การออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman Beam

Flexible Pavement Overlay Design from Benkelman Beam

ธรรมมา เจียรธราวานิช[1*], สวัสดิ์ ศรีเมืองธน[1]

Thamma Jairtalawanich[1*], Sawat Srimuangthon[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 0 2287 9638, E-mail: thamma.j@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam (BB) โดยการหาค่าการแอ่นตัวของผิวทาง ค่าความหนาเสริมผิวทาง และสมบัติการใช้งานของผิวทางที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman beam (BB) ซึ่งในการศึกษานี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลการแอ่นตัวที่ผิวทางภายใต้น้ำหนักกระทำของโครงสร้างทางที่ได้เปิดการจราจรแล้วเฉพาะผิวทางชนิดแอสฟัลต์คอนกรีต โดยศึกษาในด้านส่วนประกอบของโครงสร้างทาง สภาพของผิวทางที่ปรากฏ อายุการใช้งานและสภาพของโครงสร้างชั้นทาง โดยทำการศึกษาในพื้นที่ภาคกลางทั้งหมด 10 สายทาง แบ่งเป็น 27 ช่วงทดลอง ช่วงทดลองละ 2 กิโลเมตร โดยมีการจัดแยกกลุ่ม Test section ตามปริมาณการจราจร ความหนาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและอายุการให้บริการ โดยวัดค่าการแอ่นตัวของผิวทางภายใต้น้ำหนักกระทำเป็นการเก็บข้อมูลค่าการแอ่นตัว ความหนาและประเภทวัสดุชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างทาง อุณหภูมิ ขนาดของร่องล้อ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าว และปริมาณการจราจร ซึ่งสามารถนำข้อมูลต่าง ๆ ที่เก็บมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ Benkelman beam ใช้วิธีมาตรฐานของกรมทางหลวง (DOH standard) และนำค่าที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติช่วยในการหาความสัมพันธ์และค่าทางสถิติ ดังนั้นสำหรับผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ใช้ในการศึกษาพบว่าการใช้วิธี Benkelman beam ออกแบบเสริมผิวทางจะช่วยให้ได้ค่าการแอ่นตัวและค่าความหนาเสริมผิวทางมีการกระจายตัวและค่าผิดพลาดมาตรฐานน้อยลง ทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น เพื่อให้ถนนมีคุณภาพที่ดีขึ้น ลดการเสียหาย ช่วยประหยัดงบประมาณในการดูแลซ่อมแซมถนนของประเทศลงได้

คำสำคัญ: Benkelman beam การออกแบบเสริมผิวทาง ผิวทางแบบยืดหยุ่น

Received 03-09-2018
Revised 18-10-2018
Accepted 29-10-2018

ABSTRACT

This study aims to investigate the measurement of flexible pavement overlay design using Benkelman beam (BB). In this case, pavement deflection, pavement overlay thickness, and pavement usage property parameters that reported from measuring tool. In this study, data of pavement deflection under load was collected. Selected pavements are in asphalt concrete type and under usage. The structure component, appearances, usage lifetime, and layer structure were also investigated. For case study, 10 pavements in central region of Thailand were selected and separated into 27 test section, each range of 2 kilometers. Then, test sections were grouped according to traffic volume, asphalt concrete pavement thickness and service lifetime. Tool used for measuring pavement deflection parameter under load are Benkelman beam (BB), For testing, data of deflection parameter, thickness and type of material in each structure layer, temperature, rut depth, percent of cracking, and traffic volume were collected and analyzed Benkelman beam according to DOH standard to determine the relationship. In this step, statistical programming was used to determine relationship and statistical parameter. Therefore, this design resulted in reduction of construction cost, and the maintenance cost could be reduced.

Keywords: Benkelman beam, Overlay design, Flexible pavement

1. บทนำ

ในการทำการศึกษาครั้งนี้ ได้นำเสนอการเปรียบเทียบการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam ซึ่งจะช่วยลดปัญหาผิวทางที่มีสภาพชำรุด โดยเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การขยายตัวของปริมาณการจราจรที่เพิ่มสูงขึ้น การจราจรที่ติดขัด รถบรรทุกที่มีน้ำหนักเกินกว่าที่กำหนด โดยในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อศึกษาผลการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam [1] เพื่อศึกษาว่าผลการออกแบบเสริมผิวทางที่ได้นั้นมีผลอย่างไร และวิธีการดังกล่าวทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพดีและเป็นการช่วยพัฒนาคุณภาพการออกแบบเสริมผิวทางในงานทางต่อไป [2]

นอกจากนี้ยังศึกษาวิธีการสำรวจในสนามและวิธีการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman beam เพื่อพิจารณาสมบัติ และประเมินสภาพผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบภายในสนามที่ใช้ในการศึกษา และเพื่อศึกษาผลการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman Beam และมีขอบเขตของการศึกษา คือ ผิวทางที่ใช้ในการศึกษาคือ ผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible pavement) โดยผิวทางที่ใช้ในการศึกษาจะมีอายุบริการตามที่ได้ออกแบบผิวทางไว้ 7 ปี ทำการศึกษาในพื้นที่ภาคกลางทั้งหมด 10 สายทาง แบ่งเป็น 27 ช่วงทดลอง ช่วงทดลองละ 2 กิโลเมตร โดยการศึกษาจะมุ่งศึกษาผลการออกแบบเสริม

ผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam และพิจารณาถึงสมบัติต่าง ๆ ของผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งได้แก่ค่าการแอ่นตัว (Deflection) ขนาดของร่องล้อ (Rut depth) เปอร์เซ็นต์การแตกร้าว (Cracking) และความหนาเสริมผิวทาง (Overlay thickness) [3]

ดังนั้นประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือ ทำให้ทราบว่าหากทำการทดสอบผิวทางแบบยืดหยุ่นสายทางเดียวกัน โดยทำการหาค่าการแอ่นตัวของผิวทางที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman beam จะทำให้ผลการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการออกแบบนั้นเป็นอย่างไร โดยพิจารณาว่าวิธีการดังกล่าวให้ความเหมาะสมต่อการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่น เพื่อให้ถนนมีคุณภาพที่ดีขึ้น ลดการเสียหาย ช่วยประหยัดงบประมาณในการดูแลซ่อมแซมถนนของประเทศลงได้

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วิธีการทดลองของเครื่องมือ Benkelman beam

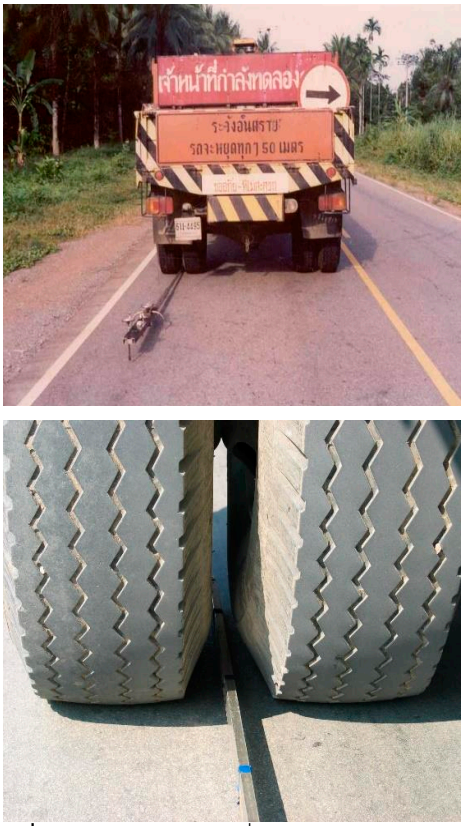
วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองของกรมทางหลวง ซึ่งมีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้ [4]

2.1.1 นำรถบรรทุกเข้าจอดตามแนวของถนนให้ช่องล้อคู่นอกอยู่ในแนวของจุดทดลองขนานกับถนน ศูนย์กลางของล้ออยู่หลังจุดทดลอง 0.20 เมตร

2.1.2 สอดปลายคาน Beam จากด้านหลังรถ เข้าไปในช่องว่างระหว่างล้อคู่จนจุดปลายเดือย (Probe) อยู่บนจุดทดลอง ปรับแนวคานให้อยู่ในแนวของล้อรถบรรทุกเมื่อรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแล้วแก้มยางด้านหนึ่งด้านใดต้องไม่สัมผัสกับตัวคาน จัดขาตั้งหน้าและหลังให้มั่นคง คลายหมุดบังคับที่อยู่ด้านหน้า ปลายเดือยจะสัมผัสจุดทดลอง และคลายหมุดบังคับที่อยู่ด้านหลังให้ปลายคานอีกด้านหนึ่งสัมผัสกับเดือยของ Dial gauge โดยให้ Dial gauge หมุนอย่างน้อย 3-4 รอบ เปิดสวิทช์ให้ Buzzer ทำงาน ปรับ Dial gauge ไปที่ 0 เป็น Initial reading

2.1.3 ให้สัญญาณรถบรรทุก ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างช้า ๆ (Creep speed) ไม่เกิน 4 กม./ชม. ผ่านจุดทดลอง อ่านค่า Reverse reading (Rv) เมื่อเข็มชี้มากที่สุดก่อนที่เข็มจะเริ่มหมุนกลับให้รถบรรทุกเคลื่อนที่ต่อไปเรื่อย ๆ จนพ้นจากจุดทดลองไม่น้อยกว่า 5.00 ม. อ่านค่า Rebound reading (Rb) เมื่อเข็มหยุดนิ่งหรือเข็มหมุนไม่เกิน 0.025 มม./นาที ดังสมการที่ 1

$$Ri = \text{Individual Deflection} = Rv + Rb \quad (1)$$



ภาพที่ 1 วิธีการทดลองของเครื่องมือ Benkelman beam

2.1.4 หมุนปิดหมุดบังคับ (Beam lock) ก่อนที่จะเคลื่อนย้ายตัว Beam เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องมือ เนื่องจากแขนของ Beam ที่สัมผัสกับเดือยของ Dial gauge จะไปตีเดือย Dial gauge ทำให้เสียหายได้ ดังแสดงในภาพที่ 1 วิธีการทดลองของเครื่องมือ Benkelman beam [5]

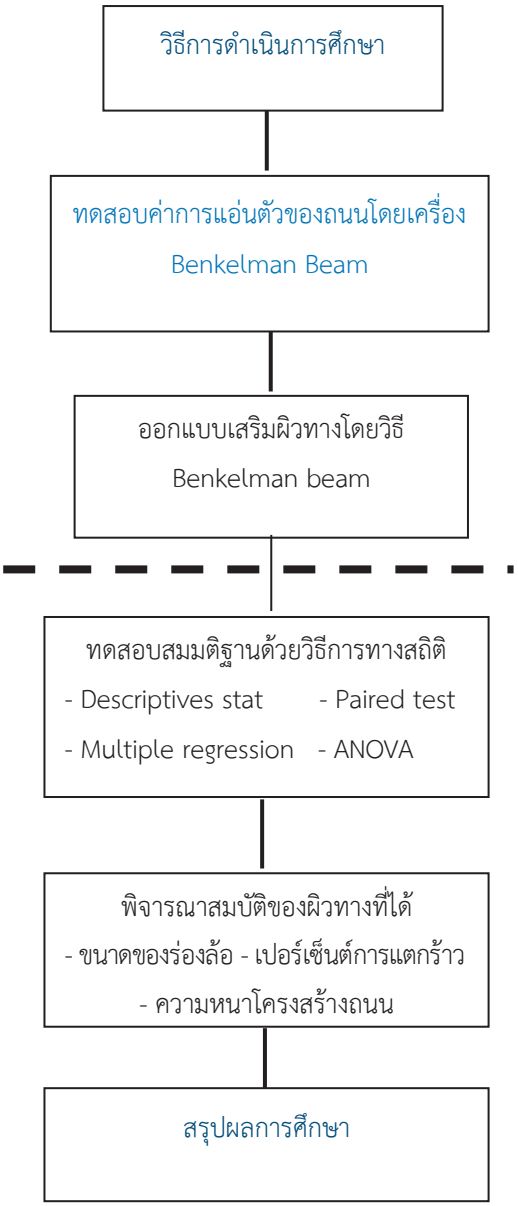
2.2 การออกแบบเสริมผิวทางโดยวิธี Benkelman Beam

โดยการคำนวณค่าการแอ่นตัวของถนนและการคำนวณออกแบบเสริมความแข็งแรง ซึ่งวิธีการออกแบบนี้ เป็นวิธีการปรับปรุงมาจาก California method เป็นการคำนวณเสริมความแข็งแรงให้เพียงพอเพื่อลดค่าการแอ่นตัว ให้อยู่ในความสามารถรับน้ำหนักและปริมาณการจราจรได้ตลอดอายุการออกแบบ [6]

ดังนั้นจากการทดสอบในสนามโดยเครื่องมือ Benkelman beam เราสามารถนำมาทำการวิเคราะห์คำนวณได้ค่าต่าง ๆ เช่น ค่าการแอ่นตัวของถนนและค่าการออกแบบความหนาเสริมผิวทาง [7]

2.3 การทดสอบสมมติฐานโดยวิธีการทางสถิติ

การทดสอบในขั้นตอนนี้ ก็เพื่อตรวจวัดว่าช่วงทดลองที่ทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบและออกแบบที่ช่วงต่างกัน จะทำให้ได้ค่าการแอ่นตัวและค่าความหนาเสริมผิวทางแตกต่างกันหรือไม่ รวมทั้งทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีการทางสถิติ คือ การวิเคราะห์ค่าทางสถิติในเบื้องต้น การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ (Multiple regression analysis) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way analysis of variances) โดยการทดสอบในสนาม การวิเคราะห์ข้อมูล และการวิเคราะห์ทางสถิติจะสามารถนำมาสรุปเป็นแผนภาพในภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดในการศึกษา



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดในการศึกษา

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางแบบยืดหยุ่นนำมาทำการออกแบบค่าความหนาเสริมผิวทางด้วยวิธี Benkelman beam โดยทำการพิจารณาถึงสมบัติของช่วงทดลองที่ใช้ในการทดสอบร่วมด้วย จากนั้นจึงนำค่าการแอ่นตัวและค่าความหนาเสริมผิวทางที่ได้จากการทดสอบและออกแบบ มาทำการเปรียบเทียบกับค่าการแอ่นตัว ค่าความหนาเสริมผิวทาง และสมบัติต่าง ๆ โดยผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า

3.1 จากการศึกษาวิธีการสำรวจในสนามและวิธีการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman beam นั้น ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิในการทดสอบจะไม่ต่างกันหรือต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากทำการทดสอบติดต่อกันทันทีในจุดทดสอบในช่วงเดียวกัน ซึ่งจากการทดสอบภายในสนาม นั้นค่อนข้างที่จะอันตรายต่อผู้ทดสอบ ในการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางดังกล่าว จะนำไปทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติจะได้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย และค่าผิดพลาดมาตรฐาน

3.2 จากการพิจารณาคุณสมบัติ และประเมินสภาพผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบภายในสนามที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งในการพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ของช่วงทดลองที่ใช้ในการทดสอบดังกล่าว พบว่า ค่าขนาดร่องล้อ ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว ค่าปริมาณการจราจร และค่าความหนาชั้นผิวทาง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาดร่องล้อกับค่าสมบัติต่าง ๆ ของผิวทางสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2 ดังนี้

$$RD = 0.520\ Crack + 7.032E\text{-}05\ AADT + 1.114E\text{-}02\ AC \quad (2)$$

เมื่อ

RD = ค่าเฉลี่ยขนาดร่องล้อ (มม.)

Crack = ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว (%)

AADT = ค่าปริมาณการจราจร (คัน/วัน)

AC = ค่าความหนาชั้นผิวทาง (มม.)

จากความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้ พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวมีค่ามากกว่าค่าขนาดร่องล้อแต่แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจากสมบัติของผิวทางจะส่งผลถึงการทดสอบหาค่าการแอ่นตัวของผิวทางได้ เนื่องจากการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางด้วยเครื่อง Benkelman beam ถ้าหากมีขนาดร่องล้อหรือการแตกร้าวที่ผิวทางจะมีผลโดยตรง

ซึ่งในการศึกษานี้ทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางแบบยืดหยุ่นมีผลเป็นอย่างไร โดยใช้รถบรรทุกหนัก 566 kPa (80 kN) ในการทดสอบโดยใช้วิธีของ Standard method DOH ซึ่งปรับปรุงมาจากวิธีการทดลองตามแบบ Transient deflection และจากผลการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางของทุกจุดทดสอบทั้งหมด 1,101 จุดทดสอบ สามารถนำมาสรุปค่าทางสถิติในเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าทางสถิติในเบื้องต้นของค่าการแอ่นตัวของผิวทางทุกจุดทดสอบ

ค่าทางสถิติ	Benkelman beam
Max	1.600
Min	0.020
Range	1.580
Mean ($\bar{x}$)	0.400
Standard Deviation (SD)	0.201
Coefficient of Variation	0.503
(C.V.) Standard Error (SE)	0.006
Percentile 85	0.600

จากผลการทดสอบค่าการแอ่นตัวเฉลี่ยของผิวทางของช่วงทดลองที่ใช้ในการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติในเบื้องต้นของค่าการแอ่นตัวเฉลี่ยของผิวทาง

ค่าทางสถิติ	Benkelman beam
Max	0.626
Min	0.050
Range	0.576
Mean($\bar{x}$)	0.399
Standard Deviation (SD)	0.149
Coefficient of Variation	0.373
(C.V.) Standard Error (SE)	0.020
Percentile 85	0.548

จากผลการทดสอบพบว่าค่าขนาดร่องล้อ ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว ค่าปริมาณการจราจร และค่าความหนาชั้นผิวทางจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจากสมบัติของผิวทางจะส่งผลถึงการทดสอบหาค่าการแอ่นตัวของผิวทางได้ เนื่องจากการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางด้วยเครื่อง Benkelman beam ถ้าหากมีขนาดร่องล้อหรือการแตกร้าวที่ผิวทางจะมีผลโดยตรง

4. สรุปผลการทดลอง

จากการพิจารณาสมบัติ และประเมินสภาพผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบภายในสนามที่ใช้ในการศึกษา พบว่า ค่าขนาดร่องล้อ ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว ค่าปริมาณการจราจร และค่าความหนาชั้นผิวทาง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาดร่องล้อกับค่าสมบัติต่าง ๆ ของผิวทาง และทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam พบว่าสำหรับผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ใช้ในการศึกษา จะช่วยให้ทราบข้อมูลค่าการแอ่นตัวและค่าความหนาเสริมผิวทาง รวมทั้งสามารถนำข้อมูลไปทำการออกแบบเสริมผิวทางเพื่อพัฒนาคุณภาพถนนให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ลดการเสียหาย ช่วยประหยัดงบประมาณในการดูแลซ่อมแซมถนนของประเทศลงได้

5. ข้อเสนอแนะ

โดยข้อเสนอต่อไปนี้จัดทำขึ้นเพื่อประโยชน์ต่อการปรับปรุง และพัฒนาการออกแบบถนน รวมทั้งการบำรุงรักษาถนนให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยดำเนินการทดสอบวัดค่าการแอ่นตัวของถนนสายทางต่าง ๆ โดยสม่ำเสมอตลอดปี เช่น ตรวจวัดทุก ๆ ระยะ 3 เดือน เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่ต่อเนื่อง และทราบถึงความเปลี่ยนแปลงของค่าการแอ่นตัวในฤดูต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ประกอบ

การบูรณะบำรุงรักษาถนน และพัฒนาวิธีการออกแบบและก่อสร้างถนนให้มี คุณภาพดี และเหมาะสมยิ่งขึ้น ดำเนินงานวิจัยด้านการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุชั้นทางต่าง ๆ ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม โดยใช้ วัสดุจากแหล่งต่าง ๆ กัน และดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาวิธีซ่อมแซม และปรับปรุงคุณภาพของถนน เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของถนนได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณแสงชัย เทพสิทธิทรากรณ์ และคุณประเสริฐ บุญธรักษา ส่วนสำรวจและประเมินสภาพทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบและข้อมูลในการทำวิจัย

7. อ้างอิง

[1] ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, ธรรมมา เจียรธราวานิช._การเปรียบเทียบการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman Beam และ Falling Weight Deflectometer. วิศวกรรมสาร มก. 2549; 57:46–59.

[2] ธรรมมา เจียรธราวานิช. การเปรียบเทียบการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman Beam และ Falling Weight Deflectometer. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2546.

[3] Atkins HN. Highway Materials , Soils and Concretes. 3rd ed. U.S.A.: APrentice-Hall; 1997.

[4] Canadian Good Road Association, (CGRA). A Guide for the Structural Design of Flexible and Rigid Pavement in Canada. Canada: 1965.

[5] Huang YH. Pavement Analysis and Design. 1st ed. U.S.A.: A Prentice-Hall; 1993.

[6] The Asphalt Institute. Asphalt Overlay and Pavement Rehabilitation (MS-17). U.S.A.: College Park, Md.; 1969.

[7] Ullidtz P. Pavement Analysis. 1st ed. Denmark.: Polyteknisk Forlag; 1987.