



การศึกษาพฤติกรรมถนนลาดยางระยะยาวโดยการติดตามตรวจวัดร่องล้อบนผิวทางและการฝังอุปกรณ์ตรวจวัด
ในชั้นโครงสร้างทาง: กรณีศึกษาแปลงทดสอบ อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท

A LONG-TERM PERFORMANCE MONITORING OF ASPHALT PAVEMENT BY RUTTING MEASUREMENT AND
EMBEDDED INSTRUMENTATION: A CASE STUDY OF SAPPHAYA DISTRICT, CHINAT PROVINCE

นรเทพ ฟุ่งลัดดา¹ ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลิ^{2*} และอัครพัฒน์ สว่างสุริย์³

¹นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

*Corresponding author: fengsham@ku.ac.th

บทคัดย่อ

อายุบริการของถนนลาดยางทั่วไปขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรและสภาพแวดล้อม ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการให้บริการเป็นความเสียหายสะสมจนครบกำหนดอายุการออกแบบ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรม โครงสร้างถนนลาดยางระยะยาว โดยใช้วิธีการตรวจวัดร่องล้อบนผิวทางและวิธีการฝังมาตรวัดความเครียดในชั้น โครงสร้างทาง รวมทั้งเปรียบเทียบอัตราการเกิดร่องล้อและการเสีรูปถาวรบนแปลงทดสอบ โครงสร้างถนนลาดยาง อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท ผลการวิจัยพบว่า ค่าความเครียดที่ตรวจวัดในชั้นทางเพิ่มขึ้นตามจำนวนเที่ยวของเพลาค้ำมาตรฐาน (ESALs) และค่าความลึกร่องล้อบนผิวทางของแปลงทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าความเครียดที่ตรวจวัดได้ โดยในช่วงแรกมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความลึกร่องล้อสูง แต่เมื่อจำนวน ESALs มากขึ้น อัตราการเกิดร่องล้อจะลดลง และเมื่อคำนวณการเสีรูปถาวรจากค่าความเครียดของแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกับค่าความลึกร่องล้อจากการวัดค่าระดับพื้นผิวของแปลงทดสอบพบว่า แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าค่าความเครียดจากอุปกรณ์ตรวจวัดสามารถประมาณได้จากการเสีรูปถาวรสำหรับแปลงทดสอบ โครงสร้างถนนลาดยางในการศึกษาครั้งนี้ได้

คำสำคัญ : ร่องล้อ; มาตรวัดความเครียด; โครงสร้างถนนลาดยาง; จำนวนเที่ยวของเพลาค้ำมาตรฐาน

ABSTRACT

Asphalt pavement life is typically a function of traffic volume and environment condition. Asphalt pavement gradually deteriorates over its service life. This study focuses on the long-term performance monitoring of asphalt pavement by rutting measurement and embedded instrumentation. Results of this study indicated that strains increased with the number of equivalent single-axle load (ESALs). Rut depth also increased with strains. Rate of increasing strains was considerably high at the beginning but gradually decreased with ESALs. The increase in the measured rut depth was consistent with the increase in permanent deformation obtained

Norathep Fungladda¹ Suphawut Malaikrisanachalee^{2*} and Auckpath Sawangsuriya³

¹Master Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

²Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

³Civil Engineer – Expert Level, Bureau of Road Research and Development, Department of Highways

from embedded instrumentation. Finally, the study suggested that the measured strains from embedded instrumentation could be estimated the long-term rutting of asphalt pavement.

KEYWORD: rutting; strain gage; asphalt pavement; number of equivalent single-axle load

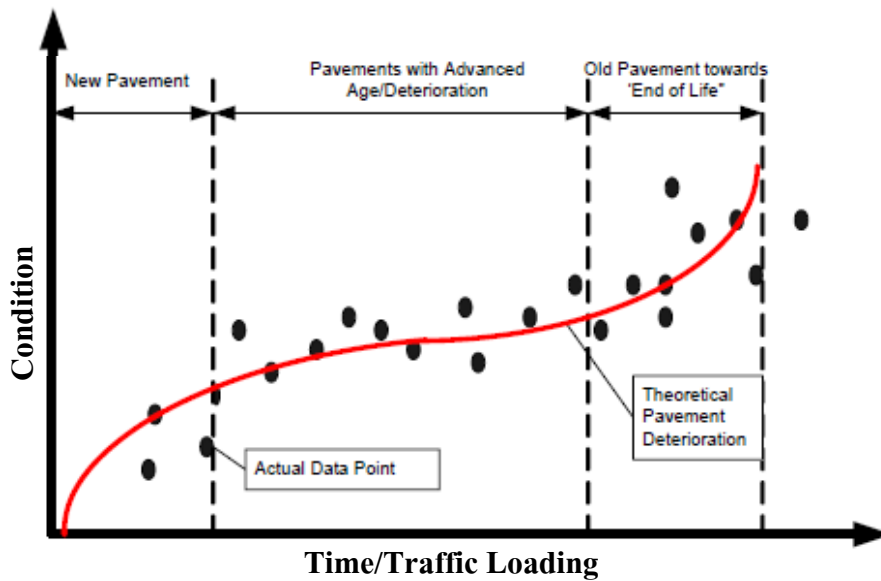
1. บทนำ

ปัจจุบันกรมทางหลวงรับผิดชอบโครงการขยายถนนครอบคลุมทั่วประเทศ โดยกว่าร้อยละ 93 ของทางหลวงเป็นถนนลาดยาง (สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง) โครงสร้างถนนลาดยางโดยทั่วไปมีอายุบริการตามปริมาณจราจรและสภาพแวดล้อม ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการให้บริการเป็นความเสียหายสะสมจนครบกำหนดอายุการออกแบบ ความเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลต่อระดับการให้บริการและความสะดวกสบายในการขับขี่ของผู้ใช้ทาง ตลอดจนอายุบริการของทางหลวง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างถนนลาดยางระยะยาวโดยใช้วิธีการตรวจวัดร่องล้อบนผิวทางและวิธีการฝังมาตรวัดความเครียดในชั้นโครงสร้างทาง รวมทั้งเปรียบเทียบอัตราการเกิดร่องล้อและการเสียรูปถาวรของแปลงทดสอบ โครงสร้างถนนลาดยางอำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเกิดร่องล้อเป็นลักษณะความเสียหายชนิดหนึ่งของถนนลาดยาง โดยผิวทางจะเกิดการเสียรูปถาวรตามแนวล้อรถ จากรายงานการศึกษาของธวัชและคณะ [1] แสดงให้เห็นว่า ความเสียหายเป็นร่องล้อพบได้มากที่สุดของถนนลาดยาง โดยมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดร่องล้อ เช่น Henning [3] ได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของถนนลาดยางตามระยะเวลาหรือปริมาณจราจร แสดงดังรูปที่ 1 Wang และคณะ [4] ได้ศึกษารูปแบบและวิธีการตรวจวัดค่าความลึกร่องล้อ โดยพัฒนาแบบจำลองการเสียรูปถาวรของถนนลาดยางในห้องปฏิบัติการ Avila-Esquivel และคณะ [5] ได้พัฒนาแบบจำลองการเสียรูปถาวรของถนนลาดยาง โดยพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางและสภาพแวดล้อม Liva และคณะ [6] ได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปพัฒนาต่อโดยใช้วิธีการทดสอบจำลองสภาพจริง (Heavy Vehicle Simulator) พร้อมหาความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปถาวรและค่าการแอ่นตัวกับจำนวนเที่ยวของน้ำหนักกระทำ โดยการติดตั้งมาตรวัดค่าความเครียด (Strain Gage) มาตรวัดค่าความเค้น (Pressure Cell) และมาตรวัดการแอ่นตัวตามระดับความลึก (Multi-depth Deflectometer) นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายท่านเสนอวิธีการตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างถนนลาดยาง [7], [8]

การตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างถนนลาดยางนี้มีทั้งวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการและวิธีการจำลองสภาพใช้งานเสมือนจริง แต่เนื่องจากความแตกต่างของปัจจัยในแต่ละประเทศ ยกตัวอย่างเช่น พิกัดน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะ สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ คุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น จึงเป็นข้อจำกัดในการนำผลลัพธ์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย นอกจากนี้งานวิจัยในประเทศส่วนใหญ่มักดำเนินการในห้องปฏิบัติการ ยังไม่มีงานศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างถนนลาดยางระยะยาวภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

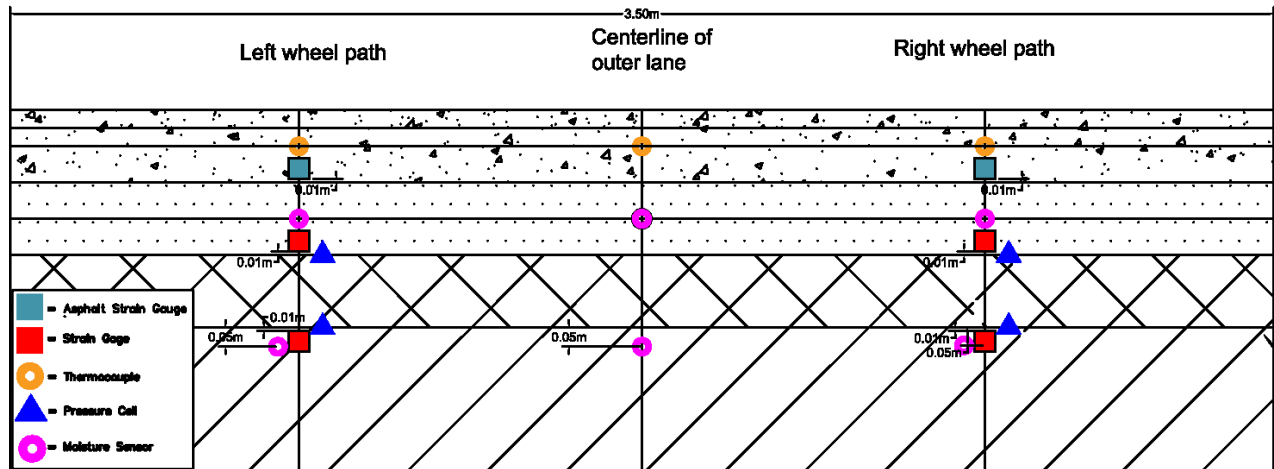


รูปที่ 1 การเสื่อมสภาพของถนนลาดยาง [3]

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แปลงทดสอบ

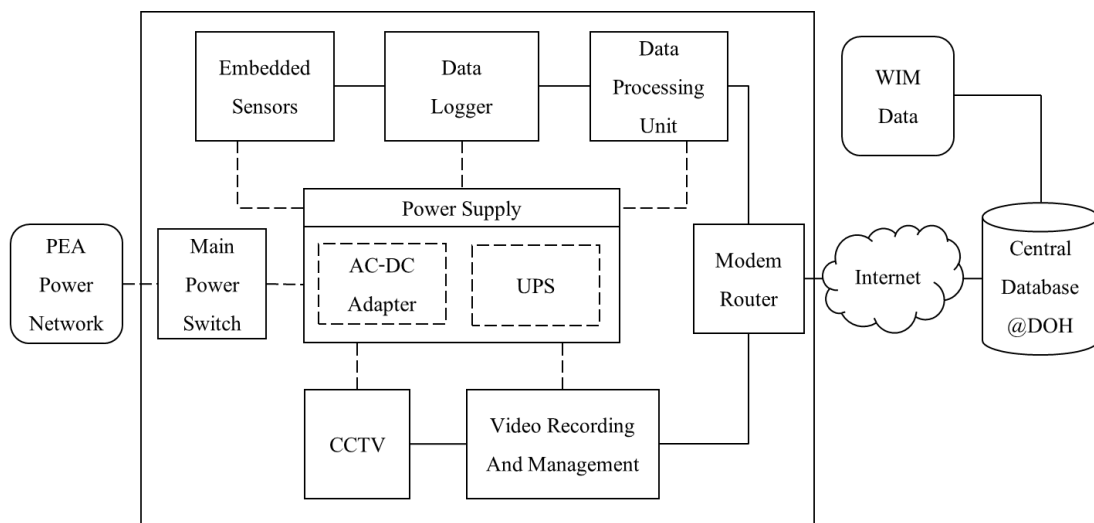
งานวิจัยนี้เลือกศึกษาแปลงทดสอบโครงสร้างถนนลาดยางของทางหลวงหมายเลข 32 กม.121+250 (ขาเข้า) ใกล้สถานีควบคุมน้ำหนักรถบรรทุก ตำบลหาดอาษา อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท แปลงทดสอบกว้าง 3.5 เมตร ยาว 12 เมตร มีโครงสร้างชั้นทางประกอบด้วยผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต พื้นทาง และรองพื้นทาง ผู้วิจัยเลือกศึกษาแปลงทดสอบนี้ เนื่องจากสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ได้ดำเนินการฝังอุปกรณ์ตรวจวัดพฤติกรรมของชั้นโครงสร้างทาง ได้แก่ มาตรวัดค่าความเครียด (Strain Gage) ใต้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 6 ชุด ใต้พื้นทาง 7 ชุด และเหนือดินเดิม 7 ชุด มาตรวัดค่าความเค้น (Pressure Cell) ใต้พื้นทาง 7 ชุด กึ่งกลางพื้นทาง 2 ชุด และเหนือดินเดิม 7 ชุด มาตรวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) กึ่งกลางผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 8 ชุด และมาตรวัดความชื้น (Moisture Sensor) กึ่งกลางพื้นทาง 8 ชุด เหนือดินเดิม 8 ชุด เนื่องจากแปลงทดสอบอยู่ก่อนถึงสถานีควบคุมน้ำหนักรถบรรทุก ทำให้ทราบข้อมูลจำนวนเที่ยวและน้ำหนักลงเพลของรถบรรทุกแปลงเป็นจำนวนเที่ยวของเพลเดี่ยวมาตรฐาน (Equivalent Single-Axle Loads, ESALs) ได้ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลจราจรประกอบกับผลการตรวจวัดจากแปลงทดสอบต่อไป ในการศึกษา ผู้วิจัยเก็บข้อมูลค่าความเครียด จำนวน ESALs และค่าความถี่ร่องล้อของแปลงทดสอบเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 9 เดือน ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดพฤติกรรมในชั้นโครงสร้างทาง ตัวอย่างอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งในแปลงทดสอบ และแผนผังการเชื่อมโยงอุปกรณ์และระบบจัดเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดพฤติกรรมในชั้นโครงสร้างทาง



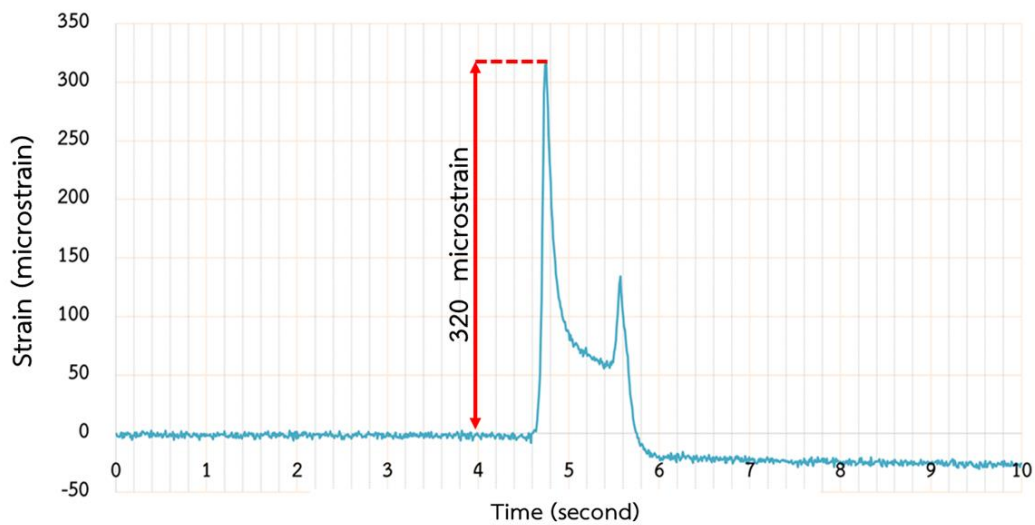
รูปที่ 3 ตัวอย่างอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งในแปลงทดสอบ



รูปที่ 4 แผนผังการเชื่อมโยงอุปกรณ์และระบบการจัดการเก็บข้อมูล

3.2 การตรวจวัดค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทาง

ค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทางตรวจวัดได้จากการฝังมาตรวัดความเครียดใต้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ใต้พื้นทาง และเหนือดินเดิม อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถบันทึกค่าความเครียดในอัตราเร็ว 100 ครั้งต่อวินาที ตัวอย่างสัญญาณค่าความเครียดจากการตรวจวัดขณะรถแล่นผ่านแปลงทดสอบแสดงดังรูปที่ 5 ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นคำนวณได้จากผลต่างระหว่างค่าความเครียดช่วงที่ไม่มีรถแล่นผ่านกับค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะมีรถวิ่งแล่นผ่าน จากนั้นจึงสรุปเป็นค่าความเครียดเฉลี่ยของแต่ละเดือน และนำค่าความเครียดเฉลี่ยที่ได้แปลงเป็นการเสียรูปถาวร ซึ่งจะอธิบายในลำดับถัดไป



รูปที่ 5 ค่าความเครียดใต้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจากรถบรรทุก 6 ล้อ ขณะแล่นผ่านแปลงทดสอบที่อัตราเร็ว 100 ครั้งต่อวินาที

3.3 การแปลงค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทางเป็นการเสียรูปถาวร

ค่าความเครียดเฉลี่ยของแต่ละเดือนจากแปลงทดสอบ นำไปใช้คำนวณการเสียรูปถาวรได้ โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวไปหาความสัมพันธ์กับจำนวน ESALs เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 9 เดือน

$$\epsilon_y = \Delta H / H \tag{1}$$

$$\nu = \epsilon_y / \epsilon_x \tag{2}$$

โดยที่ ϵ_y คือ ค่าความเครียด (Strain) ในแนวดิ่ง ΔH คือ การเสียรูปถาวร H คือ ความหนาของโครงสร้างชั้นทาง ν คือ อัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's Ratio) และ ϵ_x คือ ค่าความเครียด (Strain) ในแนวราบ

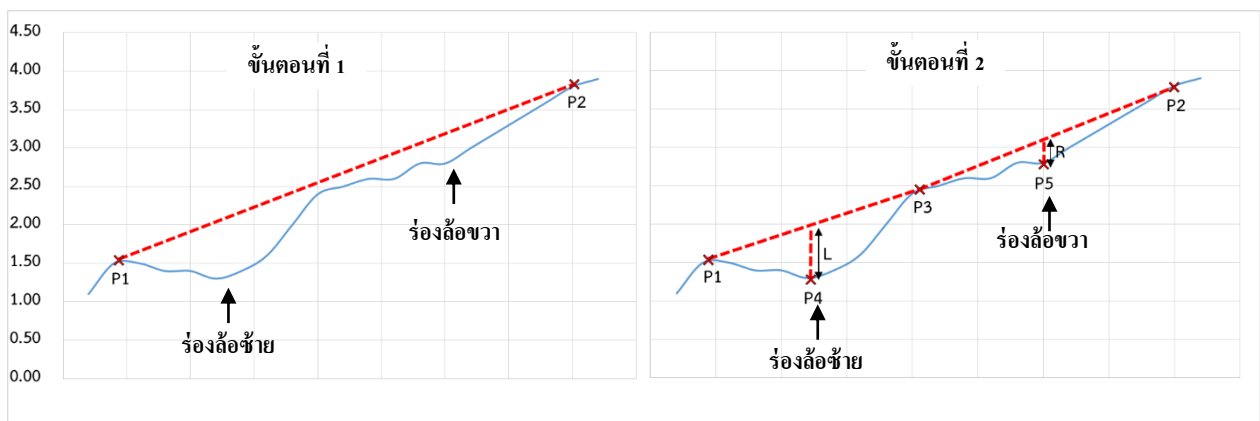
3.4 การตรวจวัดร่องล้อบนผิวทาง

ผู้วิจัยใช้กล้องระดับ และไม่ระดับในการวัดค่าระดับพื้นผิวของแปลงทดสอบ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุดตรวจวัดประมาณ 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 6 โดยผู้วิจัยจะทำการตรวจวัดซ้ำจุดเดิมเดือนละ 1 ครั้งเป็นอย่างน้อย รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 9 เดือน ค่าระดับ

ดังกล่าวจะใช้คำนวณความถี่ร่องล้อ ดังนี้ ขั้นแรกจะหาความชันของรูปตัดขวางแต่ละรูป แล้วนำค่าระดับที่ได้จากกล้องระดับหักลบความชันออก ต่อจากนั้นจึงหาจุดสูงสุดที่ครอบคลุมระหว่างร่องล้อซ้าย 2 จุด และร่องล้อขวา 2 จุด ต่อจากนั้นจึงหาความถี่ร่องล้อซ้ายโดยการนำจุดที่มีระดับต่ำสุดในแนวร่องล้อไปเปรียบเทียบกับระดับจากจุดสูงสุดที่ครอบคลุมระหว่างร่องล้อซ้าย 2 จุด เมื่อได้ค่าความถี่ร่องล้อครบทุกจุดแล้ว จึงหาค่าเฉลี่ย การหาความถี่ร่องล้อขวาจะดำเนินการโดยใช้หลักการเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 จุดวัดค่าระดับและการวัดค่าระดับพื้นผิวของแปลงทดสอบ



รูปที่ 7 การหาความถี่ร่องล้อจากค่าระดับพื้นผิวของแปลงทดสอบ

3.5 การเปรียบเทียบอัตราเพิ่มขึ้นระหว่างความถี่ร่องล้อกับการเสียรูปถาวร

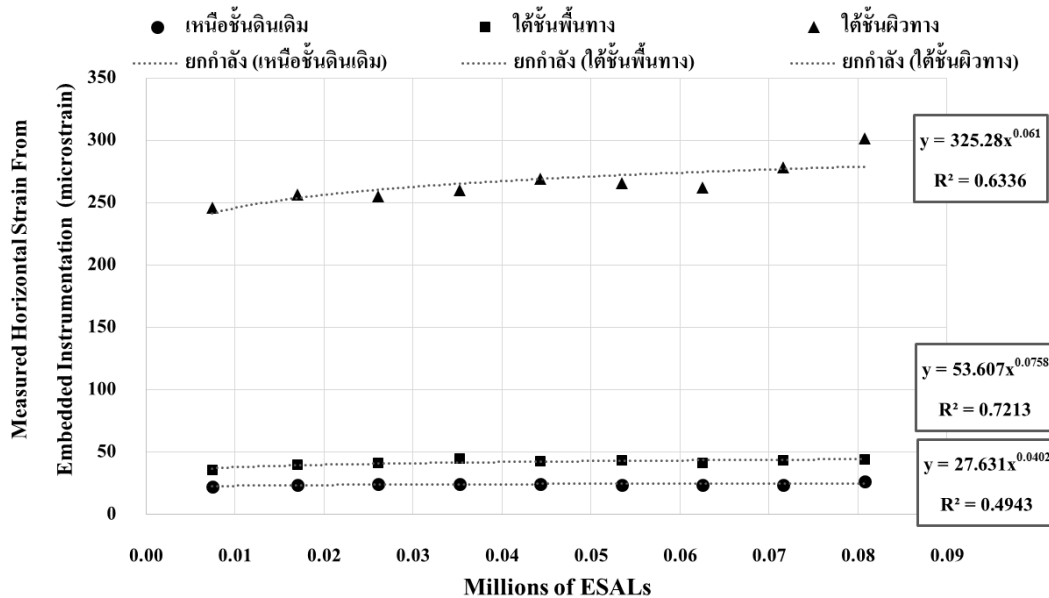
ผู้วิจัยพิจารณาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ร่องล้อ การเสียรูปถาวร และจำนวน ESALs จาก 3 กรณี ได้แก่ กรณีแรกความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปถาวรที่ได้จากค่าความเครียดในชั้นโครงสร้างทางกับจำนวน ESALs กรณีที่สองความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปถาวรที่ได้จากค่าความเครียดในชั้นโครงสร้างทางกับความถี่ร่องล้อจากการวัดค่าระดับ และกรณีสุดท้ายความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปถาวรที่ได้จากค่าความเครียดในชั้นโครงสร้างทางกับจำนวน ESALs และความถี่ร่องล้อจากการ

วัดค่าระดับ ต่อมาจึงพิจารณาความสัมพันธ์ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ของกรณีต่างๆ เพื่อเลือกความสัมพันธ์ของกรณีที่มีค่า R^2 สูงที่สุดสำหรับพัฒนาเป็นสมการทำนายต่อไป

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ความเครียดในโครงสร้างชั้นทาง

รูปที่ 8 แสดงแนวโน้มของค่าความเครียดเฉลี่ยในโครงสร้างชั้นทางตามจำนวน ESALs ค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทางเพิ่มขึ้นตามจำนวน ESALs โดยค่าความเครียดในช่วงเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับค่าความเครียดในระยะยาว ค่าความเครียดเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงตามจำนวน ESALs เมื่อนำค่าดังกล่าวไปหาความสัมพันธ์พบว่า มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ค่า R^2 สำหรับค่าความเครียดใต้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ใต้พื้นทาง และเหนือดินเดิม เท่ากับ 0.63, 0.72 และ 0.49 ตามลำดับ

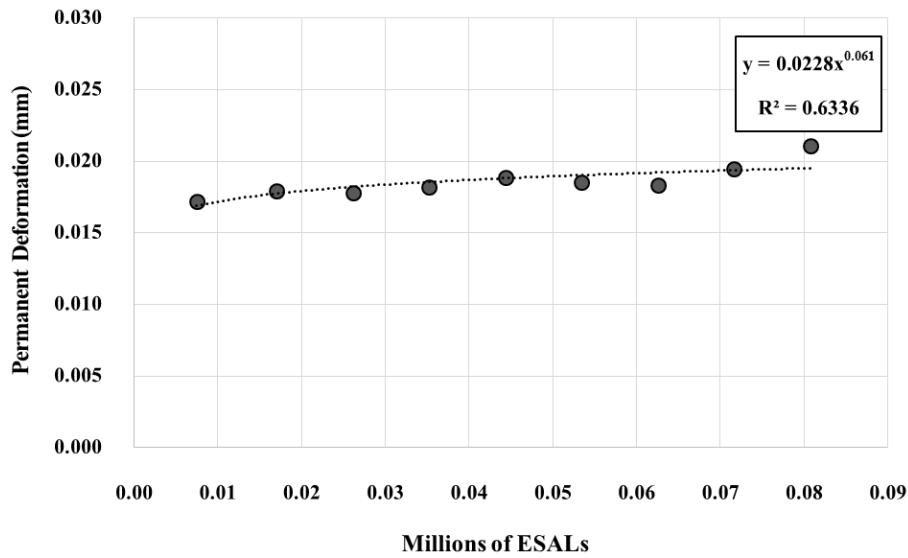


รูปที่ 8 ค่าความเครียดเฉลี่ยในโครงสร้างชั้นทางตามจำนวน ESALs

4.2 ค่าการเสีรูปถาวรจากค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทาง

เนื่องจากค่าความเครียดใต้พื้นทาง และเหนือดินเดิม น้อยกว่าค่าความเครียดใต้ผิวทางประมาณ 5-10 เท่า และยังมีแนวโน้มคงที่ในระยะยาว ดังรูปที่ 8 ดังนั้นในการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงพิจารณาคำนวณเฉพาะค่าการเสีรูปถาวรจากค่าความเครียดใต้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่านั้น

จากรูปที่ 9 แสดงค่าการเสีรูปถาวรตามจำนวน ESALs อัตราการเสีรูปถาวรในช่วงเริ่มต้นค่อนข้างสูง แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวน ESALs เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเสีรูปถาวรกับจำนวน ESALs มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ค่า R^2 เท่ากับ 0.63

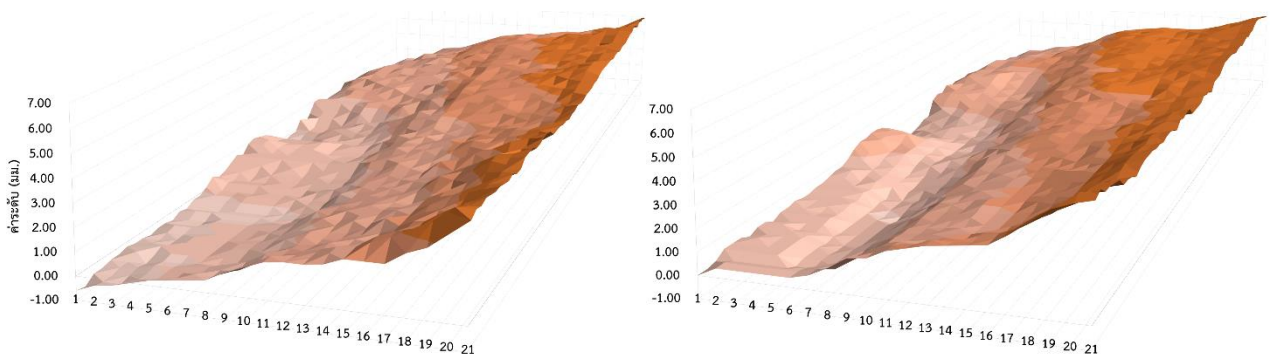


รูปที่ 9 ค่าการเสียรูปถาวรตามจำนวน ESALs

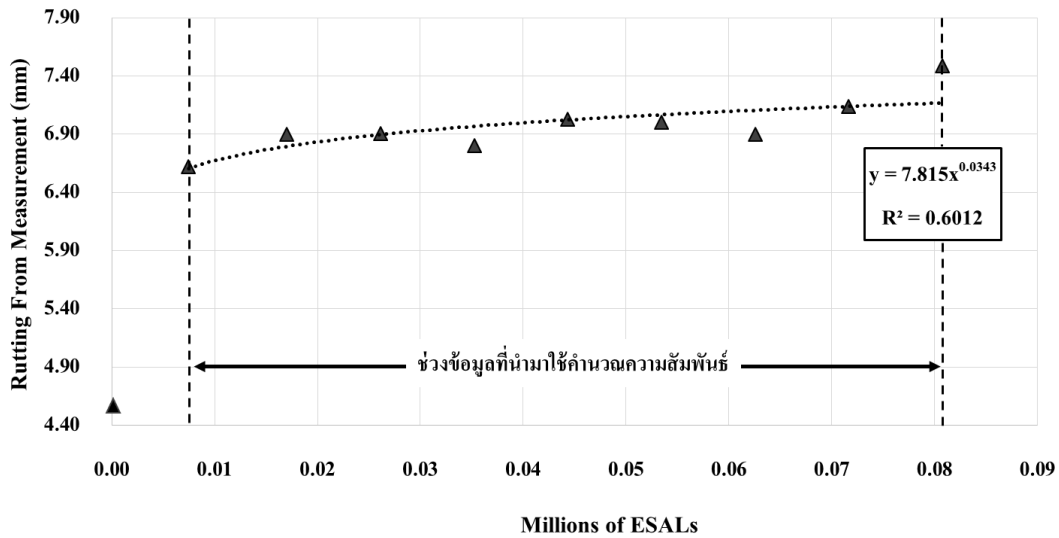
4.3 การตรวจวัดร่องล้อบนผิวทาง

เมื่อได้ค่าระดับของแปลงทดสอบ แล้วจึงคำนวณค่าความลึกร่องล้อ ต่อจากนั้นจึงนำค่าความลึกร่องล้อเฉลี่ย ไปเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์กับจำนวน ESALs ตัวอย่างรูปจำลองระดับของแปลงทดสอบ แสดงดังรูปที่ 10

รูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่า ความลึกร่องล้อจากการวัดค่าระดับเพิ่มขึ้นตามจำนวน ESALs โดยแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกเป็นความลึกร่องล้อที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของเม็ดวัสดุชั้นทาง ซึ่งระยะนี้วัสดุจะมีช่องว่างในมวลรวมสูง และระยะที่ 2 เป็นความลึกร่องล้อที่เกิดจากจำนวน ESALs ดังนั้นอัตราการเกิดร่องล้อในช่วงเริ่มต้นจึงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับระยะยาว แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวน ESALs เพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าความลึกร่องล้อดังกล่าวไปหาความสัมพันธ์กับจำนวน ESALs พบว่ามีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ค่า R^2 เท่ากับ 0.60



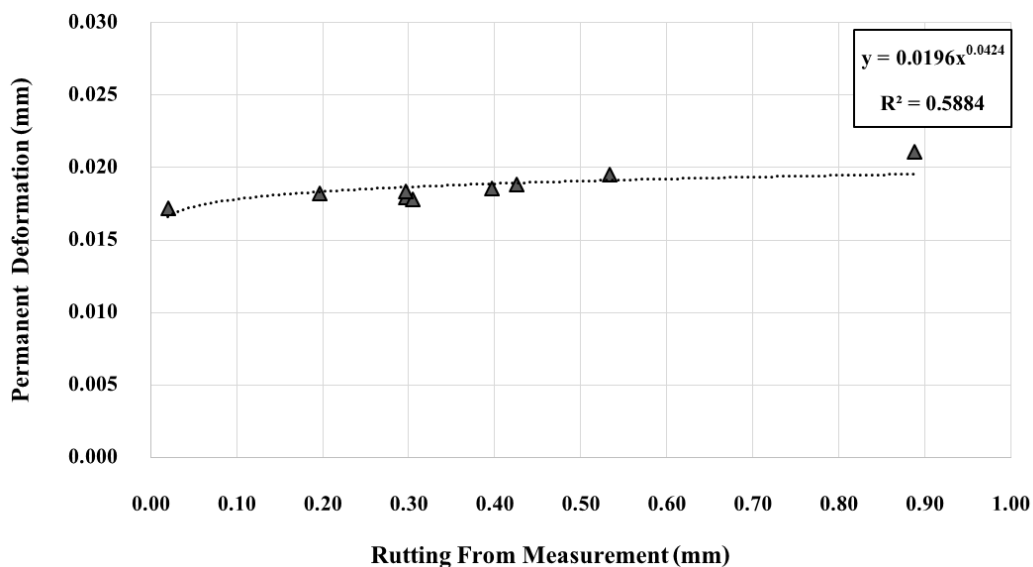
รูปที่ 10 ค่าระดับพื้นผิวของแปลงทดสอบในช่วงเริ่มต้นและภายหลังเปิดใช้งานเป็นเวลานาน 9 เดือน



รูปที่ 11 ความสึกร่งล้อเฉลี่ยจากการวัดค่าระดับพื้นผิวของแปลงทดสอบ

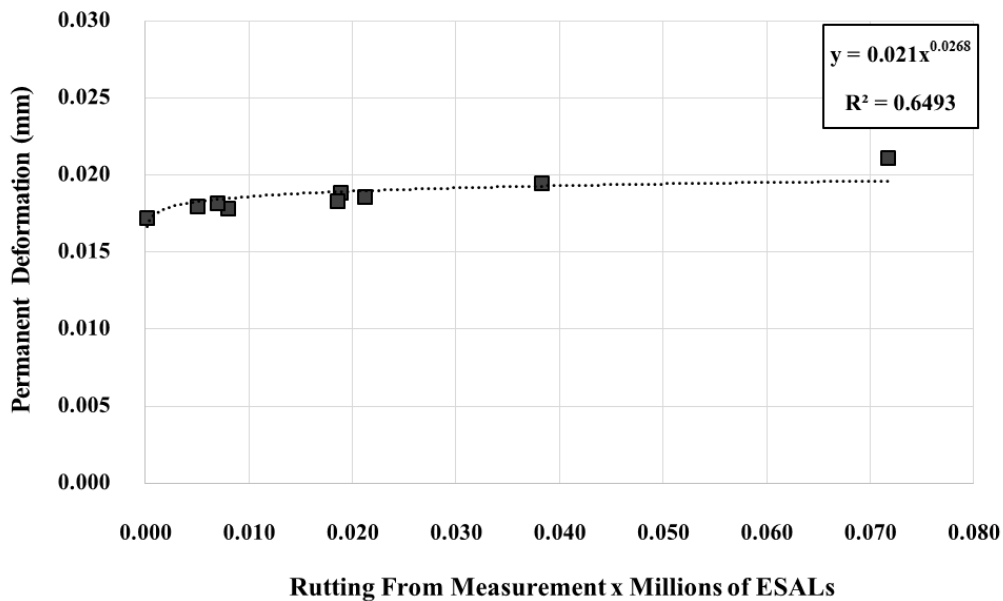
4.4 ผลการเปรียบเทียบอัตราเพิ่มขึ้นระหว่างความสึกร่งล้อกับการเสียรูปถาวร

เมื่อนำการเสียรูปถาวรที่ได้จากค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทาง (รูปที่ 9) เปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าความสึกร่งล้อเฉลี่ยจากการวัดค่าระดับพื้นผิวของแปลงทดสอบในแต่ละเดือน (รูปที่ 11) พบว่าการเสียรูปถาวรจากค่าความเครียดและค่าความสึกร่งล้อมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ พบว่ามีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ค่า R^2 เท่ากับ 0.59 ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 เปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการเสียรูปถาวรและความสึกร่งล้อ

เมื่อนำการเสีรูปลถวรที่ไ้จากค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทาง (รูปที่ 8) เปรียบเทียบความสัมพันธ์กับจำนวน ESALs ร่วมกับค่าความลึกร่องล้อ พบว่ามีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเช่นเดียวกันกับความสัมพันธ์ข้างต้น และมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ค่า R² เท่ากับ 0.65 ดังรูปที่ 13

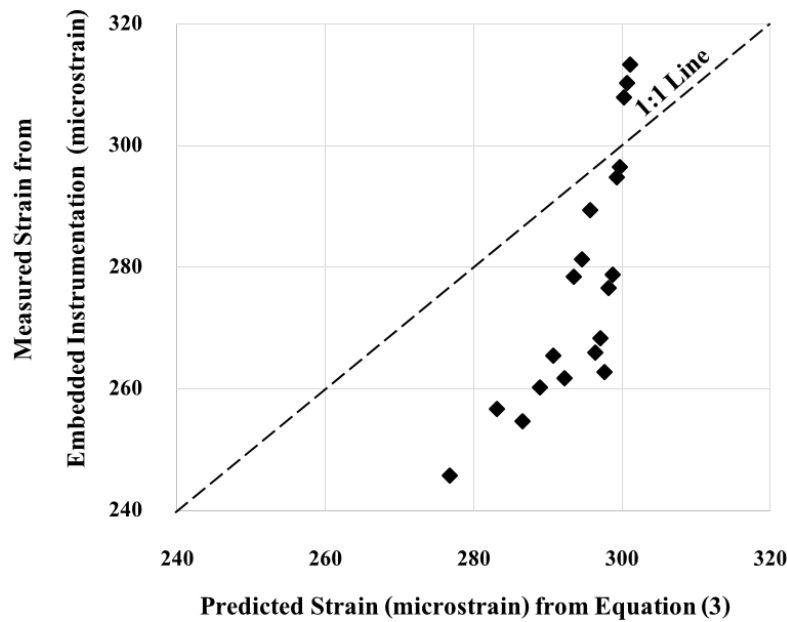


รูปที่ 13 เปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการเสีรูปลถวรกับจำนวน ESALs และความลึกร่องล้อ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกความสัมพันธ์จากกรณีสุดท้ายไปใช้ในการพัฒนาสมการทำนายในลำดับต่อไป ความสัมพันธ์ระหว่างการเสีรูปลถวรที่ไ้จากค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทางและจำนวน ESALs ร่วมกับค่าความลึกร่องล้อ แสดงในรูปของสมการทำนายได้ดังนี้

$$\epsilon_{AC} = \frac{0.0222(ESAL)^{0.0277}}{v_{AC} \times H_{AC}} \quad (3)$$

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการที่ (3) ข้อมูลค่าความเครียดรวบรวมเพิ่มเติมอีก 10 เดือนหลัง ได้นำมาคำนวณและเปรียบเทียบกับสมการทำนาย แสดงดังรูปที่ 14 โดยข้อมูลช่วงเริ่มต้นการเปรียบเทียบจะสังเกตว่าค่าความเครียดจากสมการทำนาย (Predicted Strain) มีค่าสูงกว่าค่าความเครียดจากการตรวจวัด (Measured Strain) ประมาณร้อยละ 10 ต่อมาสมการทำนายมีความแม่นยำมากขึ้น โดยสังเกตจากเส้น 1:1 และแตกต่างกันเพียงร้อยละ 4 ในเดือนสุดท้ายที่ทำการตรวจวัด สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Liva และคณะ [6] ซึ่งมีค่าการเสีรูปลถวรแตกต่างจากการทำนายมากที่สุดประมาณร้อยละ 30 ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความเห็นว่าผลการเปรียบเทียบสมเหตุสมผลเนื่องจากค่าความเครียดกับค่าการเสีรูปลถวรแปรผันตามกัน และมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน



รูปที่ 14 เปรียบเทียบระหว่างค่าความเครียดจากสมการทำนายกับค่าความเครียดจากการตรวจวัด

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างถนนลาดยางระยะยาวโดยใช้วิธีการตรวจวัดร่องล้อบนผิวทางและวิธีการฝังมาตรวัดความเครียดในชั้นโครงสร้างทาง รวมทั้งเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการเกิดร่องล้อและการเสีรูปลถาวรของแปลงทดสอบโครงสร้างถนนลาดยาง อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

การเสีรูปลถาวรที่ได้จากการตรวจวัดค่าความเครียดในโครงสร้างชั้นทาง และค่าความลึกร่องล้อจากการวัดค่าระดับพื้นผิวของแปลงทดสอบ เพิ่มขึ้นตามจำนวน ESALs และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้การเกิดร่องล้อแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกเป็นความลึกร่องล้อที่เกิดขึ้นจากการจัดเรียงตัวของวัสดุมวลรวมในชั้นโครงสร้างทาง ส่วนระยะที่ 2 เป็นความลึกร่องล้อที่เกิดจากจำนวน ESALs อัตราการเพิ่มขึ้นของความลึกร่องล้อในช่วงแรกจะสูงกว่าช่วงที่ 2 ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามจำนวน ESALs แต่ในอัตราที่ลดลง

การเสีรูปลถาวร ค่าความลึกร่องล้อ และจำนวน ESALs สามารถนำไปพัฒนาสมการทำนายพฤติกรรมโครงสร้างถนนลาดยางระยะยาวได้ โดยสมการทำนายประกอบด้วยจำนวน ESALs อัตราส่วนของผิวของ และความหนาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากตัวแปรในสมการทำนายมีเพียง 3 ตัวเท่านั้น จึงง่ายต่อการคำนวณ แต่มีข้อจำกัดคือ คุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง อุณหภูมิ ความชื้น และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ไม่ได้นำมาพิจารณาโดยตรง แต่จะทดแทนด้วยค่าคงที่ในสมการ

การเสีรูปลถาวรและการเกิดร่องล้อของถนนลาดยางแต่ละแห่งในประเทศไทยแตกต่างกันตามคุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณจราจร เนื่องจากสมการดังกล่าวได้พัฒนาจากแปลงทดสอบเพียงแห่งเดียว ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะ ดังนี้ สมการทำนายจากการวิจัยนี้ควรนำไปพัฒนาต่อขอดีในวงกว้างขึ้น กรมทางหลวงควรพิจารณานำอุปกรณ์ทดสอบค่าความแอ่นตัวของโครงสร้างชั้นทาง อาทิ Falling Weight Deflectometer (FWD), Light Weight Deflectometer (LWD) เป็นต้น มาใช้เก็บข้อมูลประกอบการติดตามตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างถนนลาดยางระยะยาว ตลอดจนการเก็บข้อมูลจำนวน ESALs จากระบบชั่งน้ำหนักยานพาหนะขณะเคลื่อนที่ (Weigh-In-Motion, WIM) ในโครงข่ายทางหลวงทั่วประเทศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชันวิน สวัสดิศานต์, เสกชัย อนุเวชศิริเกียรติ, นวพล พรหมจารี และจตุพร ทิพย์ทอง. การสำรวจสภาพความเสียหายและหาสาเหตุของความเสียหายหลังของถนนลาดยางในประเทศไทย. รายงานฉบับที่ วพ.261. กรมทางหลวง, 2551.
- [2] กรมทางหลวง. โครงการวิจัยและพัฒนาโครงสร้างถนนของกรมทางหลวง. รายงานขั้นสุดท้าย. สำนักวิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง, 2561.
- [3] Henning. *The development of pavement deterioration models on the state highway network of New Zealand*. The University of Auckland, 2008.
- [4] Di Wang, Augusto Cannone Falchetto, Matthias Goeke, Weina Wang Tiantian Li and Michael P. Wistuba. Influence of computation algorithm on the accuracy of rut depth measurement. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2017, 4(2), pp. 156-164.
- [5] T. Avila-Esquivel, Y. Araya-Porras, J.P. Aguiar-Moya, and L.G. LoriaSalazar, Development of permanent deformation models for granular materials and soils, *Proceedings of the 95th Annual Transportation Research Board*, Washington, D.C. 2016.
- [6] Fabricio Leiva-Villacorta, Adriana Vargas-Nordbeck, and José P. Aguiar-Moya. Permanent deformation and deflection relationship from pavement condition assessment. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2017, 10(4), pp.352-359.
- [7] Loay A. Al Khateeb, A. Saoud, and M.F. Al-Msouti. Rutting prediction of flexible pavements using finite element modeling. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 2011, 5(2), pp.173-190.
- [8] S. Agardh. *Rut Depth Prediction on Flexible Pavements - Calibration and Validation of Incremental-Recursive Models*. Department of Technology and Society, Lund University, 2005.