



กรมทางหลวง

สำนักวิจัยและพัฒนาทาง

Department of Highways

โครงการศึกษาสภาพความผิดปกติทางของถนนประเภทต่างๆ ในประเทศไทย

บทความทางวิชาการ (Journal)



การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืดของผิวทางและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ

Study of Relationship between road friction and related factors using statistics analysis

บทคัดย่อ

สาเหตุหนึ่งของการเกิดอุบัติเหตุมาจากค่าความฝืดของผิวทาง ค่าความฝืดของผิวทางจึงมีความสำคัญในการประเมินระดับความปลอดภัยของถนน จำเป็นต้องมีการควบคุมและรักษาระดับประสิทธิภาพของถนนในด้านความปลอดภัย กรมทางหลวงที่มีหน้าที่ในการรับผิดชอบในตรวจสอบค่าความฝืดหรือสภาพของผิวทาง สำหรับใช้ในการคาดการณ์สภาพผิวทางในอนาคตและทำการวางแผนในการปรับปรุงผิวทางให้มีสภาพที่เหมาะสมและความปลอดภัย งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าความฝืดของผิวทางกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อพยากรณ์การเสื่อมสภาพของผิวทางจากค่าความฝืดของผิวทาง ใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์แบบถดถอย (Regress Analysis) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืด, ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน (ADT) และอายุของผิวทางจากการสำรวจค่าความฝืดของผิวทางพร้อมข้อมูลประวัติสายทาง โดยมีการสำรวจข้อมูลด้านการจราจรด้วยเครื่องมือวัดปริมาณจราจร Microwave Radar และ CCTV เป็นจำนวน 50 สายทาง จากการศึกษาได้พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความฝืดของผิวทาง คือ ค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน ADT และอายุของผิวทาง โดยที่ค่าความฝืดจะมีความสัมพันธ์กับ AADT คือเมื่อมี AADT มากค่าความฝืดจะมีค่าน้อย ในขณะที่อายุของผิวทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความฝืดของผิวทางลดลง การศึกษานี้จะทำให้สามารถคาดการณ์อายุการใช้งานเพื่อที่จะนำไปใช้ในการวางแผนดำเนินการปรับปรุงหรือบำรุงสภาพผิวทาง ให้ผิวทางมีอายุการใช้งานและความปลอดภัยที่เพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: ค่าความฝืดของผิวทาง, การเสื่อมสภาพความฝืด, ปริมาณจราจร, ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความฝืด, อายุผิวทาง

1. บทนำ

ปัญหาอุบัติเหตุจราจรบนท้องถนนยังเป็นปัญหาที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศไทย [1] ที่ทำให้เกิดความสูญเสียเป็นอย่างมากต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ อุบัติเหตุบนท้องถนนสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ สาเหตุหนึ่งของการเกิดอุบัติเหตุก็คือ สภาพของผิวจราจร เนื่องจากผิวทางมีสภาพของความเสียดทานที่ไม่เหมาะสม ซึ่งค่าความฝืดของผิวทาง คือ แรงต้านทานบริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อและผิวทาง [2] ซึ่งค่าความเสียดทานของผิวทางถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการประเมินสภาพความปลอดภัยของถนน โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความฝืดของผิวทางมีหลายส่วน เช่น ปริมาณจราจร และ อายุของผิวทาง เป็นต้น ปัญหาสภาพของผิวทางและการสิ้นเปลืองจึงถือได้ว่าเป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญและอาจส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนได้ ดังนั้นจึงจะต้องมีการตรวจสอบค่าความฝืดหรือสภาพของผิวทาง สำหรับใช้ในการคาดการณ์สภาพผิวทางในอนาคตและทำการวางแผนในการปรับปรุงผิวทางให้มีสภาพที่เหมาะสมและความปลอดภัย

งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืดและปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อค่าความฝืดของผิวทาง เพื่อนำไปใช้ในการคาดการณ์ค่าความฝืดเพื่อให้สามารถวางแผนงานปรับปรุงผิวทางสำหรับการยืดอายุการใช้งานและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของงานด้านความปลอดภัยบนท้องถนน

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผิด

ความผิดของถนนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญ 4 ปัจจัย โดยอ้างอิงงานจากการศึกษาของ [2] [3] ดังนี้

2.1.1 คุณลักษณะของพื้นผิวทาง (Pavement Characteristics)

คุณลักษณะของพื้นผิวทางที่มีผลต่อค่าความผิด อาทิ เช่นความหยาบละเอียด(Texture), ความขรุขระ(Roughness), ร่องล้อ(Rutting) ความหยาบละเอียดของพื้นผิวถนนส่งผลให้ความผิดดีขึ้น ความขรุขระของถนนอาจทำให้ล้อยานพาหนะเกิดอาการกระด้างเมื่อขับผ่านซึ่งส่งผลให้ความเสียดทานระหว่างล้อและผิวถนนลดลง ร่องล้อที่เกิดขึ้นบนผิวถนนโดยเฉพาะเมื่อมีน้ำขังมีส่วนทำให้ค่าความเสียดทานระหว่างล้อและผิวถนนลดลง

2.1.2 คุณลักษณะของล้อยาง (Tire Characteristics)

คุณลักษณะของล้อยาง (Tire Characteristics) อาทิ เช่น ชนิดของยาง (Tire Type), ดอกยาง (Tire Tread), ลมยาง (Inflation Pressure) เป็นต้น ซึ่งการออกแบบล้อยางโดยทั่วไปจะเลือกออกแบบให้ล้อยางมีคุณลักษณะที่ดีอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างในด้านความทนทานต่อการสึกหรอหรือด้านความผิดล้อยางที่ถูกออกแบบให้มีเนื้อยางแข็งจะมีความทนทานต่อการสึกหรอมากกว่าล้อยางที่ถูกออกแบบให้มีเนื้อยางอ่อน ในขณะเดียวกันเนื้อยางที่อ่อนจะช่วยให้ล้อรถมีความผิดได้ดีกว่าล้อยางที่มีเนื้อยางแข็ง แต่หากในสภาพผิวถนนที่เปียกและใช้ความเร็วสูง เนื้อยางแข็งจะมีความผิดที่ต่ำกว่าล้อยางที่มีดอกยางที่ถูกออกแบบมาอย่างดีและสภาพดีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของค่าความผิดได้และช่วยรีดน้ำในขณะแล่นบนถนนเปียกได้ดีลมยางที่มากหรือน้อยเกินไปมีผลให้ค่าความผิด

2.1.3 คุณลักษณะของการใช้รถ (Vehicle Operational Characteristics)

คุณลักษณะของการใช้รถที่มีผลต่อค่าความผิด อาทิ เช่นความเร็ว(Speed), อาการลื่น (Tire Slip), น้ำหนักรถ (Axle Load), ชนิดของรถ (Type of Vehicle) เป็นต้น โดยความเร็วของยานพาหนะเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความผิดความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การรีดน้ำบนถนนที่เปียก ลดลงส่งผลให้สภาพเปียกของถนนมีผลต่อการเบรก ยานพาหนะเมื่อทำการเบรกความเร็วของล้อจะลดลง ถ้าความเร็วของล้อลดลงด้วยอัตราที่สูงกว่าความเร็วของรถล้อยางจะมีอาการลื่น(ไหม้ไหม)ไปบนพื้นถนนและเมื่อเกิดภาวะเบรกล้อลื่นรถที่อยู่ในสภาพลื่นจะลื่นไถลไปบนพื้นถนนระบบ Anti-lockbrake system (ABS) ถูกออกแบบเพื่อช่วยสร้างสมดุลความเร็วของล้อและรถ ในขณะเบรกช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการลื่นไถลความเสียดทานระหว่างล้อและพื้นถนนจะลดลงเมื่อน้ำหนักรถสูงขึ้น โดยทั่วไปรถบรรทุกจะมีประสิทธิภาพเรื่องความเสียดทานต่ำกว่ารถยนต์โดยสาร

2.1.4 สภาพแวดล้อมอื่นๆ (Environmental Factors)

เช่นสภาพเปียก (Wetness), สิ่งเปื้อน (Contamination), อุณหภูมิ (Temperature), ฤดูกาล (Seasonal variation) ถนนที่มีสภาพเปียกหรือมีสิ่งเปื้อน เช่นโคลนน้ำมันบนผิวถนนจะลดประสิทธิภาพความผิดอุณหภูมิของถนนที่สูงขึ้นจะทำให้ล้อยางสูญเสียสภาพง่าย ทำให้ค่าความผิดลดลงได้ รวมถึงฤดูแห้งแล้งที่ยาวนานส่งผลให้เกิดฝุ่นผงขนาดเล็กปกคลุมผิวถนนทำให้เกิดความผิดลดลง ในขณะที่เกิดเหตุการณ์ฝนตกหนักน้ำ จะทำการชะล้างฝุ่นตะกอนขนาดเล็กออกไปจากผิวถนน ส่งผลทำให้ความผิดเพิ่มมากขึ้น

2.2 วิธีการทดสอบหาค่าความฝืด

2.2.1 วิธีการทดสอบความฝืดของถนน

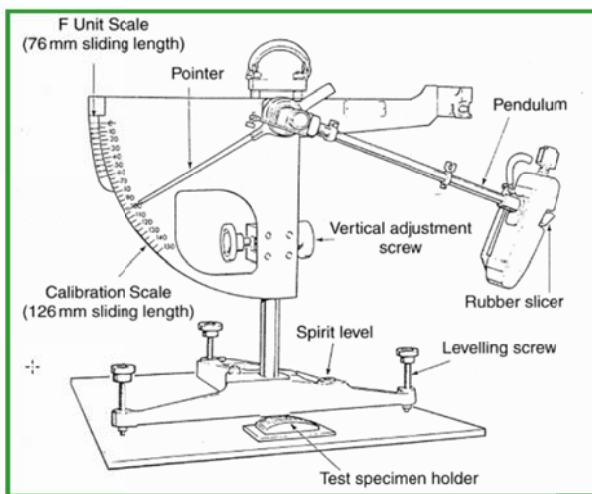
วิธีการทดสอบความฝืดของถนนถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามการใช้งาน คือ 1) วิธีการทดสอบความฝืดในห้องปฏิบัติการ และ 2) วิธีการทดสอบความฝืดของถนนแบบเคลื่อนที่ต่อเนื่อง [3, 4] โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบความฝืดผิวทางในห้องปฏิบัติการ

(Laboratory Measurement of Pavement Friction)

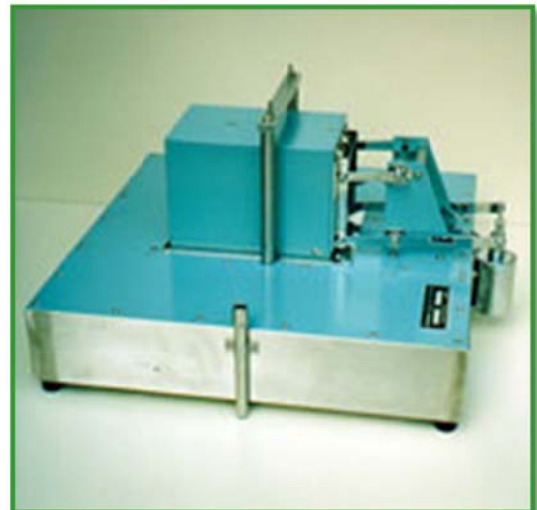
เป็นเครื่องมือวัดความฝืดในห้องปฏิบัติการที่มีความสะดวกในการพกพา มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบความฝืดผิวถนน

- British Pendulum Tester (BPT) ลักษณะอุปกรณ์จะมีชิ้นยางทดสอบติดอยู่ที่ปลายแขนของลูกตุ้ม ดังรูปที่ 1 ลูกตุ้มจากระดับปล่อยเคลื่อนที่ตามส่วนโค้งสัมผัสผิวทดสอบ หลังสัมผัสผิวทดสอบแขนลูกตุ้มจะแกว่งไปยังอีกข้างซึ่งลูกตุ้มมีความสูงลดต่ำกว่าระดับปล่อย พลังงานจลน์สูญเสียไปกับความฝืด จึงสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานได้ BPT มีความสะดวกในการใช้งาน ค่าบำรุงรักษาต่ำ ด้วยน้ำหนักที่น้อยและความเร็วที่ต่ำของการทดสอบ จึงสอดคล้องกับความฝืดในระดับ micro texture เครื่องมือวัดชนิดนี้รองรับมาตรฐาน ASTM E303



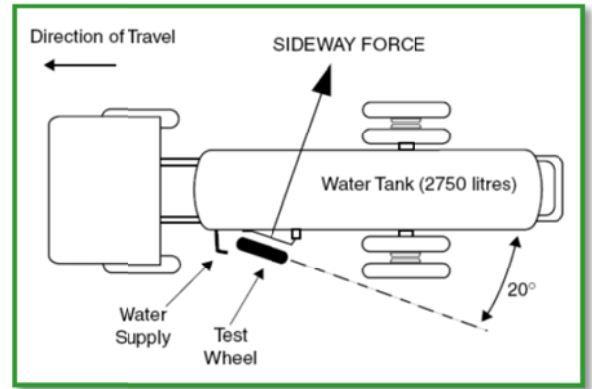
รูปที่ 1 British Pendulum Tester (BPT)

- Dynamic Friction Tester (DFT) เครื่องมือเป็นลักษณะจานหมุนในแนวราบดังรูปที่รูปที่ 2 ภายใต้จานหมุนมียางทดสอบติดไว้ 3 จุด โดยหลักการทดสอบ ความเร็วของจานหมุนจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อยางทดสอบสัมผัสกับผิวถนน จึงสามารถวัดแรงเสียดทานเพื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์เสียดทานได้ ข้อดีของการทดสอบคือ สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วได้สูงถึง 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ด้วยหน้าจานกว้างถึง 284 มิลลิเมตร พื้นที่ทดสอบจึงมากกว่า BPT จึงให้ผลที่ดีกว่า BPT แต่ก็มีน้ำหนักมากและราคาสูงกว่า BPT เครื่องมือวัดชนิดนี้รองรับมาตรฐาน ASTM E1911



รูปที่ 2 Dynamic Friction Tester (DFT)

วิธีการทดสอบความฝืดของถนนแบบเคลื่อนที่ต่อเนื่อง (Continuous Network Measurement methods) เป็นวิธีการวัดความฝืดระหว่างล้อยางของรถทดสอบกับผิวถนน กระบวนการทดสอบความฝืดด้วยวิธีนี้สามารถขยายระยะทางต่อเนื่องออกไปได้ตามระยะทางที่ต้องการเพิ่มขึ้นพื้นฐานการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ Locked wheel, Side-force, Fixed Slip และ Variable Slip



รูปที่ 3 Sideway Force

- Locked Wheel เป็นวิธีการทดสอบความฝืดผิวทางในลักษณะล้อคล้อ จำลองสภาพการห้ามล้อกะทันหัน ค่าความเร็วไถลมีค่าเท่ากับความเร็วของการเคลื่อนที่ วิธีการนี้รองรับมาตรฐาน ASTM E274 โดยปกติความเร็วทดสอบอยู่ที่ประมาณ 40-60 ไมล์/ชั่วโมง ให้น้ำคลุมผิวทางเป็นระยะ 10-18 นิ้ว ก่อนหน้าล้อทดสอบ ความสูงน้ำประมาณ 0.5 มิลลิเมตร
- Sideways-force Coefficient Routine Investigation machine (SCRIM) เป็นวิธีการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะถนนในการเลี้ยวโค้ง ด้วยหลักการทำงานของรถทดสอบประเภทนี้ ล้อทดสอบอยู่บริเวณกลางตัวรถ มีลักษณะล้อเรียบไม่มีดอกยาง วางตัวทำมุมในช่วง 7.5-20° กับทิศทางการเคลื่อนที่ ด้วยความเร็วประมาณ 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีการให้น้ำบริเวณหน้าล้อทดสอบ ด้วยลักษณะวางตัวของล้อจะเกิดแรงกระทำด้านข้างของตัวล้อ (Sideway force) ดังรูปที่ 3 การวัดแบบนี้ต้องใช้เครื่องมือขนาดใหญ่และค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง แต่ข้อดีของ SCRIM คือ สามารถเพิ่มระยะทางการวัดได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความสัมพันธ์ของข้อมูลความฝืดกับอุบัติเหตุเพิ่มขึ้นไม่กีดขวางการจราจรมากจนเกินไป และสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วในการทดสอบได้

- Fixed Slip ล้อทดสอบความฝืด มีการทดสอบให้ต่ำลงจากความเร็วทดสอบ ลักษณะการทดสอบความฝืดของผิวทางจำลองการห้ามล้อแบบไม่ล้อคล้อ (Anti-Brake System) ค่าคงที่ของการทดสอบเรียกว่า Slip Ratio ค่าความฝืดที่ได้จากการทดสอบเรียกว่า Brake Slip Number (BSN) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเร็วทดสอบและค่าเปอร์เซ็นต์สลิป
- Variable Slip เป็นการทดสอบความฝืดผิวทางคล้ายแบบ Fixed Slip แต่ล้อทดสอบสามารถเปลี่ยนแปลงค่า Slip Ratio ได้ตลอดการทดสอบ ค่าความฝืดเรียกว่า Slip Friction Number (SFN) เป็นค่าได้จากการวัดแรงเสียดทานตามยาวต่อแรงกดกระทำต่อล้อในแนวตั้ง การทดสอบรองรับมาตรฐาน ASTM E1859



รูปที่ 4 รถทดสอบความฝืดแบบ Fixed Slip และ Variable Slip ตามลำดับ

2.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีดัชนี

ความฝืดสากล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความฝืดของเครื่องมือที่มีวิธีการหลักการทดสอบที่แตกต่างกัน เพื่อการเปรียบเทียบเครื่องมือที่มีลักษณะแตกต่างกันหลายด้าน เช่น ลักษณะการทดสอบ, ระยะเวลาทดสอบ, การทดสอบแบบเคลื่อนที่, การทดสอบแบบจุด โดยทั่วไปจะทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ทางสถิติเพื่อสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น โดยประโยชน์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า

- ❖ ใช้สอบเทียบเครื่องมือทั้งสองลักษณะให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ และสามารถเปรียบเทียบเครื่องมือเพื่อการศึกษา และวิเคราะห์ให้เป็นไปตามมาตรฐานของเครื่องมือแต่ละประเภท

- ❖ สามารถรู้ถึงการตอบสนองของแต่ละเครื่องมือที่วัดความฝืดแต่ละสภาพของผิวทาง

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเพื่อการสอบเทียบของเครื่องมือที่มีลักษณะแตกต่างกัน และปรับค่าความฝืดให้เป็นลักษณะของการทดสอบที่เหมือนกัน กล่าวคือดัชนีความฝืดสากล (International Friction Index, IFI) คือแบบจำลองที่ปรับเทียบความสัมพันธ์ของค่าความฝืดที่มีลักษณะแตกต่างกันของเครื่องมือ โดยคำนึงถึงสองปัจจัยที่แตกต่างกัน คือ ความเร็ว และความฝืด ซึ่งดัชนีความฝืดสากลดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM E1960 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดที่แตกต่างกันที่ใช้ทั่วโลก และเป็นการพัฒนาความสัมพันธ์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น โดยมีปัจจัยหลักของการคำนวณ คือ

- ❖ ความเร็วคงที่ (Sp) คือ การปรับเทียบความเร็วที่แตกต่างกันให้มีความเร็วที่เหมือนกันของเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความฝืดในสภาพที่เปียกของผิวทาง
- ❖ ความฝืดที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ($FR60$) คือ การปรับเทียบของค่าความฝืดที่ความเร็วคงที่ ให้เป็นมาตรฐานความฝืดที่ความเร็วมาตรฐาน 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ประโยชน์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยดัชนี

ความฝืดสากล พบว่า

- ❖ ทำให้ข้อมูลของค่าความฝืด ที่มีความแตกต่างกัน ทั้งวิธีการวัดค่าความฝืด และสภาพผิวทาง มีความสอดคล้องกัน
- ❖ ความฝืดที่วัดได้เป็นความฝืดที่ความเร็วมาตรฐานเดียวกัน คือ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง

พัฒนาความสัมพันธ์วิธีทางสถิติในรูปแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจให้ดีขึ้น

[5]ได้นำเสนอการใช้ (International Friction Index, IFI) ในการประมาณความเร็วคงที่ Sp โดยใช้วิธีของ Sand Patch และคำนวณ $FR60$ เพื่อนำทั้งสองค่าไปคำนวณสมการ $F60$ จากสมการดังนี้

$$Sp = a \times (b \times Tx)$$

โดย Sp คือความเร็วคงที่ในสภาพถนนเปียก (Km/h)
a ,b คือ ค่าคงที่ของแต่ละเครื่องมือ โดย a = -
11.6 b = 113.6

Tx คือ (MTD) ค่าเฉลี่ยความลึกของพื้นผิว (mm)
จากวิธีทดสอบ Sand Patch

การคำนวณค่าปรับแก้ความผิดที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (FR60) ของเครื่องมือที่ใช้ความเร็วใดๆจากสมการ ดังนี้

$$FR60 = FRS \times \exp(S-60/Sp)$$

โดย FR60 คือ ค่าปรับแก้ความผิดที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

FRS คือค่าความเสียหายที่ได้จากการทดสอบภาคสนามด้วยเครื่องมือประเภทต่างๆ

S คือ ความเร็วของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

ค่า FR60 ที่ได้ปรับแก้ นำไปคำนวณหาค่า F60 จากสมการดังนี้

$$F60 = A + (B \times FR60) + (C \times Tx)$$

โดย F60 คือจำนวนค่าความเสียหายของ IFI
A, B, C คือ ค่าคงที่ของแต่ละเครื่องมือ (ASTM E1960)
Tx คือ ค่า MTD ค่าเฉลี่ยความลึกของพื้นผิว (mm) จากวิธีทดสอบ Sand Patch
FR60 คือ ความผิดที่ 60 กิโลเมตร/ ชั่วโมง

[6] ได้นำเสนอการใช้แบบจำลองตาม Permanent International Association of Road Congresses (PIARC) และค่าดัชนีความผิดสากล (International Friction Index, IFI) เพื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องกันระหว่าง พื้นผิว และความผิดโดยวิธีการ IFI จะช่วยให้วิธีการวัดความผิดในแต่ละวิธีมีความสอดคล้องกันจาก

การวัดด้วยเครื่องมือที่ต่างกัน รวมถึงผลจากการวัดที่มีความเร็วขณะไถลเลื่อนที่ต่างกัน โดย IFI นี้จะเป็นดัชนีที่ใช้สอบเทียบโดยได้เปรียบเทียบ 3 เครื่องมือ ในตำแหน่งเดียวกัน คือ British Pendulum Tester (BPT) ,Locked-Wheel Skid Trailer และDynamic Friction Tester (DFT) เปรียบเทียบความผิดของเครื่องมือที่วัดความผิดเป็นจุดและวัดความผิดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงผลออกมาเป็นค่า F60 ตามตารางที่ 1

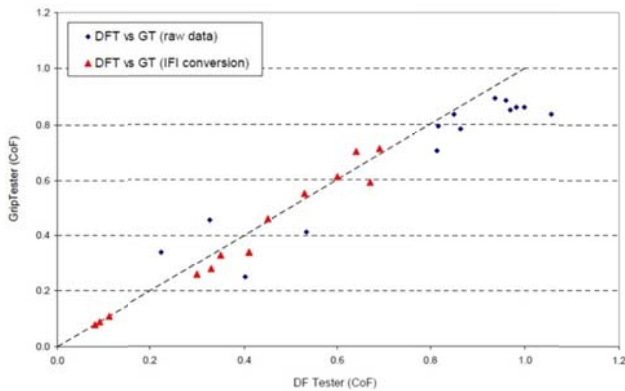
ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบเครื่องมือทั้ง 3 ประเภท

Variable/Constant	DF Tester	BPN	Locked Wheel Skid Tester
S (km/h)	20	10	64
FRS	0.648	72	51
Sp (km/h)	86.6	86.6	86.6
FR60	0.408	40	0.54
A	0.081	0.056	-0.023
B	0.732	0.008	0.607
C	0	0	0.098
F60	0.38	0.38	0.37

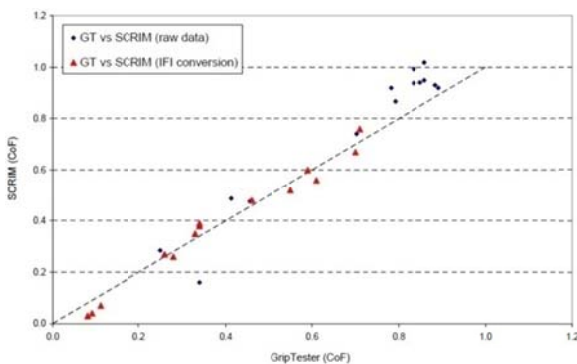
[6]

โดยผลที่ได้พบว่า จากการใช้สมการ IFI แปลงค่าความผิดให้เป็นค่าความผิดขณะความเร็วที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในสภาพถนนเปียกทำให้ได้ค่าความผิดมีค่าใกล้เคียงกัน

[7] ได้นำเสนอ ผลของการอบรมเชิงปฏิบัติการ ของการทดสอบความผิด ที่สนามบินชิตนีย์ การเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การดัดลื่นใจ (R^2) ของเครื่องมือ Grip Tester, SCRIM, Roar ,Dynamic Friction Tester (DFT) ของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละเครื่องมือ จะแสดงดัง รูปที่ 5 และ 6 แสดงการแปลงดัชนีความผิดสากล (IFI) และตารางที่ 2 จากกราฟแสดงผลของข้อมูลที่มีการกระจายตัวมากขึ้น ซึ่งให้ผลที่ดีขึ้นของค่า R^2 ในขณะที่มีบางเครื่องมือที่มีค่า R^2 ลดลง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Grip Tester กับ Dynamic Friction Tester (DFT) [7]



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง SCRIM กับ Grip Tester [7]

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลองก่อนและหลังการปรับค่าโดยใช้ International Friction Index (IFI)

Inter-device correlation	R^2	
	Raw data	IFI conversion (F60)
DFT to GripTester (Figure 7.1)	0.89	0.96
DFT to SCRIM (Figure 7.2)	0.91	0.98
DFT to ROAR (Figure 7.3)	0.87	0.75
GripTester to SCRIM (Figure 7.4)	0.94	0.98

[7]

[8] ได้กล่าวไว้ว่า Permanent International Association of Road Congresses (PIARC) ในช่วง 1992-1995 ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบวิธีการ และความสอดคล้องของการวัดความผิด ของการกำหนดผิวทาง และพื้นผิวสัมผัส สำหรับการศึกษานี้ได้ดำเนินการที่ประเทศเบลเยียม และสเปน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อ การ

นำความผิดจากอุปกรณ์ที่แตกต่างกันมารวมกัน ที่วัดได้จากผิวทางที่มีลักษณะพื้นผิวต่างๆ และการชดเชยของความเร็วที่ต่างกันของแต่ละอุปกรณ์ที่วัดความผิด และมีวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ คือ

- ❖ เพื่อพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างความผิด และพื้นผิว
- ❖ เพื่อความสะดวกของการแลกเปลี่ยนข้อมูล และ ประสานข้อมูลเพื่อแจ้งการวัดค่าซ้ำ และ ข้อผิดพลาดของอุปกรณ์
- ❖ เพื่อพัฒนาระดับความผิดที่อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถใช้วัดบอกถึงสถานะปัจจุบันของพื้นผิว

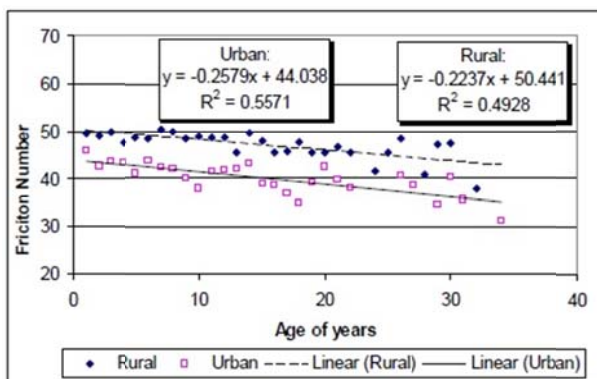
รวม 16 ประเทศที่เข้าร่วม และดำเนินการในสภาพที่แตกต่างกัน 51 การทดสอบของความผิด หรือ พื้นผิว 54 จุดสำรวจรวมถึงสนามบินด้วย กระจายอยู่ในประเทศสเปนและเบลเยียม เป็นการวัดที่ถูกสร้างขึ้นด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน และทำการทดสอบซ้ำอย่างน้อย สองครั้ง ฐานข้อมูลโดยรวมประมาณ 16, 000 ข้อมูลของการวัดโดยประกอบด้วยเครื่องมือ Locked Wheel, Retarded Wheel, ABS, Variable Slip, Side Force, Pendulum และอุปกรณ์แบบใหม่ ตามมาตรฐานของการปฏิบัติ E1960-98 สำหรับการคำนวณดัชนีผิวนาชาติของพื้นผิวของผิวทาง

2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าความผิดกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความผิดในหลายด้าน อาทิเช่น ปริมาณจราจร อายุผิวทาง ประเภทผิวทาง ลักษณะการใช้พื้นที่(เขตเมืองและนอกเขตเมือง)

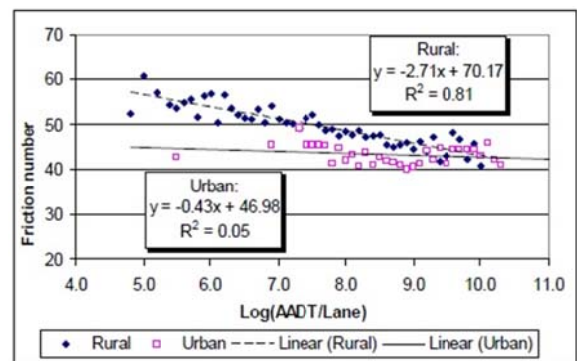
จากการศึกษางานวิจัยของ Song, Chen, Smith and Hedfi (2006) [9] ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ขยายกว้างออกไปจากข้อมูลที่ได้จาก Maryland State Highway Administration (MDSHA) Pavement Management System (PMS) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ระหว่างตัวบ่งชี้ค่าความผิด (Friction Number)

และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผิวทางที่เป็น Hot Mix Asphalt (HMA) ที่คิดเป็น 98% ของเครือข่าย MDSA ทั้งหมด ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาจะรวมถึงอายุของผิวทาง, สถานที่ตั้งของผิวทาง (ในเมืองหรือชนบท), ความหนาแน่นของการจราจร, คุณสมบัติของมวลรวม, การใช้การปูผิวทางแบบ Slurry และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน โดยใช้การวิเคราะห์แบบถดถอยในการวัดปริมาณความสำคัญของปัจจัยเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแตกต่างของค่าความฝืดระหว่างถนนในเมืองและถนนชนบท



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ค่าความฝืดกับอายุผิวทางของถนนในเมืองและถนนในชนบท [9]

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าความฝืดระหว่างถนนในเมืองและถนนในชนบทจะปรากฏขึ้นในหนึ่งปีหลังจากปรับปรุงผิวหน้าและหลังจากสองปีความแตกต่างจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าค่าความฝืดจะมีค่าคงที่ประมาณหนึ่งปีหลังจากการปรับปรุงผิวหน้าเนื่องจากอัตราการเสื่อมสภาพหลังจากนั้นมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับปีแรก

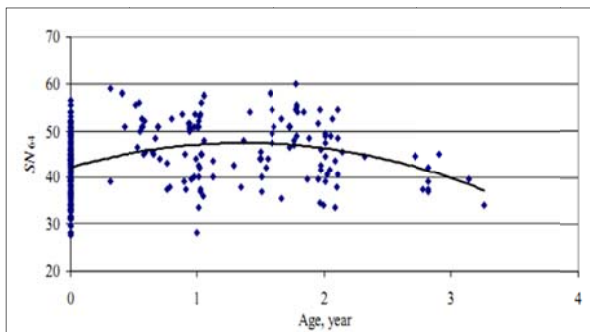


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ค่าความฝืดกับปริมาณจราจรของถนนในเมืองและถนนชนบท [9]

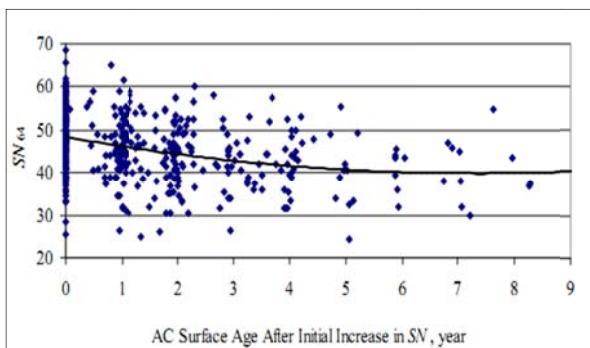
จากรูปที่ 8 เมื่อ $\text{Log}(\text{AADT}/\text{Lane})$ มีค่าน้อยกว่า 9.5 ในขณะที่มีปริมาณจราจรเท่ากันถนนในชนบทจะมีค่าความฝืดที่สูงกว่าถนนในเมืองและความแตกต่างจะลดลงตามความหนาแน่นของการจราจร เมื่อ $\text{Log}(\text{AADT}/\text{Lane})$ มีค่ามากกว่า 9.5 ถนนในชนบทจะมีค่าความฝืดที่ใกล้เคียงกับถนนในเมือง อธิบายได้ว่าเมื่อมีปริมาณจราจรถึงระดับหนึ่งรูปแบบการจราจรของถนนในชนบทจะมีลักษณะที่คล้ายกับถนนในเมือง แสดงให้เห็นว่ารูปแบบของการจราจร (ความเร็ว, ความถี่ในการหยุด, ฯลฯ) จะมีบทบาทที่สำคัญกว่าความหนาแน่นของการจราจรสำหรับค่าความฝืดของผิวทาง

จากงานวิจัยของ [10] ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าความฝืดของผิวทางคอนกรีตและลาดยาง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความฝืดในระยะยาว เช่น ปริมาณจราจรสะสม สัดส่วนประเภทต่างๆของมวลรวม สัดส่วนรถบรรทุกหนัก รวมถึง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืดและอายุผิวทางและปริมาณจราจรสะสมของผิวทางลาดยาง ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10 โดยค่าความฝืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลานั้นๆ เรียกว่าช่วง “Initial Increase Period” โดยเฉพาะในช่วง 1 ปีแรกหลังจากการปูผิวทาง เป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าความฝืดช่วงแรกและช่วงหลังช่วง Initial Increase Period เห็นถึงแนวโน้มที่แตกต่างกันระหว่างความสัมพันธ์ของค่าความฝืดและอายุผิวทาง ซึ่งสาเหตุของค่าความฝืด

หลังจาก Initial Increase Period อาจเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุเพิ่มขึ้นจากผิวทางอยู่ในสภาพเสียหาย (Distress)

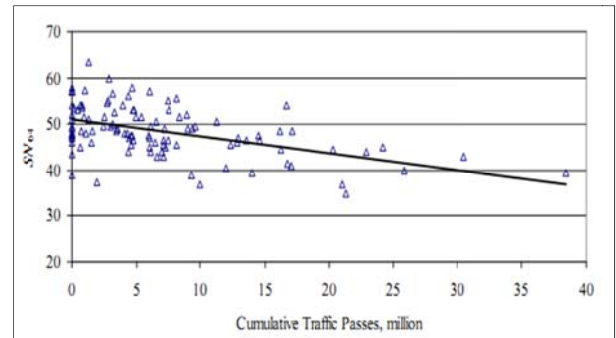


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและอายุผิวทางระหว่างช่วง Initial Increase Period [10]

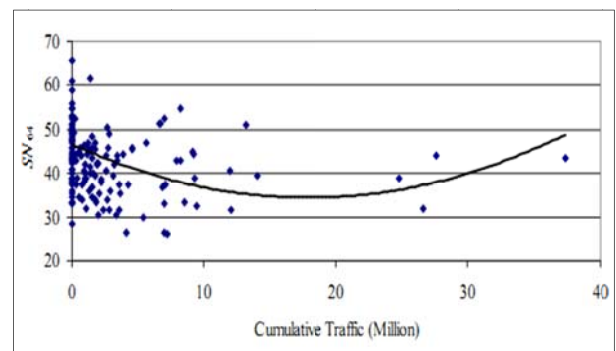


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและอายุผิวทางหลังช่วง Initial Increase Period [10]

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสมหลังช่วง Initial Increase Period ของผิวทางคอนกรีต (รูปที่ 11) และ ผิวทางลาดยาง (รูปที่ 12) จะเห็นได้ว่าผิวทางคอนกรีตมีค่าความผิดลดลงเมื่อปริมาณจราจรสะสมเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ผิวทางลาดยางเมื่อมีปริมาณจราจรสะสมเพิ่มมากขึ้น ผิวทางลาดยางมีค่าความผิดลดลงในน้อยกว่าช่วง 20 ล้านคัน แต่เมื่อมีปริมาณจราจรสะสมเพิ่มมากขึ้น 20 ล้านคัน ค่าความผิดเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยผิวทางเกิดการเสียหายจากการใช้งานหนักนั่นเอง



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสมของผิวทางคอนกรีต [10]



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสมของผิวทางลาดยาง [10]

และ [10] ยังได้ศึกษาสมการความสัมพันธ์มีค่าเป็นระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสม สัดส่วนมวลรวมประเภทต่างๆ และสัดส่วน

$$\ln(FN) = 3.99 - 0.0419 \ln(\text{Traffic}) - 0.00129 \text{DOL} + 0.00474 \text{HV}$$

โดย FN คือค่าความผิด Traffic คือปริมาณจราจรสะสมตลอดช่วงอายุออกแบบใช้งาน DOL คือสัดส่วนของมวลรวมประเภทต่างๆ และ HV คือสัดส่วนรบบรทุกหนัก โดยปริมาณจราจรสะสมเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสภาพเสื่อมความผิดของผิวทาง

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Oh, Madanat, Ragland and Chan (2010) [11] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของค่าความผิด จากข้อมูลค่าความผิดที่กรมการขนส่งของแคลิฟอร์เนีย (Caltrans) ได้รวบรวมไว้ตลอดเครือข่ายทางหลวงของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมากกว่า 300 ไมล์ โดยใช้รถพ่วง locked - wheel skid trailer ตามมาตรฐาน ASTM E-274

Caltrans ได้จัดหาข้อมูลสำหรับการศึกษา ประกอบด้วย ค่า SN40 (Skid Number ที่ 40 mph), ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้ง (เส้นทาง, ทิศทาง, postmile และช่องจราจรที่ใช้ในการวัด), ข้อมูลด้านเวลา (ปีและเดือนของการวัด), ข้อมูลด้าน Geometry (post speed, ADT, ชนิดของผิวทาง, จำนวนช่องจราจรทั้งหมดและระดับการให้บริการ) และข้อมูลด้านการตรวจวัด (ล้อ, สภาพอากาศ, อุณหภูมิ และความเร็วในการทดสอบ) ใช้แบบจำลองข้อมูลแบบ Random Effect Panel ใช้ในการวิเคราะห์ แบบจำลองจะดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์ LINDEP ซึ่งมีผลการประมาณค่าออกมา ได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} \ln(\text{SN40}) = & 4.143 - 0.059\ln(\text{TRRAFFIC}) - 0.121(\text{LANE}) \\ & - 0.001(\text{TEMP}) + 0.001(\text{PRCP}) - 0.020(\text{DP}) - \\ & 0.008\ln(\text{AGE}) \end{aligned}$$

เมื่อ SN40 = ค่าความฝืดที่วัดที่ 40 mph (Skid Number), TRRAFFIC = สภาพการจราจร, LANE = ช่องจราจร, TEMP = อุณหภูมิ, PRCP = ปริมาณน้ำฝนที่ได้รับ, DP = ความยาวของช่วงที่แห้ง, AGE = อายุของผิวทาง

จากสมการที่ได้ ระหว่างตัวแปรทั้งหมด ค่า ADT จะเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุด จากค่าสัมประสิทธิ์ของ $\ln(\text{ADT})$ ค่า SN40 จะมีค่าลดลงขึ้นอยู่กับ ADT

- ❖ ค่าสัมประสิทธิ์ของช่องจราจรแสดงให้เห็นว่าค่า SN40 มีค่านัยสำคัญที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ SN40 เนื่องจากการกระจายตัวของความหนาแน่นของการจราจร
- ❖ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบมีนัยสำคัญเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์มีลักษณะเป็นธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามระดับความเชื่อมั่นยังอยู่ที่ 90% ไม่ใช่ 95% อาจเป็นเพราะในการวัดอุณหภูมิไม่มีการบันทึกวันและเดือน

- ❖ ค่าสัมประสิทธิ์ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือนมีค่านัยสำคัญอยู่ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และมีเครื่องหมายเป็นค่าบวก
- ❖ ค่าสัมประสิทธิ์ของช่วงจำนวนเดือนที่มีฝนตกครั้งสุดท้ายมีค่านัยสำคัญและคาดการณ์ได้ว่า ค่า SN40 จะลดลงเมื่อช่วงเวลานั้นเพิ่มมากขึ้น
- ❖ ค่าสัมประสิทธิ์ของ $\ln(\text{AGE})$ แสดงให้เห็นว่าค่า SN40 จะลดลงขึ้นอยู่กับระยะเวลา

ปริมาณจราจรและอายุผิวทางเป็น 2 ส่วนสำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อค่าการเสื่อมสภาพความฝืดของผิวทาง กล่าวคือค่าความฝืดหรือ SN40 จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณจราจรและอายุผิวทางเพิ่มมากขึ้น ปัจจัยด้านสภาพอากาศ อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยรองลงมาซึ่งจะทำให้ค่า SN40 เกิดการเปลี่ยนแปลงได้

3. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้มีขั้นตอนในการศึกษา 3 ส่วนหลักดังนี้

- ❖ การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลค่าความฝืด และข้อมูลปริมาณจราจร
- ❖ การวิเคราะห์ผลทดสอบค่าความฝืดจากเครื่องมือต่าง เพื่อใช้เป็นส่วนสนับสนุนในการเปรียบเทียบค่าความฝืดจากการทดสอบวิธีต่าง ให้มีความสอดคล้องกัน
- ❖ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืดและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถคาดการณ์ค่าความฝืดของผิวทางประเภทต่างๆ ได้จากปริมาณจราจรสะสม

3.1 ข้อมูลค่าความฝืด

สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ได้ติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความฝืดซึ่งเป็นเครื่องมือวัดค่าความฝืดแบบต่อเนื่องจากเครื่องมือ ที่เรียกว่า Skid (ASFT T-10)

ซึ่งเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E1551 โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ที่มีระบบพ่นน้ำ เพื่อทดสอบผิวในสภาพเปียก และติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์ในการวัดและเก็บข้อมูล โดยปกติใช้ในการทดสอบในถนนสนามบินเพื่อวัดค่าความฝืด ปกติจะทำการวิ่งระหว่างทดสอบด้วยความเร็ว 65 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อเป็นค่าเฉลี่ยของความเสียดทานในเส้นทางที่ทำการสำรวจ

รูปที่ 13 แสดงลักษณะเครื่องมือ Skid ASFT-10



รูปที่ 13 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความฝืด Skid ASFT-10



รูปที่ 14 ตัวอย่างบริเวณที่ทำการตรวจสอบค่าความฝืด

ข้อดีของเครื่องมือ Skid ASFT-10 คือสามารถทำการวัดค่าความฝืดได้อย่างต่อเนื่องในลักษณะโครงข่าย มีระบบรดน้ำในตัวเองได้และสามารถบันทึกข้อมูลโดยระบบคอมพิวเตอร์ได้ ในขณะที่ข้อเสียคือ ค่อนข้างเสียเวลาในการเติมน้ำหากทำการทดสอบในลักษณะโครงข่ายใหญ่

อุปกรณ์ทดสอบมีค่าใช้จ่ายสูง และมีความคลาดเคลื่อนจากความเร็วที่ใช้ทดสอบไม่คงที่ รวมถึงยางที่ใช้ในการทดสอบมีการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษามาสำหรับการทดสอบ รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างโครงข่ายจากผลการทดสอบค่าความฝืด Skid ASFT-10

3.2 ข้อมูลปริมาณจราจรและอายุผิวทาง

ข้อมูลอายุของผิวทางและปริมาณจราจรจากฐานข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวงได้ใช้เป็นเกณฑ์เบื้องต้นในการคัดเลือกพื้นที่สำหรับการสำรวจปริมาณจราจรโดยทำการจัดกลุ่มตามอายุผิวและปริมาณจราจร เป็น 3 ระดับ ทางน้อย กลาง มาก โดยพื้นที่สำรวจแยกออกเป็น 2 กลุ่มชนิดผิวทางและการบำรุงทางแบบต่างๆ แยกออกเป็น 2 กลุ่มผิวทางคือ

- ❖ แอสฟัลต์ AC 60-70, Polymer Modified Asphalt (PMA), แฉงด้วยว่ามีก็ข้อมูล
- ❖ การฉาบผิวทางด้วยวิธี Slurry Seal, การฉาบผิวทางด้วยวิธี Para Slurry seal



รูปที่ 15 เครื่องมือและการสำรวจปริมาณจราจรด้วยเครื่องมือ Microwave Radar



รูปที่ 16 เครื่องมือและการสำรวจปริมาณจราจรด้วยเครื่องมือ Microwave Radar

รูปที่ 15 และ 16 แสดง การตรวจนับปริมาณจราจรบนช่วงถนน (Mid-Block Counts; MB) เพื่อศึกษาถึงสภาพปริมาณจราจรที่ใช้ถนนโดยจะทำการสำรวจนับปริมาณ

จราจรตลอดทั้ง 24 ชั่วโมงโดยทำการจดบันทึกปริมาณจราจรทุกๆ 15 นาทีและจะทำการสำรวจเป็นเวลา 3 วัน จะแยกประเภทของยานพาหนะออกเป็นประเภทต่างๆ ตามหลักเกณฑ์ของวิศวกรรมจราจรตัวอย่างเช่น รถจักรยาน/สามล้อเครื่อง รถจักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคล รถปิกอัพ รถตู้โดยสาร รถประจำทางขนาดเล็ก รถประจำทางขนาดใหญ่ รถบรรทุกขนาดเล็ก รถบรรทุกขนาดกลาง 6 ล้อ รถบรรทุกขนาดใหญ่ 10 ล้อรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ เป็นต้น ซึ่งการสำรวจเก็บข้อมูลด้านการจราจรเฉลี่ยต่อวัน ดำเนินการโดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณจราจร Auto Scope และ เครื่องมือ Microwave Radar ของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ซึ่งดำเนินการสำรวจเก็บข้อมูลด้านการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (ADT) ด้วยเครื่องมือวัดปริมาณจราจร เป็นจำนวน 37จุด

สำหรับข้อมูลอายุผิวทาง ได้จากการรวบรวมและสอบถามข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลด้านอายุของผิวทาง ได้จากข้อมูลประวัติสายทางของผิวทางชั้นบนสุด พร้อมกับจำนวนช่องจราจรซึ่งเป็นข้อมูลอายุรายปีของผิวทางซึ่งได้จากการสอบถามประวัติสายทางจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

เมื่อได้ข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันหรือ ADT ที่ได้จากการสำรวจจำนวน 37 จุดนั้น เป็นปริมาณจราจรของสายทางนั้นๆใน 1 ทิศทาง ดังนั้นจึงนำข้อมูล ADT ดังกล่าวมาคำนวณหาค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อช่องจราจร หรือ ADT/Lane โดยใช้ LDF (Lane Distribution Factor) สำหรับจำนวนช่องจราจรต่อ 1 ทิศทาง โดยมีค่า ดังนี้

No. Of Lanes in each direction	Percentage of 18-kip ESAL in design lane
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

รูปที่ 17 ค่า Lane Distribution Factor [3]

ทำให้สามารถคำนวณค่า ADT/Lane โดยการนำค่าปริมาณจราจร (หน่วย PCU) คูณกับค่า LDF ซึ่งแยกค่าตามจำนวนช่องจราจรต่อ 1 ทิศทาง และนำข้อมูลค่าความผิดที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์โดยการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์กับ ปริมาณจราจร (ADT) และอายุของผิวทาง

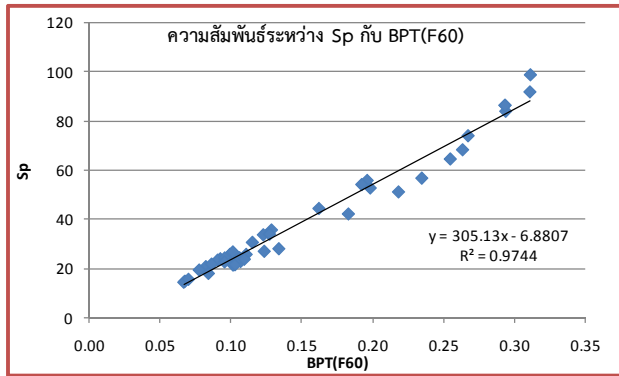
3.3 การวิเคราะห์ผลทดสอบค่าความผิดจากวิธีต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความผิดที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 เครื่องมืออะไร ซึ่งสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ได้ทำการสำรวจข้อมูลค่าความผิดภาคสนามจากแปลงทดสอบ โดยให้ครอบคลุมกลุ่มของค่าความผิดของแต่ละชนิดผิวทาง คือ ผิวทางแอสฟัลท์ (AC), Polymer Modified Asphalt (PMA), Slurry และ Para Slurry รวมถึงตำแหน่งของแปลงทดสอบที่มีความหลากหลายของพื้นที่และเมื่อทำการสำรวจค่าความผิดทั้ง 3 เครื่องมือ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละผิวทางของทั้ง 4 ชนิดผิวทางแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น หรือ Linear Regression Analysis โดยการวิเคราะห์นี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของทั้ง 3 วิธี โดยการหาค่าความสัมพันธ์ และพิจารณาว่า R^2 ของสมการเชิงเส้น

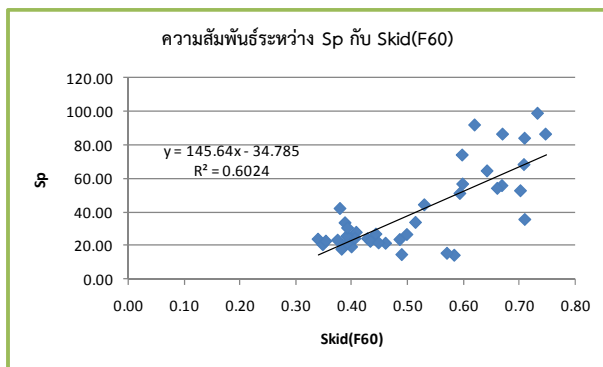
โดยขอบเขตการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์มีดังนี้

- ❖ สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกของผิวจราจรจากการทดสอบ Sand patch และค่าความผิด Skid ASFT-10

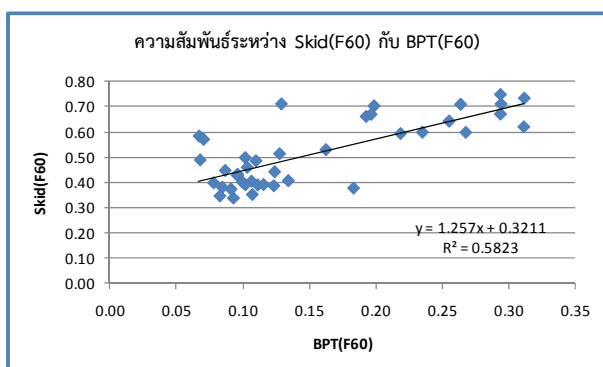
- ❖ สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกของผิวจราจรจากการทดสอบ Sand patch และค่าความฝืด British Pendulum Tester (BPT)
- ❖ สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืด Skid และค่าความฝืด British Pendulum Tester (BPT)



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sand Patch กับ BPT



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sand Patch กับ Skid ASFT-10



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Skid ASFT-10 กับ British Pendulum Tester (BPT)

การวิเคราะห์ข้อมูลของผิวทางทั้ง 4 ชนิดผิวทาง คือ ผิวทางแอสฟัลท์ (AC), Polymer Modified Asphalt (PMA), Slurry และ Para Slurry จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของสมการ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จะแสดงค่าตามตารางที่ 3 ซึ่งอยู่ในระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่าทดสอบจากเครื่องมือ Sand Patch, British Pendulum Tester (BPT), และ Skid (ASFT-10)

ความสัมพันธ์ระหว่าง	R^2
Sand Patch กับ British Pendulum Tester (BPT) สมการ $y = 305.13x - 6.8807$	0.9744
Sand Patch กับ Skid (ASFT-10) สมการ $y = 145.64x - 34.785$	0.6024
Skid (ASFT-10) กับ British Pendulum Tester (BPT) สมการ $y = 1.257x + 0.3211$	0.5823

3.4 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืดและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การคาดการณ์การเสื่อมสภาพความฝืดของผิวทางเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืดของผิวทางกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น ปริมาณจราจรและอายุผิวทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อในการคาดการณ์อายุการใช้งานของสายทางจากค่าความฝืด จากการสำรวจค่าความฝืด ปริมาณจราจรและอายุผิวทางชั้นบนสุด สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวจะทำการวิเคราะห์ทางสถิติวิธีวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) เพื่อให้สามารถทดสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืดและปริมาณจราจรและอายุผิวทางต่อไปได้

การศึกษานี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่ทำหน้าที่พยากรณ์ 1 ตัวกับตัวแปรตาม 1 ตัว เพื่อใช้ในการพยากรณ์การเสื่อมของความฝืดผิวทางกับปริมาณจราจรสะสม ซึ่งปริมาณจราจรสะสมเป็นผลคูณระหว่างปริมาณจราจร

เฉลี่ยต่อวันและอายุผิวทาง โดยใช้โปรแกรม Limdep 10.0 ในการวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นวิธี 'Enter' อธิบาย เมื่อทำการวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย จะสามารถตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าความถูกต้องของสมการจากค่า F-Test ของแบบจำลอง

4. ผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติทำให้ได้ผลออกโดยใช้โปรแกรม Limdep 10.0 ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มประเภทผิวทาง คือ กลุ่มผิวทางแอสฟัลท์ (AC) และ Polymer Modified Asphalt (PMA) และกลุ่มผิวทาง Slurry และ Para Slurry โดยปริมาณจราจรเฉลี่ยของแต่ละสายทางได้จากการสำรวจ โดยอายุผิวทางได้จากการรวบรวมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปัจจัยที่เกี่ยวข้องของทั้งสองกลุ่มผิวทางมีดังนี้

4.1 ผิวทางชนิด ผิวทางแอสฟัลท์ (AC) และ Polymer

Modified Asphalt (PMA)

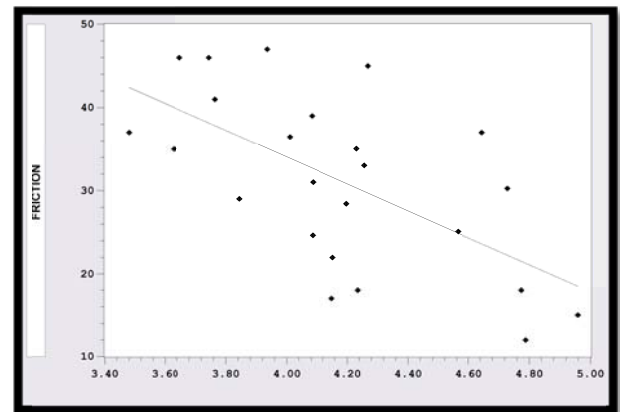
จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดของผิวทางและปริมาณจราจรสะสม ซึ่งเป็นผลคูณของอายุผิวทางและปริมาณจราจรของข้อมูลผิวทาง AC-PMA พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ R^2 มีค่าเป็น 0.381 แสดงถึงปริมาณจราจรสะสมค่อนข้างมีอิทธิพลต่อค่าความผิดของผิวทาง และจากค่าทดสอบ F-Test ของแบบจำลองพบว่า ปริมาณจราจรสะสมมีอิทธิพลต่อค่าความผิดของผิวทางด้วยนัยสำคัญที่ 0.00131 หรือระดับความเชื่อมั่นที่ 99.869 คือมากกว่า 95 % ที่มาตรฐานกำหนด

$$\text{FRICTION} = 98.64 - 16.158 \log((\text{ADT}/\text{Lane}) * \text{Age})$$

$$\text{และค่า } R^2 = 0.381$$

$$\text{Sig. ของ F-test} = 0.00131$$

จากสมการจะเห็นว่า ค่าปริมาณจราจรและอายุของผิวทางมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือเมื่อมีปริมาณจราจรสะสมของผิวทางเพิ่มมากขึ้นค่าความผิดก็จะมีค่าลดลง



รูปที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสมของผิวทาง ผิวทางแอสฟัลท์ (AC)

และ Polymer Modified Asphalt (PMA)

ตารางที่ 4 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ด้านสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสมของผิวทาง ผิวทางแอสฟัลท์ (AC) และ Polymer Modified Asphalt (PMA)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.6175(a)	.38129	.35316	8.42171

a Predictors: (Constant), AADTAGE

ANOVA(b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	961.576	1	961.5762	13.55761	.00131(a)
	Residual	1560.35	22	70.92518		
	Total	2521.93	23	109.64914		

a Predictors: (Constant), AADTAGE

b Dependent Variable: FRICTION

Coefficients(a)

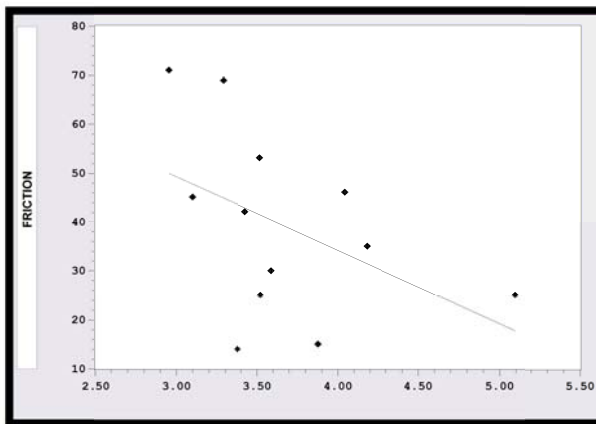
Model	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficient	t	Sig.
-------	-----------------------------	--------------------------	---	------

		B	Std. Error	Beta	Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	(Constant)	98.6409	18.40702						5.36
	AADTAGE	–	4.38765	–.618					–
		16.1556							3.68
a. Predictors: (Constant), ADTAGE									

a. Dependent Variable: FRICTION

4.2 ผิวทางชนิด Slurry Seal และ Para Slurry Seal

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดของผิวทางและปริมาณจราจรสะสม ซึ่งเป็นผลคูณของอายุผิวทางและปริมาณจราจรของข้อมูลผิวทาง Slurry พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ R² มีค่าเป็น 0.21086 แสดงถึงปริมาณจราจรสะสมค่อนข้างมีอิทธิพลต่อค่าความผิดของผิวทาง และจากค่าทดสอบ F-Test ของแบบจำลองพบว่า ปริมาณจราจรสะสมมีอิทธิพลต่อค่าความผิดของผิวทางด้วยระดับนัยสำคัญที่ 0.1332 หรือคิดเป็นความเชื่อมั่นที่ระดับ 86.68 % น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หรือความเชื่อมั่น 95 % เล็กน้อย



รูปที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสมของผิวทาง Slurry-Para Slurry

$$\text{FRICTION} = 94.557 - 15.124 \log((\text{ADT}/\text{Lane}) * \text{Age})$$
และค่า $R^2 = 0.214$

Sig. ของ F-test = 0.130

ตารางที่ 5 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ด้านสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสมของผิวทาง ผิวทาง Slurry-Para Slurry

Model Summary

ANOVA(b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	823.116	1	823.1155	2.672	.1332(a)
	Residual	3080.55	10	308.05512		
	Total	3903.67	11	354.8788		

a. Predictors: (Constant), ADTAGE

b. Dependent Variable: FRICTION

Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	94.0846	33.9767		2.77	.0198
	ADTAGE	–	9.17275	–.462	–	.1332
		14.9939			1.63	

a. Dependent Variable: FRICTION

จากสมการจะเห็นว่า ค่าปริมาณจราจรและอายุของผิวทางมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือเมื่อมีปริมาณจราจรและอายุของผิวทางเพิ่มมากขึ้นค่าความผิดก็จะมีค่าลดลงเช่นกัน

5. สรุปผลและการนำไปใช้

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรสะสม โดยปริมาณจราจรสะสมเป็นผลรวมปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อปีตามจำนวนปีของอายุผิวทางแต่ละสายทาง ของกลุ่มสายทางผิวทาง AC-PMA และกลุ่มสายทางผิวทาง Slurry และ Para Slurry ซึ่งจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดและปริมาณจราจรและอายุผิวทางพบว่าทั้งสองกลุ่มผิวทางมีค่าความผิดของผิวทาง

แปรผกผันกับปริมาณจราจรสะสม กล่าวคือ เมื่อค่าใดค่าหนึ่ง ปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นหรืออายุผิวทางเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความฝืด หรืออีกนัยหนึ่ง ทั้งปริมาณจราจรหรืออายุผิวทางที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเสื่อมของผิวทางเพิ่มขึ้น ความฝืดของผิวทางลดลง โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวของกลุ่มสายทาง Ac-PMA มีนัยสำคัญทางสถิติอยู่ในระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวของกลุ่มสายทาง Slurry – Para Slurry

ตารางที่ 3 สรุปค่า R^2 ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืด (Friction) และปริมาณจราจรสะสม (ADT/Lane* Age)

ชนิดของผิวทาง	สมการ	R^2	Sig.
ผิวทางแอสฟัลท์ (AC) และ Polymer Modified Asphalt (PMA)	$FRICITION = 98.641 - 16.158 \log((AADT/Lane) * Age)$	0.382	0.001
Slurry Seal และ Para Slurry Seal	$FRICITION = 94.557 - 15.124 \log((AADT/Lane) * Age)$	0.214	0.130

จากการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความฝืดและปริมาณจราจรและอายุผิวทางทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถคาดการณ์ค่าความฝืดของผิวทางได้จาก ปริมาณจราจรสะสม จะทำให้ผู้รับผิดชอบสายทางต่างๆ สามารถคาดการณ์ความฝืดของผิวทางสำหรับปริมาณจราจรของแต่ละปีที่จะเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงอายุผิวทางที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังกล่าวจะทำให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถคาดการณ์สภาพการเสื่อมสภาพความฝืดของผิวทางในส่วนที่รับผิดชอบว่าจะมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ของค่าความฝืดที่เหมาะสม และวางแผนดำเนินการบำรุงทางที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- [1] 1. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, โครงการศึกษามูลค่าอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย. 2550, กรมทางหลวง: กรุงเทพฯ. p. 290.
- [2] 2. นายประเสริฐ บุญรักษา และ นายชาโน พงศ์ศรี, การทดสอบความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของพื้นผิวถนน โดย Portable Skid Resistance Tester. 2012, สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง: กรุงเทพมหานคร. p. 68–69.
- [3] 3. Lorenz, M. and Y. Choi, *Review of Skid Resistance and Measurement Methods*. 2011, Austroads: Sydnnet. p. 36.
- [4] 4. ประเสริฐ บุญรักษา and ชาโน พงศ์ศรี, การทดสอบความต้านทานการลื่นไถล(Skid Resistance) ของพื้นผิวถนนโดย Portable Skid Resistance Tester. 2012, สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง: กรุงเทพฯ. p. 18.
- [5] 5. Pereira, P., et al. *Skid resistance and texture of compacted asphalt mixes evaluated from the IFI in laboratory preparation*. in *Proccedings of the 4th Eurasphalt and Eurobitume Congress*. 2008. Denmark, Copenhagen. .
- [6] 6. Qing, L. and S. Bruce, *Friction Testing of Pavement Preservation of Treatments*. 2006, University of California Pavement Research Center.
- [7] 7. Dardano, B.E.J., *Australian Runway and Roads Friction Testing Workshop*. 2003, Sydney Airport Corporation.: Sydney, Australia.
- [8] 8. Es, G.v., et al., *CORRELATION OF SELF-WETTING FRICTION-MEASURING DEVICES*, in *2004 FAA WORLDWIDE AIRPORT TECHNOLOGY TRANSFER*

CONFERENCE. 2004: Atlantic City, New Jersey, USA.

- [9] 9. Wenbing Song, X.C., Timothy Smith, and Adel Hedfi, *Investigation of Hot Mix Asphalt Surfaced Pavements Skid Resistance in Maryland State Highway Network System*, in *2006 TRB Annual Meeting of the Transportation Research Board*. 2006.
- [10] 10. Ahammed, M.A. and S.L. Tighe, *Long Term and Seasonal Variations of Pavement Surface Friction*, in *Long-term Warranty Contracts for Pavement Construction or Rehabilitation Session of the 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada*. 2008: Toronto, Canada.
- [11] 11. Soonmi Oh, S.M., David R. Ragland, Ching-Yao Chan, *Evaluation of Traffic and Environment Effects on Skid Resistance in California*. eScholarship University of California, 2010.