บทความวิจัย

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับถนนแบบยืดหยุ่นเสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ในประเทศไทย กรณีก่อสร้างใหม่และซ่อมแซมแบบเททับหน้า

ทนงศักดิ์ อิ่มใจ*
สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 7567 2399 อีเมล: thanongsak.im@wu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.06.001
รับเมื่อ 7 มีนาคม 2562 แก้ไขเมื่อ 22 เมษายน 2562 ตอบรับเมื่อ 24 เมษายน 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 26 มิถุนายน 2562
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการพิจารณาความคุ้มทุนของการนำแผ่นวัสดุใยสังเคราะห์มาใช้ในการก่อสร้างและซ่อมแซมผิวทางบนถนนลาดยางในถนนสายประธานและสายรองในประเทศไทย แนวทางการวิเคราะห์และประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์ ทำโดยการนำข้อมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลประโยชน์และมูลค่าการลงทุนมาคำนวณหามูลค่าปัจจุบันด้วยวิธี Discounted Cash Flow Technique ณ Discount Rate ที่ร้อยละ 12 (ตามหลักเกณฑ์การวิเคราะห์โครงการภาครัฐ) และคำนวณดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ โดยในการศึกษาความคุ้มทุนของการใช้วัสดุสังเคราะห์เสริมแรงในชั้นทางแบบยืดหยุ่น ทางผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโดยใช้ทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งผลการวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการก่อสร้างและซ่อมบำรุงถนนแบบยืดหยุ่นของกรมทางหลวงในประเทศไทย

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การวิเคราะห์วงจรชีวิต วัสดุใยสังเคราะห์ ถนนแบบยืดหยุ่น

การอ้างอิงบทความ: ทนงศักดิ์ อิ่มใจ, "การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับถนนแบบยืดหยุ่นเสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ในประเทศไทย กรณีก่อสร้างใหม่และซ่อมแซมแบบเททับหน้า," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 4, หน้า 565–576, ต.ค.–ธ.ค. 2562.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 29 ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2562
The Journal of KMUTNB., Vol. 29, No. 4, Oct.–Dec. 2019

Research Article

Economic Analysis of Flexible Pavement Reinforced with Geosynthetics in Thailand for New Construction and Overlay

Thanongsak Imjai*
Department of Civil Engineering, School of Engineering and Technology, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 7567 2399, E–mail: thanongsak.im@wu.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.06.001
Received 7 March 2019; Revised 22 April 2019; Accepted 22 April 2019; Published online: 26 June 2019
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research project deals with an economic study for construction and repair of flexible pavement reinforced with Geosynthetics in Thailand. The economic model is studied using the financial model, Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) by the discounted cash flow technique at a discount rate of 12% (according to the government's investment policy). The benefit-cost-ratio (B/C) is then investigated for the use of Geosynthetics as the repair materials and/or overlays. The result of the research could be served as construction and/or repair of flexible pavement information for repair and maintenance programs in Thailand.

Keywords: Economic Study, Life Cost Analysis, Cost Analysis, Geosynthetic, Flexible Pavement

Please cite this article as: T. Imjai, "Economic analysis of flexible pavement reinforced with geosynthetics in Thailand for new construction and overlay," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 4, pp. 565–576, Oct.–Dec. 2019 (in Thai).

1. บทนำ

ปัจจุบันที่ปริมาณการจราจรบนถนนได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่งผลให้ถนนลาดยาง (Flexible Pavement) ของกรมทางหลวงในประเทศไทย รับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรมากกว่าที่ออกแบบไว้ และมักจะเกิดความเสียหายก่อนเวลาอันควร โดยความเสียหายแบบร่องล้อ (Rutting) ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) เป็นความเสียหายที่พบมากกว่าร้อยละ 65 ของความเสียหายทั้งหมดของถนนลาดยาง [1] สาเหตุจากการที่พื้นทางรับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำไปซ้ำมาเป็นระยะเวลานานจนกระทั่งส่งผลให้เกิดการชำรุดเสียหายก่อนเวลาอันควร ทำให้ผิวชั้นทางไม่สามารถใช้งานได้ สำหรับวิธีการแก้ปัญหาเหล่านี้ที่ผ่านมาได้มีการซ่อมบำรุงโดยการเซาะผิวหน้าที่เกิดรอยแตกร้าวนี้ออกแล้วทำการก่อสร้างผิวพื้นทางใหม่ หรือในบางกรณีอาจจะมีวิธีการซ่อมบำรุงพื้นทางที่มีความเสียหายโดยการทำผิวทางใหม่ทับพื้นทางที่เสียหาย (Overlay) แต่มักจะเกิดปัญหาตามมา เช่น การหลุดร่อน หรือเกิดเป็นรอยร่องล้อขึ้นตามมาได้อีก ทำให้ต้องมีการซ่อมบำรุงชั้นพื้นทางอยู่เสมอ รายละเอียดวิธีการซ่อมถนนแบบยืดหยุ่นแสดงในตารางที่ 1 [2], [3]

ในต่างประเทศมีการประยุกต์ใช้แผ่นใยสังเคราะห์ Geosynthetic แบบ Geotextile [รูปที่ 1 (ข)] และ Geogrid [รูปที่ 1(ค)] ปูใต้พื้นทางก่อนการก่อสร้างใหม่ซึ่งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะแผ่นใยสังเคราะห์จะช่วยในการยึดติดระหว่างผิวทางใหม่และเก่าและยังช่วยลดการเสียรูปของผิวทางอีกด้วย [4]–[9] นอกจากนั้นมีผลทำให้อายุการใช้งานของผิวทางสูงกว่าแบบเดิมถึงกว่าร้อยละ 50 [10], [11]

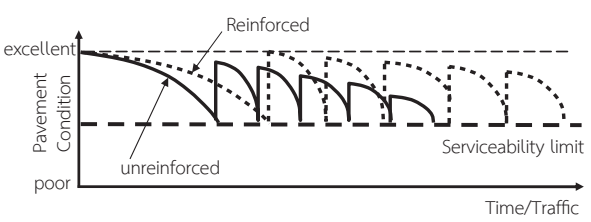
ในด้านของการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการประยุกต์ใช้วัสดุใยสังเคราะห์ในงานถนนแบบยืดหยุ่น Perkins *et al*. [12] ในปี ค.ศ 2005 ทำการการศึกษาวัฏจักรชีวิตของการประยุกต์ใช้วัสดุใยสังเคราะห์ในงานถนน (Life Cost Cycle Analysis; LCCA) โดยผลการศึกษาระบุว่าการใช้วัสดุเสริมแรงใต้ชั้นผิวทางในช่วงแรกจะมีงบในการก่อสร้างสูงกว่าแบบเดิม แต่ในระยะยาวพบว่ามีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า เนื่องจากต้องซ่อมบำรุงน้อยกว่า [รูปที่ 2 (ก)] ในปี ค.ศ 2007 Yang and Al-Qadi [13] ได้ทำการศึกษาวัฏจักรชีวิตของการก่อสร้าง LCCA โดยเปรียบเทียบจากผลการศึกษาของ Perkins *et al*. [12] โดย Yang and Al-Qadi ได้เสนอแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ในรูปที่ 2 (ข) และทำการแบ่งช่วงระยะของการซ่อมบำรุงของงานถนนแบบหยืดหยุ่นของการก่อสร้างออกเป็น Initial Cost, First Rehabilitation,

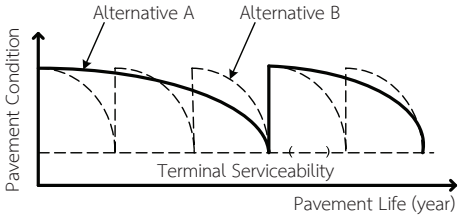
(ก) รูปแบบความเสียหายแบบร่องล้อ

(ข) การเสริมแรงถนนด้วยวัสดุ Geotextile

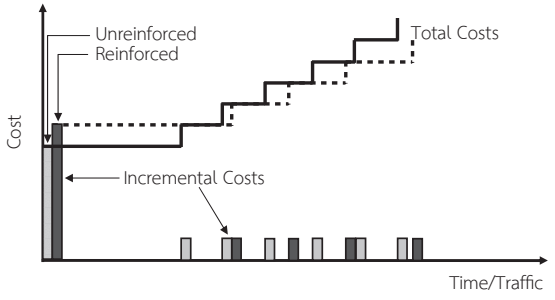
(ค) การเสริมแรงถนนด้วยวัสดุ Geogrid

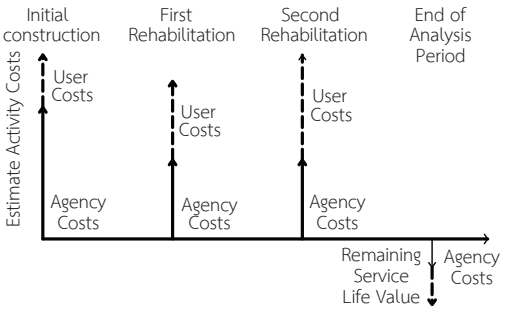
รูปที่ 1 ถนนลาดยางแบบเสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ของกรมทางหลวง [14]





(ก) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดย Perkins *et al*. [12]





(ข) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดย Yang and Al-Qadi [13]

รูปที่ 2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผิวทางแบบมีการเสริมแรงและไม่มีการเสริมแรง

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อจำกัดในการแก้ไขปัญหาการเกิดร่องล้อลึกและถนนแบบยืดหยุ่นที่เสียหาย [2], [3]

วิธีแก้ไขปัญหา	ข้อดี	ข้อจำกัด
Full-Depth and Partial-Depth Patches	- ใช้ระยะเวลาในการซ่อมแซมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการเสริมกำลังโดยใช้วัสดุใยสังเคราะห์ - มีประสิทธิภาพสำหรับพื้นถนนที่เสียหายมาก	- เป็นวิธีการซ่อมแซมเมื่อปัญหาเกิดขึ้นแล้ว - มีการปิดการจราจรขณะทำการซ่อมแซม
Patching (Filling Ruts and Depressions)	- ใช้ระยะเวลาในการซ่อมแซมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการเสริมกำลังโดยใช้วัสดุใยสังเคราะห์ - มีประสิทธิภาพสำหรับพื้นถนนที่เสียหายไม่มาก	- เป็นการแก้ไขปัญหาร่องล้อลึกที่เกิดขึ้นแบบชั่วคราว - เป็นวิธีการซ่อมแซม เมื่อปัญหาเกิดขึ้นแล้ว - มีการปิดการจราจรขณะทำการซ่อมแซม
Use of Geosynthetic Reinforcement	- มีประสิทธิภาพช่วยยืดอายุการใช้งาน - ช่วยลดความหนาของชั้นถนนลาดยาง - เป็นวิธีการป้องกันและได้ผลในระยะยาว - ประหยัดในด้านลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบความหนาของโครงสร้างถนน	- วัสดุใยสังเคราะห์ราคาค่อนข้างสูง - ยังไม่มีมาตรฐานการออกแบบในประเทศไทย ซึ่งการออกแบบยังต้องอ้างอิงมาตรฐานจากต่างประเทศ - ต้องการผู้เชี่ยวชาญในการปฏิบัติการในภาคสนาม

Second Rehabilitation ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) เพื่อทำการออกแบบสร้างแบบจำลองทางการเงินในช่วงของการซ่อมบำรุงในรูปแบบของวัฏจักรชีวิตของการก่อสร้าง (Life Cost Cycle Analysis) จากผลการศึกษาโดยผู้วิจัยพบว่าการใช้วัสดุเสริมแรงใต้ชั้นผิวทางในช่วงแรกจะมีงบในการก่อสร้างสูงกว่าแบบเดิม แต่ในระยะยาวพบว่ามีความคุ้มค่าในทาง

เศรษฐศาสตร์สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ โดย Perkins *et al*. [12] เนื่องจากต้องซ่อมบำรุงน้อยกว่า

การประยุกต์ใช้แผ่นใยสังเคราะห์สำหรับงานถนนแบบยืดหยุ่นในประเทศไทยเริ่มมีการทดสอบประสิทธิภาพด้านการรับแรงและความสามารถในการลดปัญหาแบบร่องล้อโดยกรมทางหลวง [14], [15] แต่การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ในระยะสั้น และระยะยาวยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง เนื่องจากขาดข้อมูลทางด้านวัสดุ และรายละเอียดการก่อสร้างบนงานถนนสายหลักของกรมทางหลวงในประเทศไทย ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อพิจารณาความคุ้มทุนของการนำแผ่นวัสดุเสริมกำลังมาใช้ในการก่อสร้างและซ่อมแซมผิวทางบนถนนลาดยางในถนนสายประธานและสายรองในประเทศไทย โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพิจารณาความคุ้มทุนในทุกรูปแบบของชั้นพื้นทางที่มีใช้งานในปัจจุบัน มีรายละเอียดดังนี้

1) ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการก่อสร้างชั้นทางแบบยืดหยุ่นที่เสริมด้วยวัสดุเสริมแรง

2) เพื่อเสนอแนวทาง (ตัวเลือก) ประมาณราคาการสร้างหรือซ่อมแซมบำรุงถนนด้วยวิธีการนำแผ่นวัสดุเสริมมาใช้เสริมกำลังผิวทางแบบยืดหยุ่นบนพื้นผิวถนนคอนกรีต

3) เพื่อความเหมาะสมและอัตราประโยชน์ในเรื่องของค่าการคำนวณทางวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการวิจัยถนนแบบยืดหยุ่น จะทำการแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 กรณี เนื่องจากอายุของผิวทางจะมีประมาณ 20 ปี อ้างอิงตาม AASHTO [3] และ Huang [2] การวิเคราะห์จึงแบ่งเป็นการวิเคราะห์ในช่วง 20 ปี และการวิเคราะห์แบบนิรันดร์

1.1 การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนเป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนซึ่งคำนวณออกมาในรูปของมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน เปรียบกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนที่จ่ายไปในการดำเนินการของโครงการ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ แสดงในสมการที่ (1)

$$BC = \frac{\sum_{j=0}^{n} \frac{B_t}{(1+i)t}}{\sum_{j=0}^{n} \frac{C_t}{(1+ir)t}} \quad (1)$$

โดยที่

B_1 = ผลตอบแทนในปีที่ t (t = 1,2,3,..., n)

C_1 = ต้นทุนที่เสียในปี t (t = 1,2,3,..., n)

r = อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ

n = อายุของโครงการ

t = ปีของโครงการ (0, 1, 2, ...n)

การวิเคราะห์และประเมินค่าเงินลงทุนในโครงการจะใช้เกณฑ์การตัดสินใจ 3 วิธี คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) และอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR)

1.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value; NPV) มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ หมายถึงการประเมินหาผลรวมสุทธิของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ หรือผลตอบแทนหรือที่เรียกว่า มูลค่าปัจจุบันของผลได้ (Present Value Benefit; PVB) กับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุนหรือที่เรียกว่า มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน (Present Value Cost; PVC) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ มูลค่าของรายได้สุทธิในอนาคต เมื่อคิดลดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้วคำนวณได้ จากสมการที่ (2)

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)t} \quad (2)$$

1.3 อัตราส่วนมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนต่อต้นทุน

อัตราส่วนมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนต่อต้นทุน เกณฑ์นี้แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการลงทุน คำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$BC = \frac{\sum_{j=1}^{n} \frac{C}{(1+r)t}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{C}{(1+r)t}} \quad (3)$$

1.4 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงเป็นสูตรในการคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+IRR)t} = 0 \quad (4)$$

โดยกำหนดให้

NPV = มูลค่าปัจจุบันของผลได้สุทธิของโครงการ
B/C = อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนของโครงการ
IRR = อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ
B_1 = มูลค่าของผลตอบแทนในปีที่ t
C_1 = มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (1 = 0, 1, 2, ., n)
r = อัตราส่วนลดหรือค่าเสียโอกาสในการลงทุน
n = อายุของโครงการ

1.5 การวิเคราะห์มูลค่าของเงินลงทุนนิรันดร์

โครงการของรัฐบาลจะถูกคาดหมายให้ประชาชนได้ใช้ประโยชน์ ดังนั้นการลงทุนประเภทนี้จะสามารถคำนวณโดยวิธีการของเงินลงทุนนิรันดร์ (Capitalized Cost Calculation and Analysis) สำหรับ Cash Flow ที่เกิดขึ้นในการคำนวณค่าเงินลงทุนนิรันดร์ในส่วนโครงการก่อสร้างถนนผิวทางยืดหยุ่นตามข้อเสนอของ Mallick and El-Korchi [16] อายุของวัสดุผิวทางมีระยะเวลาประมาณ 20 ปี ดังนั้นการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันจะนำรอบ 20 ปี มาพิจารณาเป็นอีกกรณี

2. วิธีการวิจัย

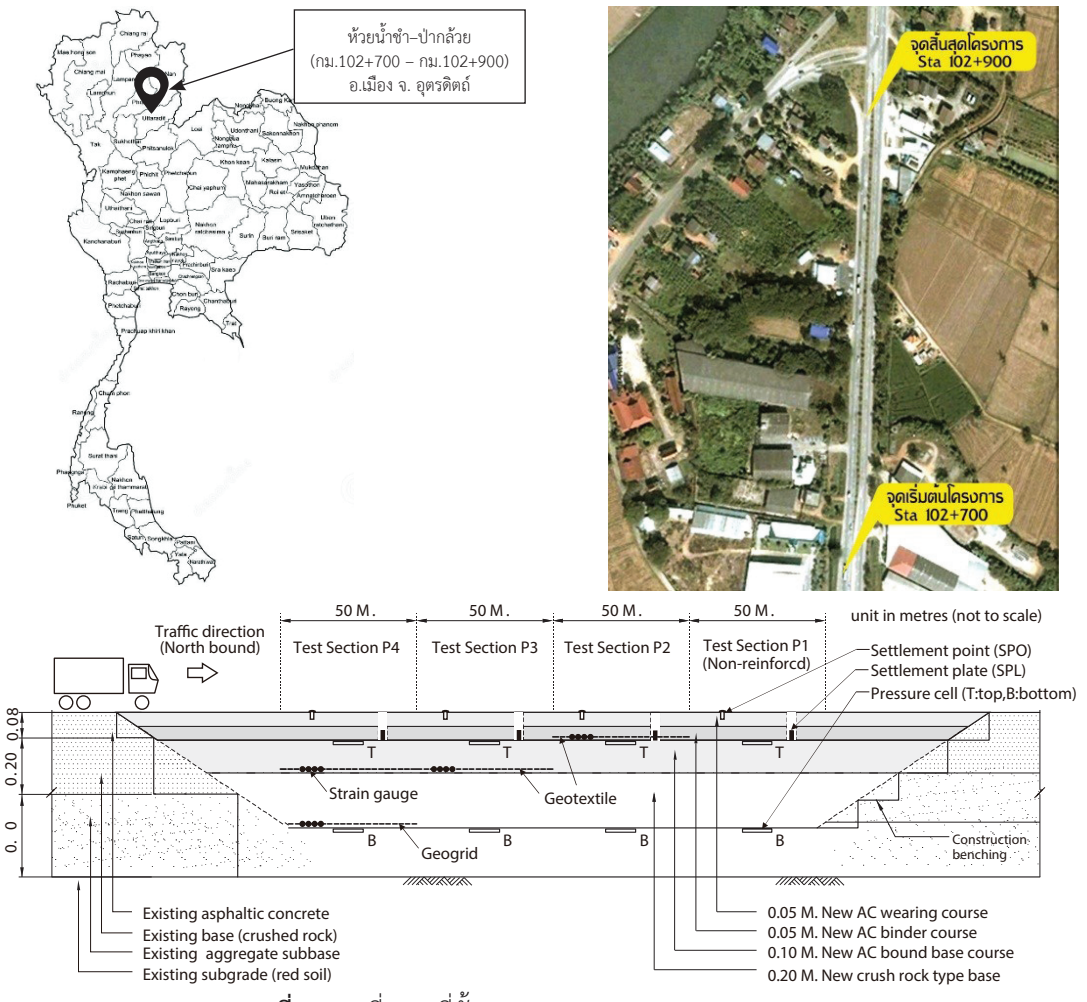
การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในโครงการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเหมาะสมทางด้านความคุ้มทุนในระยะสั้นและระยะยาว โดยทำการศึกษาและการวิเคราะห์ความเหมาะสมหรือผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของโครงการ เป็นการวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐกิจของผลประโยชน์ (Benefit) เปรียบเทียบกับมูลค่าการลงทุน หรือค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ โดยจะแบ่งพิจารณา 2 ประเด็น คือ 1) ในด้านการลงทุนโดยทำการเปรียบราคาค่าก่อสร้างชั้นทางปกติ และชั้นทางเสริมวัสดุสังเคราะห์เสริมแรง และ 2) ในด้านการซ่อมบำรุงโดยการเปรียบเทียบรอบการบำรุงผิวทางในเชิงค่าซ่อมบำรุง ระหว่างชั้นทางปกติ และชั้นทางเสริมวัสดุสังเคราะห์เสริมแรง

ผู้วิจัยจะแบ่งระยะการดำเนินการศึกษาวิจัยในโครงการโดยเริ่มจากการศึกษาประสิทธิภาพแปลงทดสอบที่เสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ของกรมทางหลวง โดยทำการตรวจวัดความลึกของร่องล้อในระยะยาว และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างถนนสายรองประธานและถนนสายประธานของกรมทางหลวง โดยคิดค่าวัสดุเสริมแรงใน 3 กรณี คือ กรณีก่อสร้างใหม่ กรณี Overlay สภาพเสียหายไม่มาก และกรณี Overlay สภาพเสียหายมาก โดยมีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพของแปลงทดสอบเสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์

การศึกษาพฤติกรรมของชั้นพื้นทางบนแปลงทดสอบโครงสร้างถนนลาดยางแบบไม่เสริมแรงและแบบเสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์สองประเภท คือ ใยสังเคราะห์ (Geotextile; Polypropylene + Glass Fibres) และตาข่ายสังเคราะห์ (Geogrid; Polyester) ซึ่งแปลงทดสอบมีความยาว 200 เมตร ตั้งอยู่ในบนถนนทางหลวงหมายเลข 11 ช่วง ห้วยน้ำชำ – ป่ากล้วย (กม.102+700 – กม.102+900) ซ้ายทาง อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยเป็นเส้นทางหลวงสายหลักเชื่อมการคมนาคมระหว่างจังหวัดในภาคกลางกับจังหวัดในภาคเหนือด้านตะวันออก และจังหวัดภาคเหนือด้านตะวันตก มีลักษณะผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีตขนาด 4 ช่องจราจร

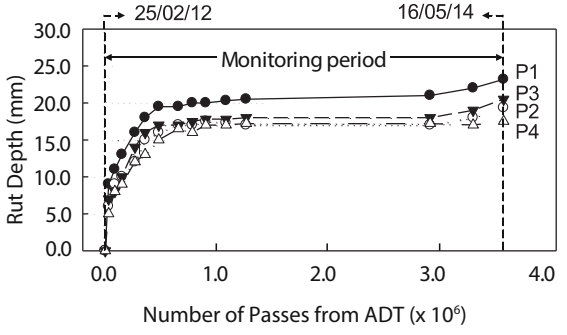
คณะวิจัยได้ทำการก่อสร้างแปลงทดสอบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุเสริมแรงและต้นทุนการก่อสร้างทั้งสองประเภทคือใยสังเคราะห์ (Geotextile) และตาข่ายสังเคราะห์ (Geogrid) ดังแสดงในตารางที่ 2 ภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบคงที่ ที่น้ำหนัก 20, 30 และ 40 ตัน พบว่าถนนลาดยางที่เสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ในแปลงทดสอบ P4 คือมีการเสริมด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ และตาข่ายสังเคราะห์สามารถที่จะช่วยลดความเค้นในแนวดิ่งจากน้ำหนักบรรทุก



รูปที่ 3 แผนที่แสดงที่ตั้งแปลงทดสอบของกรมทางหลวง [14]

ได้ประมาณร้อยละ 15–20 เมื่อเปรียบเทียบจากแปลงทดสอบ P1 (แปลงที่ไม่มีการเสริมแรง) และยังสามารถลดค่าความเครียดได้ประมาณร้อยละ 5–10 เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงทดสอบ P2 และ P3 อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาการเกิดร่องล้อจากสภาพการจราจรปรกติได้ประมาณร้อยละ 10–15 เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงทดสอบที่ 1 จากการตรวจวัดร่องล้อในช่วง 2 ปี ภายหลังการก่อสร้าง (25/02/12 – 16/05/14) ดังแสดงในรูปที่ 4

อย่างไรก็ตาม การศึกษาแปลงทดสอบในโครงการมุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมแรงเพื่อลดปัญหาความเสียหายแบบร่องล้อ [14]



รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการเสียรูปแบบร่องล้อกับปริมาณ Average Daily Traffic ของแปลงทดสอบ [14]

ในส่วนของการศึกษาต้นทุนของการก่อสร้างผิวทางใหม่หรือปูทับหน้าผิวใหม่ โดยใช้คันทางทางเดิมและรองพื้นทางเดิม ซึ่งจะประกอบด้วย งานผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต งานพื้นทางหินคลุก และงานรองพื้นทาง งานเสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ โดยมีราคาต่อหน่วย อ้างอิงจากเอกสารประมาณราคากลางของกรมทางหลวง แสดงในตารางที่ 2 และในส่วนของการศึกษา ถึงผลการตอบแทนการลงทุนและวัฏจักรชีวิต (Life Cost Assessment) ของการใช้วัสดุใยสังเคราะห์ (Geosynthetics) ในการก่อสร้างใหม่ และการซ่อมแซมแบบปูทับหน้าด้วยวัสดุผิวทางเดิม แสดงรายละเอียดในหัวข้อ 2.2

ตารางที่ 2 ต้นทุนการก่อสร้างถนนจากราคากลางของกรมทางหลวง

รายการต้นทุนการก่อสร้าง	ราคา (บาทต่อตร.ม.)
ราคาค่าก่อสร้างทาง	640[a] (410)[b]
ราคาค่า Overlay ทาง	230[a] (230)[b]
ราคาค่าก่อสร้างทาง + Geotextile	870[a] (640)[b]
ราคาค่า Overlay ทาง + Geotextile	460[a] (460)[b]
ราคาค่าก่อสร้างทาง + Geogrid	780[a] (540)[b]
ราคาค่า Overlay ทาง + Geogrid	370[a] (370)[b]

หมายเหตุ:
[a] ทางหลวงสายประธาน
- ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต 10 ซม.
- พื้นทางหินคลุก 20 ซม.
- รองพื้นทาง 30 ซม.
- ค่า DTN ของผิวทาง = 1,390 คันต่อวัน

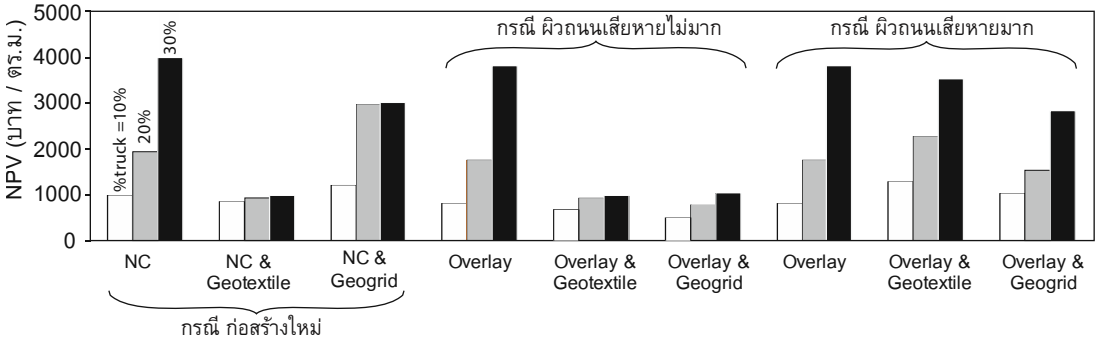
[b] ทางหลวงสายรองประธาน (นอกเมือง)
- ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต 5 ซม.
- พื้นทางหินคลุก 20 ซม.
- รองพื้นทาง 30 ซม.
- ค่า DTN ของผิวทาง = 185 คันต่อวัน

2.2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

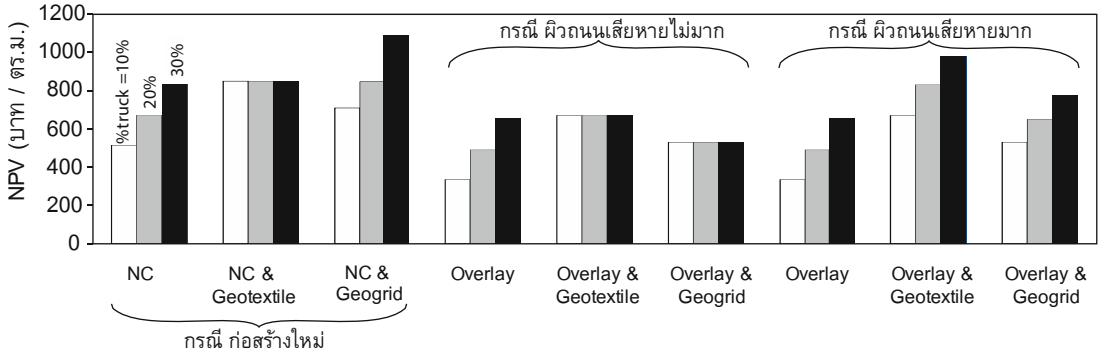
การศึกษาด้านของเศรษฐศาสตร์ทำการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างถนนสายรองประธานและถนนสายประธานของกรมทางหลวง โดยคิดค่าวัสดุเสริมแรงใน 3 กรณี คือ 1) กรณีก่อสร้างใหม่ 2) กรณีการซ่อมแซมแบบปูทับหน้าด้วยวัสดุผิวทางเดิม โดยผิวทางสภาพเสียหายไม่มาก และ 3) กรณีการซ่อมแซมแบบปูทับหน้าด้วยวัสดุผิวทางเดิมโดยผิวทางสภาพเสียหายมาก จะพบว่าในถนนสายรองประธานกรณีก่อสร้างใหม่ที่ใช้ Geotextile จะมีมูลค่าลงทุนน้อยที่สุดในทุกกรณีของสัดส่วนรถบรรทุก ในกรณี Overlay สภาพเสียหายไม่มาก จะพบว่าที่สัดส่วนรถบรรทุก (%truck) เท่ากับร้อยละ 10 และ 20 การ Overlay โดยใช้ Geogrid จะมีมูลค่าการลงทุนน้อยที่สุด ส่วนกรณีสัดส่วนรถบรรทุกเท่ากับร้อยละ 30 นั้น การใช้ Geotextile จะมีมูลค่าการลงทุนน้อยที่สุด และในกรณี Overlay สภาพเสียหายมาก จะพบว่าที่สัดส่วนรถบรรทุกเท่ากับร้อยละ 20 และ 30 การใช้ Geogrid จะมีมูลค่าการลงทุนน้อยที่สุด ส่วนกรณีสัดส่วนรถบรรทุกร้อยละ 10 นั้น การ Overlay โดยไม่ต้องใช้วัสดุเสริมแรงจะให้มูลค่าการลงทุนที่น้อยที่สุดดังแสดงในรูปที่ 5 (ก)

ในส่วนของถนนสายประธานกรณีก่อสร้างใหม่โดยไม่เสริมวัสดุเสริมแรงจะมีมูลค่าลงทุนน้อยที่สุดในทุกกรณีของสัดส่วนรถบรรทุก ในกรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายไม่มาก จะพบว่าที่สัดส่วนรถบรรทุก (%truck) เท่ากับร้อยละ 10 และ 20 การ Overlay โดยไม่เสริมวัสดุเสริมแรงจะมีมูลค่าการลงทุนน้อยที่สุด ส่วนกรณีสัดส่วนรถบรรทุกเท่ากับร้อยละ 30 นั้น การใช้ Geogrid จะมีมูลค่าการลงทุนน้อยที่สุด และในกรณีการซ่อมแซมแบบปูทับหน้าด้วยวัสดุผิวทางเดิม สำหรับผิวถนนมีสภาพเสียหายมาก การ Overlay โดยไม่ต้องใช้วัสดุเสริมแรงจะให้มูลค่าการลงทุนที่น้อยที่สุดในทุกกรณีของสัดส่วนรถบรรทุก ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข)

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มทุนในการซ่อมบำรุงของถนนแบบยืดหยุ่นที่นำมาออกแบบ พบว่าจากการคำนวณโดยใช้ปริมาณจราจร 6,000 คัน ในกรณีของการก่อสร้างใหม่โดยใช้ Geotextile จะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้น โดยที่สัดส่วนรถบรรทุกไม่ควรเกินร้อยละ 20 จะทำให้อายุของผิวทางเท่ากับอายุของวัสดุ กรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายไม่มาก ที่สัดส่วนรถบรรทุกไม่ควรเกินร้อยละ 10 พบว่าการใช้ Geotextile หรือ Geogrid จะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้น และสำหรับในกรณี Overlay



(ก) ค่า NPV ของถนนสายรองประธาน



(ข) ค่า NPV ของถนนสายประธาน

รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบค่า NPV ของถนนสายรองประธาน (ก) และถนนสายประธาน (ข)

ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายมาก พบว่าการใช้วัสดุเสริมแรงจะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น

ส่วนในการซ่อมบำรุงของถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น ปริมาณจราจร 10,000 คัน กรณีของการก่อสร้างใหม่โดยใช้ Geotextile จะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญ โดยอายุของผิวทางเท่ากับอายุของวัสดุ แม้ว่าสัดส่วนรถบรรทุกจะสูงถึงร้อยละ 30 ก็ตาม

กรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายไม่มาก พบว่าการใช้ Geotextile หรือ Geogrid จะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้นมากเท่ากับอายุของวัสดุ ส่วนกรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายมาก พบว่าการใช้วัสดุเสริมแรงจะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้นประมาณ 1.5 เท่า อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์พบว่า ถ้าสัดส่วนรถบรรทุกน้อยกว่าร้อยละ 10 ก็ไม่จำเป็นต้องเสริมวัสดุเสริมแรง

ตัวอย่างการคำนวนค่าลงทุนนิรันดร์ ค่าลงทุนรายปี และค่า NPV สำหรับถนนสายรองประธานและสายประธานของกรมทางหลวง กรณีรถบรรทุกที่สูง (%truck= 30) แสดงในตารางที่ 3

3. สรุป

ผลจากการศึกษาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างถนนสายรองประธานและถนนสายประธาน โดยคิดค่าวัสดุเสริมแรงใน 3 กรณี คือ กรณีก่อสร้างใหม่ กรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายไม่มาก และกรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายมาก พบว่าในถนนสายรองประธาน กรณีก่อสร้างใหม่ที่ใช้ Geotextile จะมีมูลค่าลงทุนน้อยที่สุดในทุกกรณีของสัดส่วนรถบรรทุก ซึ่งในกรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายไม่มาก พบว่าที่สัดส่วนรถบรรทุกเท่ากับ

ตารางที่ 3 ค่าลงทุนนิรันดร์ ค่าลงทุนรายปี และค่า NPV สำหรับถนนสายรองประธานและสายประธาน (%truck= 30)

กรณีศึกษา (สายรองประธาน) สายประธาน	ค่าลงทุนนิรันดร์ (บาทต่อตารางเมตร)	NPV/20 (บาทต่อตารางเมตรต่อปี)	NPV (บาทต่อตารางเมตร)
1) ก่อสร้างใหม่ (NC)			
ก่อสร้างใหม่โดยไม่เสริมวัสดุเสริมแรง	(99,726) 20,871	(199) 42	(3,989) 835
ก่อสร้างใหม่ + Geotextile	(24,390) 21,248	(49) 43	(976) 850
ก่อสร้างใหม่ + Geogrid	(75,123) 27,308	(150) 55	(3,005) 1,092
2) Overlay สภาพเสียหายไม่มาก			
Overlay โดยไม่เสริมวัสดุเสริมแรง	(95,226) 16,372	(190) 33	(3,809) 655
Overlay + Geotextile	(24,517) 16,748	(49) 39	(981) 670
Overlay + Geogrid	(25,592) 13,222	(51) 26	(1,029) 529
3) Overlay สภาพเสียหายมาก			
Overlay โดยไม่เสริมวัสดุเสริมแรง	(95,226) 16,372	(190) 33	(3,809) 655
Overlay + Geotextile	(88,112) 24,517	(176) 49	(3,524) 981
Overlay + Geogrid	(70,623) 19,471	(141) 39	(2,825) 779

ร้อยละ 10 โดยใช้ Geogrid จะมีมูลค่าการลงทุนน้อยที่สุดสำหรับในส่วนของถนนสายประธาน กรณีก่อสร้างใหม่โดยไม่เสริมวัสดุเสริมแรง จะมีมูลค่าลงทุนน้อยที่สุดในทุกกรณีของสัดส่วนรถบรรทุก และในกรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายไม่มาก พบว่าที่สัดส่วนรถบรรทุกเท่ากับร้อยละ 10 และ 20 การ Overlay ผิวถนนโดยไม่เสริมวัสดุเสริมแรงจะมีมูลค่าการลงทุนน้อย

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มทุนในการซ่อมบำรุงของถนนที่นำมาออกแบบจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าจากการคำนวณโดยใช้ปริมาณจราจร 6,000 คัน ในกรณีของการก่อสร้างใหม่มีสภาพการจราจรไม่หนาแน่นโดยใช้ Geotextile จะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้น โดยที่สัดส่วนรถบรรทุก ไม่ควรเกินร้อยละ 20 มีผลทำให้อายุของผิวทางเท่ากับอายุของวัสดุ

กรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายไม่มาก ที่สัดส่วนรถบรรทุก ไม่ควรเกินร้อยละ 10 พบว่าการใช้ Geotextile หรือ Geogrid ทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้น และในกรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายมากพบว่าการใช้วัสดุเสริมแรงจะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนในการซ่อมบำรุงของถนนที่มีการจราจรหนาแน่นโดยมีปริมาณจราจร 10,000 คัน ในกรณีของการก่อสร้างใหม่โดยใช้ Geotextile มีผลทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้นมาก โดยอายุของผิวทางเท่ากับอายุของวัสดุถึงแม้สัดส่วนรถบรรทุกจะสูงถึงร้อยละ 30 ก็ตาม กรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายไม่มาก พบว่าการใช้ Geotextile หรือ Geogrid จะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้นมากเท่ากับอายุของวัสดุ ส่วนกรณี Overlay ที่ผิวถนนมีสภาพเสียหายมากพบว่าการใช้วัสดุเสริมแรงจะทำให้รอบการซ่อมบำรุงถนนยาวนานขึ้นประมาณ 1.5 เท่า แต่ถ้าสัดส่วนรถบรรทุกน้อยกว่าร้อยละ 10 ก็ไม่จำเป็นต้องเสริมวัสดุเสริมแรง

4. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ. 2558 เลขที่สัญญา 942/2558 คณะวิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนากรมทางหลวง ที่อนุเคราะห์ข้อมูลการก่อสร้างแปลงทดสอบสำหรับการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] T. Svasdisant, S. Anuvesirikiat, N. Brahmajaree, and J. Tiptong, "Flexible pavement distress survey and investigation in Thailand," Research Report 261, Department of Highways, Ministry of Transport, Thailand, 2008.

[2] Y. H. Huang, *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. New Jersey: Pearson Prentice-Hall, 2004.

[3] *AASHTO Guide for design of pavement structures*, 4th ed. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2002.

[4] R. A. Austin and A. J. T. Gilchrist, "Enhanced performance of asphalt pavements using geocomposites," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 14, no. 3, pp. 175–504, 1996.

[5] A. Bhandari and J. Han, "Investigation of geotextile-soil interaction under cyclic wheel load using the discrete element method," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 28, no. 1, pp. 33–43, 2010.

[6] J. P. Giroud and J. Han, "Field observation on stabilization of unpaved roads with geosynthetics - Part I: Theoretical development," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 130, pp. 776–786, 2004.

[7] E. M. Palmeira, "Soil-geosynthetic interaction : Modelling and analysis," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 27, no. 5, pp. 368–390, 2009.

[8] H. Wu, B. Huang, X. Shu, and S. Zhao, "Evaluation of geogrid reinforcement effects on unbound granular pavement base courses using loaded wheel tester," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 43, no. 5, pp. 462–469, 2015.

[9] I. L Al-Qadi, S. Dessouky, E. Tutumluer, and J. Kwon, "Geogrid mechanism in low-volume flexible pavements: Accelerated testing of full-scale heavily instrumented pavement sections," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 121–135, 2011.

[10] Q. Chen, S.Hanadeh, M. Abu-Farsakh, and L. Mohammad, "Performance evaluation of full-scale geosynthetic reinforced flexible pavement," *Geosynthetics International*, vol. 25, no. 1, pp. 26–36, 2018.

[11] X. Tang, M. Abu-Farsakh, S. Hanandeh, and Q. Chen, "Performance of reinforced and stabilized unpaved test sections built over native soft soil under full-scale moving wheel loads," *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, no. 2511, pp. 81–89, 2015.

[12] S. W. Perkins, J. J Bowders, B. R. Christopher, and R. R. Berg, "Geosynthetic reinforcement for pavement systems: US per-spectives," presented at the Geo-Frontiers Congress 2005, October 2005.

[13] S. H. Yang and I. L. Al-Qadi, "Cost-effectiveness of using geotextiles in flexible pavement," *Geosynthetic International*, vol. 14, no. 1, pp. 2–12, 2007.

[14] T. Imjai, K. Pilakoutas, and M.Guadagnini, "Performance of geosynthetic-reinforced flexible pavements in full-scale field trials," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 47, no. 2, pp. 217–229, 2019.

[15] T. Imjai, A. Sawangsuriya, and M. Dechasakulsom, "Effectiveness of geosynthetic-reinforced flexible pavements: Full-scale testing and fe analysis," presented at the International Symposium on Design and Practice of Geosynthetic-Reinforced Soil Structures, at Bologna, Italy, October 2013.

[16] R. B. Mallick and T. El-Korchi, *Pavement Engineering Principles and Practice*. Florida: CRC Press Inc, 2013.