางเดียวกัน)
37	309	รถทางตรงหรือเลี้ยวซ้ายชนกับรถเลี้ยวซ้าย (จากทิศทางเดียวกัน)
38	310	ชนรถที่กำลังเปลี่ยนช่องจราจร
39	400	อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับความบกพร่องของผู้ขับขี่
40	401	ชนรถที่กำลังออกจากที่จอด
41	402	ชนรถที่กำลังจะเข้าจอด
42	403	ชนรถจอดขณะเข้าจอดหรือจะออก
43	404	ชนรถที่กำลังถอยหลัง
44	405	ถอยหลังชนสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ ก-4 ลักษณะการชนรูปแบบต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	code	description
45	406	ชนรถที่กำลังออกจากทางเชื่อมถนนสายย่อย
46	407	ชนรถที่กำลังลงมาจากทางเท้า
47	500	อื่นๆ ที่เกี่ยวกับการแซง
48	501	ชนกับรถที่หักแซงขึ้นมาในทิศทางตรงข้าม (ประสานงาน)
49	502	แซงขึ้นมาแล้วเสียหลักแลลบออก
50	503	แซงไม่พ้น หักชนรถที่ถูกแซง
51	504	เบียดแซงออกมาถูกรถที่วิ่งตามมาชน
52	505	ถูกรชนเพราะหลบรถที่วิ่งทิศตรงข้าม
53	506	ถูกรชนเพราะแซงซ้ายแล้วเบียดเข้าช่องจราจร
54	507	ถูกรรถที่กำลังแซงชนท้าย
55	508	แซงขวาชนกับรถเลี้ยวขวา
56	600	อื่นๆ ที่เกี่ยวกับการชนบนทาง
57	601	ชนรถที่จอดอยู่ (จอดคันเดียว)
58	602	ชนรถที่จอดซ้อนคัน
59	603	ชนกับประตูรถที่เปิดอยู่
60	604	ชนสิ่งก่อสร้างถาวร เช่น สะพาน ราวเหล็ก
61	605	ชนวัสดุงานทางหรือวัสดุอื่นซึ่งกองอยู่ชั่วคราว
62	606	ชนรถที่เกิดอุบัติเหตุ หรือจอดเสียอยู่บนทาง
63	607	ชนสัตว์
64	608	อุบัติเหตุจากสิ่งของบรรทุกตกหล่นหรือยื่นออกนอกตัวถัง
65	609	ชนรถที่วิ่งสวนทางแบบผิดกฎหมาย
66	700	อื่นๆ ที่เกี่ยวกับนอกทางบนทางตรง
67	701	เสียหลักตกถนนทางด้านซ้าย
68	702	เสียหลักตกถนนทางด้านขวา
69	703	เสียหลักตกถนนทางด้านซ้าย ชนถาวรวัตถุ
70	704	เสียหลักตกถนนทางด้านขวา ชนถาวรวัตถุ
71	705	เสียหลัก ไปอยู่ในช่องจราจรอื่นๆ
72	706	แลลบเสียหลักตกถนนบนทางตรงขณะเลี้ยวซ้ายเข้าทางเชื่อม
73	707	แลลบเสียหลักตกถนนบนทางตรงขณะเลี้ยวขวาเข้าทางเชื่อม
74	708	ชนเกาะกลางถนน รวมถึงเสาไฟ ฯลฯ
75	709	เสียหลักตกถนนเนื่องจากหลบรถในทิศทางตรงข้ามวิ่งคู่กันมา
76	710	เสียหลักแล้วป็นข้ามเกาะกลางถนน
77	800	อื่นๆ ที่เกี่ยวกับนอกทางบนทางโค้ง

ตารางที่ ก-4 ลักษณะการชนรูปแบบต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	code	description
78	801	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งขวา
79	802	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งซ้าย
80	803	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งขวา ชนเสาไฟ ต้นไม้ ฯลฯ
81	804	เสียหลักตกถนนขณะวิ่งบนทางโค้งซ้าย ชนเสาไฟ ต้นไม้ ฯลฯ
82	805	แฉลบเสียหลักตกถนนบนทางโค้งซ้ายขณะเลี้ยวซ้ายเข้าทางเชื่อม
83	806	แฉลบเสียหลักตกถนนบนทางโค้งขวาขณะเลี้ยวขวาเข้าทางเชื่อม
84	900	ตกถนนลักษณะอื่นนอกเหนือจากข้างต้น
85	901	ตกจากรถ
86	902	ชนรถไฟ
87	903	ชนประตูกันทางข้ามรถไฟ
88	904	ไม่มีรายละเอียด



### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายันทวัฒน์ ลือสิงหนาท เกิดวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาบริหารการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 ระหว่างการศึกษาได้รับทุน ผู้ช่วยสอนและวิจัยภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเป็นผู้ช่วยวิจัยสถาบัน การขนส่งแห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**