การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานระหว่างถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต

นายยุทธนา ปัญจธนศักดิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

COMPARISON OF LIFE CYCLE COST ANALYSIS BETWEEN ASPHALT PAVEMENT AND CONCRETE PAVEMENT

Mr. Yuttana Panjatanasak

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานระหว่างถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต
โดย	นายยุทธนา ปัญจธนศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.กิตติ ทรัพย์ประสม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยุทธนา ปัญจธนศักดิ์ : การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานระหว่างถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต. (COMPARISON OF LIFE CYCLE COST ANALYSIS BETWEEN ASPHALT PAVEMENT AND CONCRETE PAVEMENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล, 92 หน้า.

ทางหลวงในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นผิวทางลาดยาง โดยมีถนนคอนกรีตเป็นส่วนน้อยประมาณร้อยละ 10 แม้ว่าถนนคอนกรีตโดยทั่วไปจะมีอายุการใช้งานยาวกว่า แต่มีค่าก่อสร้างเริ่มต้นที่สูงกว่า ซึ่งปัจจุบันยังขาดแนวทางที่ชัดเจนในการเลือกชนิดผิวทางระหว่างผิวลาดยางและผิวคอนกรีต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตและถนนคอนกรีตโดยวิธีวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน โดยใช้ข้อมูลประวัติการก่อสร้าง บำรุงรักษา และปริมาณการจราจรจากสายทางของกรมทางหลวง และอ้างอิงราคากลางการก่อสร้างและบำรุงรักษา ณ ปี พ.ศ. 2556 โดยใช้พารามิเตอรแสดงผลเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิในรูปค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ร่วมกับค่าปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) เป็นตัวแทนของปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นในแต่ละปี

สายทางตัวอย่างที่คัดเลือกมาแบ่งเป็น ผิวทางแอสฟัลต์ครอบคลุม 5 มาตรฐานชั้นทาง จำนวน 61 สายทาง และผิวทางคอนกรีตเฉพาะมาตรฐานชั้นทางพิเศษ จำนวน 17 สายทาง ผลการวิเคราะห์เฉพาะถนนแอสฟัลต์สรุปได้ว่า ถนนชั้นทางพิเศษมีความคุ้มค่ามากกว่าถนนชั้นทาง 1 แม้ว่าจะมีการกระจายตัวของค่า EUAC ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า NESA จะพบว่า ถนนชั้นทางพิเศษสามารถรองรับน้ำหนักจากปริมาณการจราจรได้สูงกว่าหลายเท่าตัว ส่วนการเปรียบเทียบสายทางแอสฟัลต์ที่มีมาตรฐานชั้นทางต่ำกว่าจะมีค่า EUAC ที่กระจายตัวในช่วงกว้างมาก จึงไม่อาจหาข้อสรุปได้อย่างชัดเจน

ผลการเปรียบเทียบระหว่างสายทางแอสฟัลต์และสายทางคอนกรีตที่อยู่ในระดับมาตรฐานชั้นทางพิเศษเหมือนกันพบว่า มีค่า EUAC ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากค่าใช้จ่ายหลักของการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์ คือ ราคายางแอสฟัลต์ ซึ่งสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ขณะที่ราคาปูนซีเมนต์อันเป็นองค์ประกอบหลักของถนนคอนกรีตกลับค่อนข้างคงที่ จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานโดยใช้ราคากลาง ณ ปี พ.ศ. 2556 ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ดีหากพิจารณาประสิทธิภาพของค่าใช้จ่ายต่อการรองรับการจราจรหรือค่า EUAC/NESA ของผิวทางทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยพบว่า ผิวทางคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก แสดงถึงความคุ้มค่าในการใช้จ่ายของถนนคอนกรีตที่มากกว่า นอกจากนี้การวิเคราะห์เปรียบเทียบครั้งนี้ใช้คาบเวลา 15 ปี ถึง 17 ปี ซึ่งโดยปกติถนนคอนกรีตจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าถนนแอสฟัลต์ประมาณ 10 ปีขึ้นไป จึงถือเป็นอีกข้อได้เปรียบหนึ่งของถนนคอนกรีต

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5370567721 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORDS: LIFE CYCLE COST / PAVEMENT / ASPHALTIC CONCRETE / CONCRETE

YUTTANA PANJATANASAK: COMPARISON OF LIFE CYCLE COST ANALYSIS BETWEEN ASPHALT PAVEMENT AND CONCRETE PAVEMENT. ADVISOR: ASSOC. PROF. WISANU SUBSOMPON, Ph.D., 92 pp.

The majority of national highways in Thailand are asphalt pavement; while the portion of concrete pavement is around 10 percent. Although concrete pavement has generally longer service life than asphalt pavement, but the initial construction cost is higher as well. Since there are no clear criteria for selecting asphalt or concrete pavement, this research is therefore aims to compare the life cycle cost between asphalt pavement and concrete pavement. The historical data of construction and maintenance activities, and traffic volumes were collected from the Department of Highways. The analysis was done based on the standard price of the construction and maintenance in 2013. The results are presented in term of Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC), and the Number of Equivalent Single Axle (NESA).

The selected highways for this analysis consist of 61 asphalt pavements, covering all 5 standard classes, and 17 concrete pavements only in the special class. The result on asphalt pavement can be concluded that the special class pavements are more cost-effective than the class 1. Even though the EUAC is similar, the special class routes are able to support more traffic considering from NESA. While the EUAC of the lower standard classes are widely scattered; so it cannot make any solid conclusion.

The comparison analysis shows that the EUAC of asphalt and concrete pavements in the special class are quite similar. This result may be caused by the increasing trend of asphalt price in the past decade, which is the major cost component of asphalt pavement. However, the Portland cement price, which is the major cost component of concrete pavement, has been unchanged. So, the life cycle costs that were applied by the 2013 standard price are not significantly different. However, the average life cycle cost per supported traffic (EUAC/NESA) of concrete pavements is much lower than asphalt pavements. In addition, since the analysis periods covered only 15 to 17 years, the remaining service life of concrete pavement which is usually longer than asphalt pavement is still unaccounted advantage.

Department: Civil Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อรองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านกรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยมาด้วยดีตลอด พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีต่อผู้วิจัยทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อเจ้าหน้าที่กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

อนึ่งผู้วิจัยมีความสำนึก ในพระคุณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่เคยสั่งสอนวิทยาการต่างๆ ให้กับผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวปัญจธนศักดิ์ ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมาตลอดการทำวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 ภาพรวมของวัฏจักรผิวทางตลอดอายุการใช้งาน 8

2.2 การให้บริการของสายทาง 22

2.3 หลักการเลือกประเภทผิวทาง 25

2.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 25

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง 28

2.6 สรุป 31

บทที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 32

3.1 ประวัติการก่อสร้างทาง 32

3.2 ประวัติการบำรุงรักษาทาง 33

3.3 ข้อมูลค่าใช้จ่าย 34

3.4 ปริมาณการจราจร 37

3.5 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บรวบรวม 39

3.6 การคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล 40

3.7 สรุป 40

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และการอภิปราย 42
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ 42
4.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผล 44
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์ 46
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนคอนกรีต 51
4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต 53
4.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) 62
4.7 สรุป 66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 68
5.1 สรุปผลการวิจัย 69
5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 72
รายการอ้างอิง 73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 จำนวนรถทุกประเภทที่จดทะเบียนตามพ.ร.บ.รถยนต์และพ.ร.บ.การขนส่งทางบก 1
ตารางที่ 1.2 สถิติเปรียบเทียบงบประมาณรายจ่ายของกรมทางหลวง 2
ตารางที่ 1.3 งบประมาณรายจ่ายของกรมทางหลวงชนทบประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 2
ตารางที่ 2.1 ประเภทของผิวทางคอนกรีต 10
ตารางที่ 2.2 ช่วงอายุการออกแบบสายทางที่แนะนำ (AASHTO, 1993) 14
ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การตัดสินใจการซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางในระบบบริหารบำรุงทางของ
กรมทางหลวง 19
ตารางที่ 2.4 ผลการศึกษาถนนในเมือง Olmsted County และ Waseca County 30
ตารางที่ 3.1 ความหนาของโครงสร้างทางลาดยางคาดการณ์จากมาตรฐานชั้นทาง 33
ตารางที่ 3.2 กิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางแอสฟัลต์ที่เก็บรวบรวม 34
ตารางที่ 3.3 กิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางคอนกรีตที่เก็บรวบรวม 34
ตารางที่ 3.4 ราคาก่อสร้างผิวทางจำแนกตามมาตรฐานชั้นทาง 35
ตารางที่ 3.5 ราคากิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางแอสฟัลต์ 36
ตารางที่ 3.6 ราคากิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางคอนกรีต 36
ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บรวบของสายทาง ทางหลวงหมายเลข 4038 ตอนควบคุม 100 39
ตารางที่ 3.8 สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล 41
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทาง
ทางหลวงหมายเลข 4038 ตอนควบคุม 100 45
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ถนนแอสฟัลต์ 46
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ถนนคอนกรีต 51
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ถนนแอสฟัลต์มาตรฐานชั้นทางพิเศษ 54
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ถนนคอนกรีตมาตรฐานชั้นทางพิเศษ 55
ตารางที่ 4.6 ค่า IRI ณ ปีสุดท้ายที่วิเคราะห์ของผิวทางแอสฟัลต์ 57
ตารางที่ 4.7 ค่า IRI ณ ปีสุดท้ายที่วิเคราะห์ของผิวทางคอนกรีต 58
ตารางที่ 4.8 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 7
ภาพที่ 2.1 สภาพผิวทางและภาพตัดถนนของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต 9
ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของหลักการออกแบบผิวทางด้วยวิธี Empirical Method 13
ภาพที่ 2.3 หลักการออกแบบผิวทางด้วยวิธี Mechanistic - Empirical Method 13
ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการก่อสร้างทาง 16
ภาพที่ 2.5 กิจกรรมบำรุงรักษาและซ่อมแซมผิวทาง 19
ภาพที่ 2.6 แผนภูมิการตัดสินใจการซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางในระบบบริหารบำรุงทางของ
กรมทางหลวงชนบท (คุณามาศ พันธุเตชะ และคณะ, 2554)..... 20
ภาพที่ 2.7 แผนภูมิการตัดสินใจการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตในระบบบริหารบำรุงทางของ
กรมทางหลวง 21
ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI และความเร็วในการเดินทาง (Sayers, 1986) 24
ภาพที่ 2.9 แนวทางการเลือกประเภทผิวทาง..... 26
ภาพที่ 2.10 ปัจจัยนำเข้าในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (NCHRP, 2011) 27
ภาพที่ 2.11 ค่าใช้จ่ายสะสมที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับค่าใช้จ่ายจากการประมาณการ (Chan, 2008) ... 29
ภาพที่ 2.12 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางลาดยาง
และผิวทางคอนกรีต (Scheving, 2011) 30
ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์..... 50
ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนคอนกรีต 50
ภาพที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานระหว่างถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต 56
ภาพที่ 4.4 ราคายางแอสฟัลต์ เกรด AC - 60/70 ย้อนหลัง 10 ปี
(สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2557) 59
ภาพที่ 4.5 ราคาปูนซีเมนต์พอร์ทแลนด์ ประเภท 1 ย้อนหลัง 10 ปี
(สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2557) 60
ภาพที่ 4.6 ราคาเหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย SD-30 ย้อนหลัง 10 ปี
(สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2557) 60
ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว เมื่อราคาถนนแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น 10%..... 64
ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว เมื่อราคาถนนแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น 20%..... 65

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ถนนนับว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของประเทศเพราะว่าเป็นสิ่งที่สนับสนุนการเดินทางของประชาชน รวมถึงการขนส่งสินค้าจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งและยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคมและความมั่นคงของประเทศ ด้วยเหตุนี้ยุทธศาสตร์ของการก่อสร้างถนนจึงเป็นไปเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น การยกระดับมาตรฐานทาง การแก้ไขปัญหาจราจร การพัฒนาผังเมือง สนับสนุนการขนส่งสินค้า การท่องเที่ยวและความมั่นคงตามแนวชายแดน เป็นต้น อีกทั้งการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน ต้องใช้งบประมาณจากภาครัฐเป็นจำนวนมาก ตลอดเวลาที่ผ่านมา รัฐบาลได้ใช้การลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานเป็นวิธีหนึ่งในการกระตุ้นเศรษฐกิจ ทำให้เกิดการจ้างงานและพัฒนาความเจริญสู่ชุมชน

ถนนสามารถแบ่งได้เป็นหลายระดับ ตั้งแต่ระดับทางหลวงซึ่งเป็นโครงข่ายเชื่อมโยงภูมิภาคหรือจังหวัดต่างๆเข้าด้วยกันโดยอยู่ในความดูแลรับผิดชอบของกรมทางหลวง ระดับทางหลวงชนบทซึ่งเป็นโครงข่ายเชื่อมโยงพื้นที่ภายในจังหวัดโดยอยู่ในความดูแลรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท และทางหลวงท้องถิ่นที่อยู่ในความดูแลรับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยการเพิ่มของจำนวนประชากรนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปริมาณยานพาหนะบนท้องถนนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมของประเทศที่เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย เกิดการเดินทาง ขนส่งไปมาระหว่างกันอย่างเสรี ประชาชนโดยเฉพาะในชุมชนเมืองย่อมไม่อาจหลีกเลี่ยงการพึ่งพายานพาหนะในการดำเนินชีวิตแต่ละวัน ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนรถทุกประเภทที่จดทะเบียนกับกรมการขนส่งทางบกยกเว้นรถจักรยานยนต์ พบว่าจำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้นทุกๆปี จำนวนตัวเลขนี้ย่อมส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการจราจรบนท้องถนนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่ความจำเป็นในการสร้างถนนสายทางใหม่หรือปรับปรุงสภาพถนนที่มีอยู่เดิม

ตารางที่ 1.1 จำนวนรถทุกประเภทที่จดทะเบียนตามพ.ร.บ.รถยนต์และพ.ร.บ.การขนส่งทางบก

พ.ศ.	2551	2552	2553	2554	2555
จำนวน	9,992,091	10,478,126	11,185,015	12,042,468	13,202,415
เพิ่มขึ้น	491,611	486,035	706,889	857,453	1,159,947

ที่มา: กรมการขนส่งทางบก (หมายเหตุ: ไม่นับรวมรถจักรยานยนต์)

ทั้งนี้การก่อสร้างถนนเป็นความรับผิดชอบของภาครัฐที่ต้องจัดทำขึ้นเพื่อให้บริการแก่ประชาชนโดยส่วนรวมตามวัตถุประสงค์ของสายทางนั้นๆ นอกเหนือไปจากการก่อสร้างทางแล้ว หน่วยงานที่รับผิดชอบมีภาระหน้าที่ในการบำรุงรักษาสภาพทางให้สามารถรองรับการใช้บริการได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย ซึ่งต้องใช้งบประมาณในแต่ละปีเป็นเงินจำนวนมาก งบประมาณโดยส่วนใหญ่ของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทจึงเป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษาทาง แสดงดังตารางที่ 1.2 และตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.2 สถิติเปรียบเทียบงบประมาณรายจ่ายของกรมทางหลวง

ปีงบประมาณ	งบประมาณรายจ่ายของกรมทางหลวง	งบประมาณรายจ่ายของงานก่อสร้าง		งบประมาณรายจ่ายของงานบำรุงรักษา		งบประมาณรายจ่ายของงานก่อสร้างและบำรุงรักษา	
พ.ศ.	ล้านบาท	ล้านบาท	% งปม. กรม	ล้านบาท	% งปม. กรม	ล้านบาท	% งปม. กรม
2548	42,788	24,549	57.4	11,461	26.8	36,010	84.2
2549	37,562	20,398	54.3	10,113	26.9	30,511	81.2
2550	45,052	25,877	57.4	11,980	26.6	37,857	84.0
2551	40,583	24,181	59.6	11,394	28.1	35,575	87.7
2552	40,512	21,597	53.3	12,486	30.8	34,084	84.1

ที่มา : รายงานผลการดำเนินงาน โครงการก่อสร้าง บูรณะและปรับปรุงทางประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552, กรมทางหลวง

ตารางที่ 1.3 งบประมาณรายจ่ายของกรมทางหลวงชนทบประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

รายละเอียดงบประมาณจำแนกตามงบรายจ่าย	งบบุคลากร (ล้านบาท)	งบดำเนินการ (ล้านบาท)	งบลงทุน (ล้านบาท)	รวม (ล้านบาท)
การพัฒนาระบบโครงข่ายทางหลวงชนบท	521	101	11,743	12,377
การบำรุงรักษาระบบโครงข่ายทางหลวงชนบท	371	56	10,555	10,982
การพัฒนาบุคลากรด้านช่างให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น(อปท.)	116	34	17	168
โครงข่ายทางหลวงชนบทเพื่อการท่องเที่ยว	-	2	726	729
โครงข่ายทางหลวงชนบทเพื่อการเชื่อมต่อระบบขนส่ง	26	6	791	823
รวมทั้งสิ้น	**1,035**	**199**	**23,833**	**25,078**

ที่มา : รายละเอียดประกอบพระราชบัญญัติงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554

โดยทั่วไปแล้วผิวทางสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ผิวทางยืดหยุ่น (Flexible Pavement) เช่น ผิวลาดยางแอสฟัลต์ (Asphalt Concrete Pavement, AC) และผิวทางแข็ง (Rigid Pavement) เช่น ผิวทางคอนกรีต (Portland Cement Concrete Pavement, PCC) ทางหลวงของประเทศไทยในปัจจุบันที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทมีความยาวกว่า 100,000 กิโลเมตร โดยแบ่งออกเป็นทางหลวงในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง 65,630 กิโลเมตร แบ่งเป็นผิวทางลาดยาง 59,631 กิโลเมตร ผิวทางคอนกรีต 5,735 กิโลเมตร และผิวทางลูกรัง 264 กิโลเมตร (กรมทางหลวง, 2552) และทางหลวงในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท 47,916 กิโลเมตร แบ่งเป็นผิวทางลาดยาง 40,746 กิโลเมตร ผิวทางคอนกรีต 1,484 กิโลเมตร และผิวทางลูกรัง 5,278 กิโลเมตร (กรมทางหลวงชนบท, 2554ก) นอกจากนี้แล้วยังมีถนนที่อยู่ในความรับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เช่น องค์การบริหารส่วนจังหวัด เทศบาล องค์การบริหารส่วนตำบล อีกกว่า 352,000 กิโลเมตร (กรมทางหลวงชนบท, 2554ข)

ถนนที่ทำด้วยผิวทางลูกรังจะมีความแข็งแรงไม่มากนัก เนื่องจากถูกออกแบบสำหรับใช้สัญจรในชนบท ตามประกาศมาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ (กรมทางหลวง, 2542) ผิวทางลูกรังเป็นประเภทผิวทางจราจรที่เสนอแนะสำหรับทางที่มีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่า 300 คันต่อวันต่อปีเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงมีเพียงผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตที่สามารถรองรับปริมาณการจราจรระดับปานกลางถึงระดับสูงได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าทางหลวงส่วนใหญ่ของประเทศไทยเป็นผิวทางลาดยางกว่าร้อยละ 90 แต่ทั้งนี้ปรากฏว่าถนนในเขตเมืองที่มีปริมาณการจราจรสูงมักก่อสร้างด้วยผิวทางคอนกรีต หรือเป็นผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตสลับกันเป็นช่วงในบางสายทาง อีกข้อสังเกตที่ปรากฏโดยทั่วไปคือ ถนนที่ตัดเข้าสู่ชุมชนหรือถนนที่ใช้สัญจรภายในหมู่บ้านพบว่าทำด้วยผิวทางคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ และเป็นที่ทราบกันดีถึงคุณสมบัติของผิวทางทั้งสองประเภทว่าผิวทางคอนกรีตมีความคงทน แข็งแรงและสามารถรับปริมาณการจราจรที่สูงได้ดีกว่าผิวทางลาดยาง แต่ทั้งนี้ก็มีค่าก่อสร้างต่อหน่วยและค่าบูรณะที่สูงกว่าผิวทางลาดยาง

จากการศึกษาและสัมภาษณ์ในเบื้องต้นพบว่า ในปัจจุบันยังไม่ปรากฏหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการคัดเลือกประเภทผิวทางของหน่วยงานต่างๆ ที่รับผิดชอบการก่อสร้างทาง ว่าผิวทางลาดยางหรือผิวทางคอนกรีตมีความคุ้มค่ามากกว่าในบริบทต่างๆกัน การก่อสร้างทางจึงอาจเลือกประเภทผิวทางก่อสร้างตามความเห็นและประสบการณ์ของผู้ออกแบบทาง ซึ่งพิจารณาปัจจัยทางวิศวกรรมเบื้องต้น เช่น ผิวทางเดิมที่ต่อกัน ปริมาณรถบรรทุก สภาพดินเดิม หรือพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายเริ่มต้นคือ ค่าก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น หน่วยงานได้รับงบประมาณมาจำกัด ถ้าเลือกผิวทางลาดยางจะสามารถก่อสร้างได้จนสิ้นสุดสายทางหรือได้ระยะทางที่มากกว่า ซึ่งการพิจารณาเพียงแต่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโดยมิได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายอื่นๆที่จะตามมาภายหลัง เช่น ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา บูรณะ ก่อสร้างใหม่ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ซึ่งอาจไม่คุ้มค่ากับงบประมาณที่จะต้องถูกใช้ไปจำนวนมากอย่างไม่มี

ประสิทธิภาพ การเลือกก่อสร้างผิวทางประเภทใดนั้นจึงเป็นการตัดสินใจจากเจ้าหน้าที่ระดับนโยบายตามความรู้และประสบการณ์ของผู้มีอำนาจตัดสินใจหรืออ้างอิงจากแบบอย่างสายทางในอดีตของหน่วยงาน ซึ่งก็แปรเปลี่ยนไปตามแต่ละบุคคล

จากที่กล่าวมาข้างต้น การเลือกก่อสร้างประเภทผิวทางให้เกิดความคุ้มค่าโดยพิจารณาในบริบทที่ครอบคลุม จึงมีความจำเป็นในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost Analysis, LCCA) ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา บูรณะ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ รวมถึงปัจจัยแวดล้อมอื่นๆที่มีผลต่อการเลือกชนิดผิวทาง เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกประเภทผิวทางที่จะก่อสร้างได้อย่างเหมาะสมอันจะทำให้งบประมาณของประเทศถูกใช้จ่ายไปอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด และการให้บริการของถนนเป็นไปอย่างมีคุณภาพ รายละเอียดของหลักการวิเคราะห์นี้จะกล่าวถึงในบทต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานระหว่างถนนแอสฟัลต์กับถนนคอนกรีตในการตัดสินใจเลือกชนิดผิวทาง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะผิวทางลาดยางประเภทผิวทางแอสฟัลต์ และผิวทางคอนกรีตประเภท Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP) ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานที่กรมทางหลวงใช้ในการก่อสร้าง
2. ใช้ข้อมูลประวัติการสร้างและการซ่อมบำรุงรักษาสายทางที่เกิดขึ้นในอดีตในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง
3. อ้างอิงวิธีการซ่อมและราคากลางค่าซ่อมบำรุงผิวทางจากข้อมูลของกรมทางหลวงและสำนักงบประมาณ
4. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจะพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายทางตรงคือ ค่าใช้จ่ายของหน่วยงาน (Agency Cost) เท่านั้น โดยไม่รวม ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทาง (Road User Cost) และค่าใช้จ่ายทางอ้อม เช่น ค่าใช้จ่ายทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถประยุกต์ใช้ผลการศึกษาในการคัดเลือกประเภทผิวทางที่คุ้มค่าและเหมาะสม เพื่อให้การวางแผนและจัดสรรงบประมาณเกิดประสิทธิผลสูงสุด

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาขั้นต้น
    1.1. สัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน ก่อสร้าง บำรุงรักษา และบริหารงบประมาณ เพื่อหาข้อมูลและแนวคิดประกอบการดำเนินการวิจัย
    1.2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเชิงเอกสารที่เกี่ยวข้องกับรายละเอียดตลอดอายุการใช้งานของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต หลักการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง และกรอบความคิดของหลักการเลือกประเภทผิวทางของหน่วยงานในต่างประเทศ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต
    1.3. สำรวจข้อมูลประวัติสายทางเบื้องต้น เพื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์และความเป็นไปได้ในการเข้าถึงแหล่งข้อมูลที่ต้องการรวบรวมทั้งหมด
2. การเก็บรวบรวมข้อมูล จำแนกออกเป็น 4 ส่วนคือ
    2.1. ประวัติการก่อสร้างทาง ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งต้นที่สำคัญของสายทางที่จะคัดเลือกเพื่อศึกษา แสดงถึงลักษณะทางกายภาพของสายทาง และปีที่เปิดใช้งาน
    2.2. ประวัติการบำรุงรักษาทาง เป็นข้อมูลกิจกรรมและปริมาณของงานบำรุงทางที่เกิดขึ้นบนสายทางที่ได้คัดเลือกไว้ในแต่ละปี
    2.3. ข้อมูลปริมาณการจราจร โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรในทุกปีหลังจากสายทางที่คัดเลือกเริ่มเปิดให้ใช้งาน
    2.4. ราคากลาง โดยอ้างอิงราคากลางในการก่อสร้างและบำรุงรักษาสายทางจากสำนักงบประมาณ และกรมทางหลวง เพื่อลดความแปรผันของราคาจริงที่เกิดขึ้น
3. การวิเคราะห์ข้อมูล
    3.1. ตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา

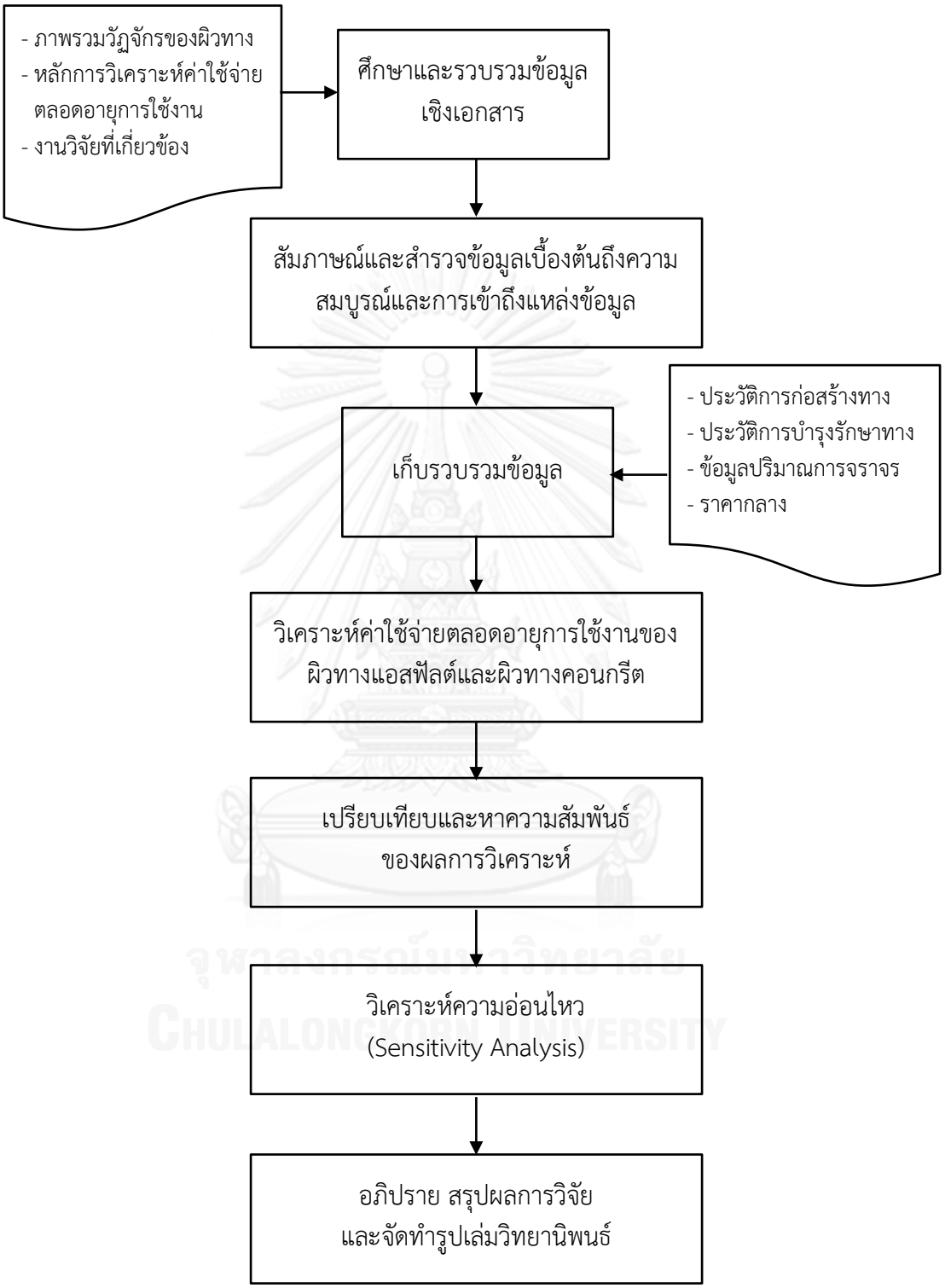
3.2. วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต โดยอาศัยข้อมูลในอดีตที่ได้มีการเก็บรวบรวมไว้

3.3. เปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์

3.4. วิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

4. สรุปผลการวิจัย และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 1.1 ภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้เป็นการนำเสนอรายละเอียดของเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับถนนตลอดอายุการใช้งานซึ่งเป็นส่วนเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ เป็นการรวบรวมองค์ความรู้พื้นฐานในการกำหนดแนวทางของการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัยต่อไป โดยได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นห้าองค์ประกอบ ได้แก่ ภาพรวมของวัฏจักรผิวทางตลอดอายุการใช้งาน การให้บริการของสายทาง หลักการเลือกประเภทผิวทาง การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง และบทสรุปการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดของประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ภาพรวมของวัฏจักรผิวทางตลอดอายุการใช้งาน

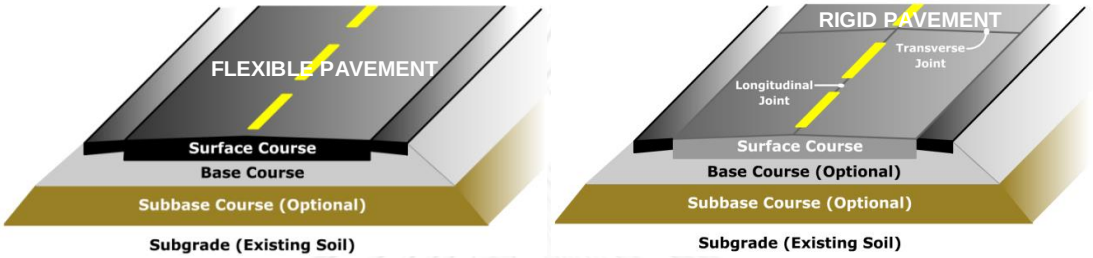
1. คุณลักษณะของผิวทาง

ผิวทางมีหน้าที่ในการรองรับการจราจร กล่าวคือรับน้ำหนักจากล้อของยานพาหนะแล้วถ่ายลงสู่พื้นทาง รองพื้นทางและดินคันทาง โดยต้องมีความราบเรียบกว่าสภาพดินเดิมเพื่อให้เกิดความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้ทาง อีกทั้งป้องกันการชำรุดเนื่องจากแรงเฉือนในชั้นใต้ผิวทางและป้องกันความชื้นหรือน้ำฝนซึมลงไปทำลายโครงสร้างของทาง โดยต้องมีความทนทาน ไม่สึกกร่อน ชนิดของผิวทางที่สามารถรองรับปริมาณการจราจรระดับปานกลางถึงระดับสูง โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท (จิรพัฒน์ โชติกไกร, 2553) ซึ่งพอจะกล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้

<u>ผิวทางยืดหยุ่น (Flexible Pavement)</u> คือผิวทางลาดยางแอสฟัลต์ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น ผิวทางเซอร์เฟซทรีทเมนต์ ผิวทางเพนนิเตรชันแมคคาดัม ผิวทางแอสฟัลต์ผิวทางสเลอรี่ซีล ผิวทางเคพซีล เป็นต้น ผิวทางประเภทนี้จะมีความยืดหยุ่น สามารถเกิดการแอ่นตัวไปตามน้ำหนักการจราจร การถ่ายน้ำหนักจากล้อรถภายใต้พื้นที่สัมผัสของล้อยานพาหนะลงสู่ดินคันทางมีเนื้อที่เล็ก และกระจายออกในลักษณะเป็นรูปกรวย ทำให้ความเข้มของหน่วยแรงในดินคันทางสูง

ในอดีตผิวทางแบบเพนนิเตรชันแมคคาดัมถือว่าเป็นผิวทางชั้นดีและมีการก่อสร้างกันมาอย่างยาวนาน แต่ผิวทางแบบเพนนิเตรชันแมคคาดัมเริ่มเสื่อมความนิยมลง นับแต่มีการปฏิรูปการออกแบบและก่อสร้างทางโดยใช้หลักวิชาการวิศวกรรมทางสมัยใหม่ตั้งแต่

พ.ศ.2498 ในโครงการก่อสร้างทางสายสระบุรี – นครราชสีมา โดยความช่วยเหลือของสหรัฐอเมริกา ผิวทางแบบเซอร์เฟซทรีทเมนต์และแบบแอสฟัลต์ ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย รวมทั้งมีการนำแบบอย่างอื่นๆของต่างประเทศมาใช้เป็นแบบก่อสร้าง เช่น พื้นทางเป็นวัสดุผสมปูนซีเมนต์ ผิวทางเคปซีล ผิวทางแอสฟัลต์ผสมเย็น เป็นต้น (มนัส คอวนิช, 2550)

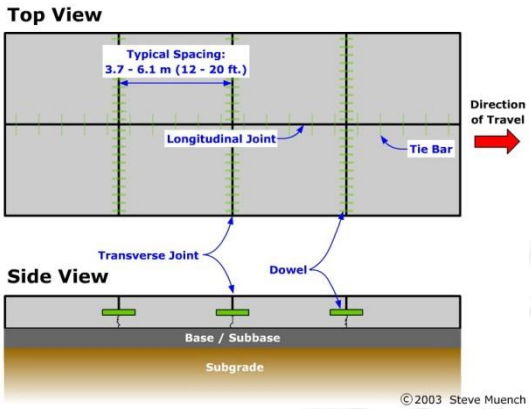
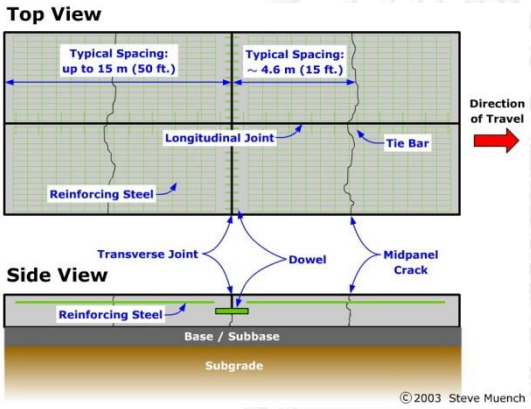
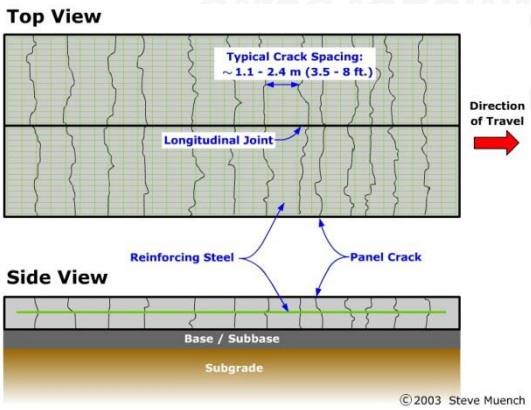


ภาพที่ 2.1 สภาพผิวทางและภาพตัดถนนของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต

ผิวทางแข็ง (Rigid Pavement) คือผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กหรือไม่เสริมเหล็กก็ได้ ความหนาของแผ่นคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักล้อของยานพาหนะเป็นส่วนใหญ่ ผิวทางประเภทนี้มีความแข็งแรง ไม่เกิดการแอ่นตัวไปตามน้ำหนักการจราจรเนื่องจากมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง มีความแข็งแกร่งในตัว การกระจายน้ำหนักจากล้อรถลงสู่ดินคันทางจึงเป็นพื้นที่กว้างมีผลให้หน่วยแรงในดินคันทางต่ำ

ประเภทของผิวทางคอนกรีตสามารถแบ่งตามรูปแบบการควบคุมรอยแตกออกเป็น 3 ประเภทหลัก ดังตารางที่ 2.1 ในประเทศสหรัฐอเมริกาผิวทางคอนกรีตส่วนใหญ่ก่อสร้างเป็นประเภท Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) เนื่องจากความง่ายในการก่อสร้างและมีประสิทธิภาพดีเมื่อเทียบกับ Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP) ซึ่งในปัจจุบันมีเพียงไม่กี่รัฐที่ยังคงใช้แบบผิวทาง JRCP ในการก่อสร้าง (Pavement Tools Consortium's [PTC], 2010) สำหรับในประเทศไทยตั้งแต่เริ่มมีการก่อสร้างถนนคอนกรีต กรมทางหลวงได้นำผิวทางคอนกรีตแบบ JRCP มาใช้เป็นมาตรฐานในการก่อสร้างทางคอนกรีตในประเทศไทย (ยงยุทธ แต้ศิริ และ ธนศักดิ์ วงศ์ธนากิจเจริญ, 2551) อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการก่อสร้างทางคอนกรีตชนิดนี้ยังคงพบข้อจำกัดอยู่หลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูแลรอยต่อ ซึ่งมักพบความเสียหายที่เกิดในบริเวณรอยต่อของถนนคอนกรีต อันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของยาแนวรอยต่อคอนกรีต ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านรอยต่อและส่งผลให้ถนนคอนกรีตเกิดความเสียหายในที่สุด

ตารางที่ 2.1 ประเภทของผิวทางคอนกรีต

<u>Jointed Plain concrete Pavement (JPCP)</u>  	**การควบคุมรอยแตก:** รอยต่อตามยาวและรอยต่อตามขวาง **ระยะห่างรอยต่อ:** 3.7 เมตร ถึง 6.1 เมตร **การเสริมเหล็ก:** ไม่มี **การถ่ายน้ำหนัก:** การยึดประสานด้วยวัสดุมวลรวมและเหล็กเดือย
<u>Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP)</u>  	**การควบคุมรอยแตก:** รอยต่อและเหล็กเสริม **ระยะห่างรอยต่อ:** ยาวกว่า JPCP ระยะห่างมากที่สุดถึงประมาณ 15 เมตร **การเสริมเหล็ก:** เหล็กเสริมข้ออ้อยหรือตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป **การถ่ายน้ำหนัก:** เหล็กเดือยช่วยถ่ายน้ำหนักระหว่างรอยต่อตามขวาง ขณะที่เหล็กเสริมช่วยถ่ายน้ำหนักระหว่างกลางแผ่นถนน
<u>Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)</u>  	**การควบคุมรอยแตก:** เหล็กเสริม **ระยะห่างรอยต่อ:** ไม่มีรอยต่อ **การเสริมเหล็ก:** เหล็กเสริมข้ออ้อย ปริมาณเหล็กเสริมประมาณร้อยละ 0.6 ถึง 0.7 ของพื้นที่หน้าตัดคอนกรีต. **การถ่ายน้ำหนัก:** ใช้การเสริมเหล็ก

ที่มา: (Pavement Tools Consortium's [PTC], 2010)

ด้วยเหตุนี้ ยงยุทธ แต้ศิริ และ ธนศักดิ์ วงศ์ธนากิจเจริญ (2551) จึงเสนอแนะว่า Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) จะเป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจาก CRCP เป็นถนนคอนกรีตแบบไร้รอยต่อตามขวาง ใช้การเสริมเหล็กตลอดความยาวของถนน เพื่อช่วยในการถ่ายน้ำหนัก ซึ่งจะช่วยลดปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อ ลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งาน พร้อมทั้งเพิ่มความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรให้สูงขึ้น แต่ข้อจำกัดที่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเริ่มต้นของ CRCP จะสูงกว่า JRCP เนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการใน JRCP นั้นจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 0.25 ของพื้นที่หน้าตัดคอนกรีต แต่ CRCP นั้นต้องการปริมาณเหล็กเสริมประมาณร้อยละ 0.7 ของพื้นที่หน้าตัดคอนกรีต อย่างไรก็ตาม CRCP ต้องการการบำรุงดูแลรักษาที่น้อยมาก ซึ่งนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงดูแลรักษารวมถึงการลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง จากรายงานของ World Road Association พบว่าราคา CRCP จะมีราคาเท่ากับ JRCP เมื่อใช้งานได้ไปประมาณ 15 ปี (Denis Thébeau, 2004 อ้างถึงใน ยงยุทธ แต้ศิริ และ ธนศักดิ์ วงศ์ธนากิจเจริญ)

จิรพัฒน์ โชติกไกร (2553) ได้อธิบายถึงชั้นโครงสร้างอื่นๆ ที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักจราจร นอกเหนือจากผิวทางซึ่งเป็นส่วนของโครงสร้างถนนที่ต้องสัมผัสกับล้อรถโดยตรงซึ่งประกอบไปด้วย

- ชั้นพื้นทาง (Base Course) เป็นชั้นโครงสร้างที่ติดอยู่กับผิวทางทำหน้าที่รับน้ำหนักจากผิวทางแล้วกระจายสู่รองพื้นทางและดินคันทาง เพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางและช่วยในการระบายน้ำใต้ดิน วัสดุที่ใช้ในชั้นนี้ต้องมีความแข็งแกร่งทนทานรับน้ำหนักสูงๆได้ดี เช่น หิน กรวด หรือดินปรับปรุงคุณภาพ ที่มีค่า CBR > 80% การก่อสร้างต้อบดอัดเป็นชั้นๆให้แน่น ตามที่กำหนดไว้
- ชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) ใช้ในบริเวณก่อสร้างที่ดินคันทางมีคุณภาพไม่ดี เช่น ดินเหนียว หรือในบริเวณที่มีแหล่งวัสดุสำหรับทำรองพื้นทางหาได้ง่ายและมีราคาถูก การออกแบบจึงลดความหนาของชั้นพื้นทางและใช้วัสดุทดแทนที่มีคุณภาพด้อยกว่าแต่ราคาถูก วัสดุที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างทางชั้นนี้ เช่น ดินลูกรัง ทราย ซึ่งสามารถช่วยป้องกันความชื้นภายใต้ผิวทาง และขณะเดียวกันก็สามารถจะระบายน้ำที่ซึมผ่านผิวทางออกไปโดยมิให้ไปทำลายความแข็งแรงของโครงสร้างถนนชั้นอื่นๆด้วย

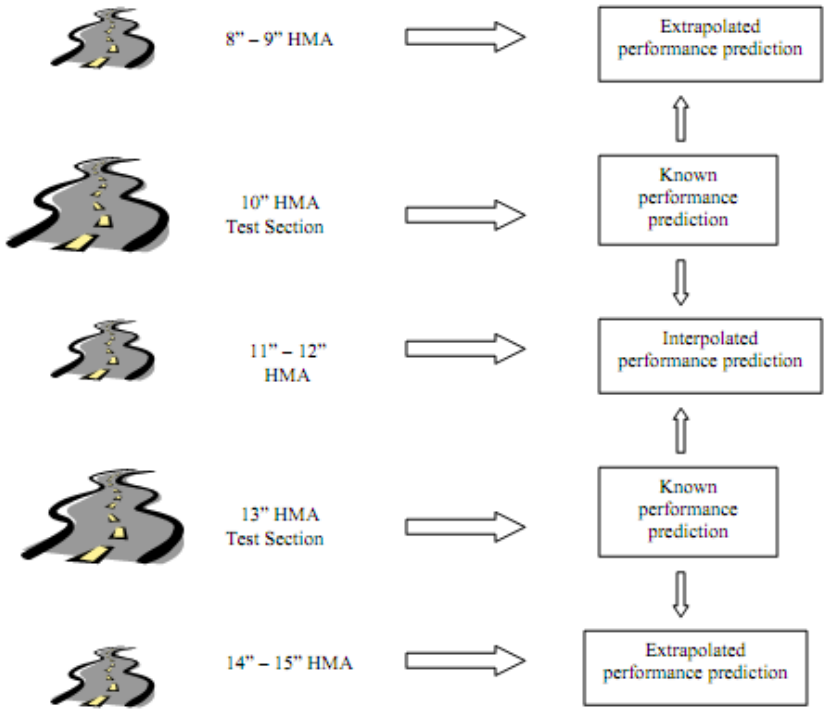
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ชั้นดินคันทาง (Subgrade) คือชั้นดินเดิมที่ถนนพาดผ่านไป วัสดุของชั้นนี้เป็นได้ทั้งแบบที่มีอยู่แล้วในพื้นที่หรือถมใหม่ โดยทั่วไปคุณสมบัติของดินคันทางจะมีอิทธิพลสะท้อนถึงโครงสร้างทาง เพราะดินคันทางมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิประเทศ บางพื้นที่ดินคันทางมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมสูง ส่งผลให้ผิวทางแข็งแรงทนทาน ใช้งานได้นานปี มีค่าบำรุงรักษาต่ำ ในทางตรงกันข้าม ถ้าดินคันทางอ่อน มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่ำ ผิวทางและโครงสร้างของทางจะต้องหนาสิ้นเปลืองค่าก่อสร้างราคาแพง ขณะเดียวกันอายุการใช้งานก็สั้นและใช้งบประมาณค่าบำรุงรักษาสูงมาก ดินคันทางที่มีคุณภาพดีจะต้องสามารถรับน้ำหนักหรือแรงได้ดี ระบายน้ำได้ดี บดอัดให้แน่นได้ง่ายและมีความแข็งแรงทนทาน แต่ดินคันทางทั่วไปมีคุณสมบัติแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นคุณสมบัติของดินคันทางจึงแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และต้องมีการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดินคันทางลึก 1-3 เมตรทุกระยะ 100 เมตร ดินคันทางทำหน้าที่รับน้ำหนักที่ถ่ายจากรองพื้นทาง ความหนาของโครงสร้างถนนทั้งหมดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินคันทางนี้ ซึ่งต้องได้รับการบดอัดให้ได้ความหนาแน่นตามที่ได้ออกแบบไว้

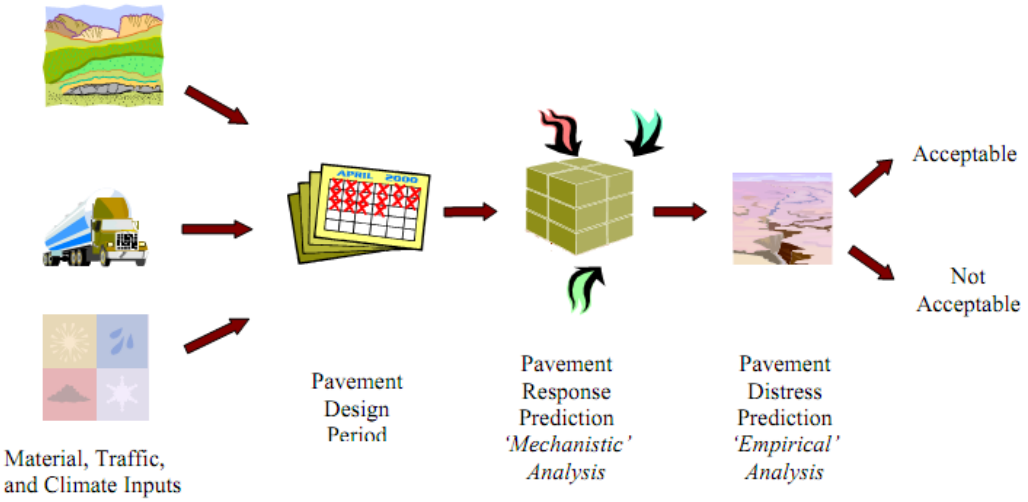
2. การออกแบบผิวทาง

ในอดีตที่ผ่านมาหลักการออกแบบทางได้ใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trials and Errors) มาอย่างยาวนานและเริ่มมีการพัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่เรียกกันว่า Empirical Method โดยใช้การศึกษาวิเคราะห์ทางวิศวกรรมโดยอาศัยผลการทดลองและการสังเกตการณ์ จากการสร้างผิวทางด้วยส่วนผสม และความหนาขนาดต่างๆกัน ภายใต้สภาพแวดล้อมและการรองรับปริมาณจราจร แล้วนำเสนอในรูปแบบของกราฟ ตารางหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายๆ ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะหลักการออกแบบผิวทางด้วยวิธี Empirical Method แม้ว่าการออกแบบด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและไม่สลับซับซ้อนในทางปฏิบัติ แต่อย่าไรก็ดีการออกแบบด้วยวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่มากเพราะวิธีการนี้เหมาะสมสำหรับการออกแบบผิวทางที่มีเงื่อนไขอยู่ภายใต้สมมติฐานคล้ายคลึงกับผิวทางตัวแบบ ต่อมาการออกแบบผิวทางได้รับการพัฒนามากขึ้นเป็นลำดับโดยการนำทฤษฎีวิศวกรรมกลศาสตร์ (Engineering Mechanics) เช่น ค่าคุณสมบัติของวัสดุ ความเค้น ความเครียด โมดูลัสยืดหยุ่น โมดูลัสคืนตัว มาผสมผสานกับผลการทดลองที่ได้ทำขึ้นเพิ่มเติมจนกลายเป็นการออกแบบชนิดที่เรียกว่า Semi-Empirical Method กล่าวคือ มีการใช้หลักวิชาการมากขึ้นแต่ก็ยังคงใช้ผลของการทดลองและการสังเกตการณ์มาประกอบเหมือนเดิม ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะ

หลักการออกแบบผิวทางด้วยวิธี Mechanistic – Empirical Method โดยมีตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบผิวทางของสถาบันต่างๆ เช่น The Asphalt Institute (AI), AASHTO, Portland Cement Association (PCA) เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของหลักการออกแบบผิวทางด้วยวิธี Empirical Method
ที่มา: (Missouri Department of Transportation, 2004)



ภาพที่ 2.3 หลักการออกแบบผิวทางด้วยวิธี Mechanistic - Empirical Method
ที่มา: (Missouri Department of Transportation, 2004)

ข้อพิจารณาในการออกแบบ (Design Condition) ของผิวทาง ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาตัวแปรหลักที่จำเป็นสำหรับการออกแบบหลายประการซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

- อายุการออกแบบ (Design Life) ช่วงอายุในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปัจจัยด้านปริมาณจราจรที่ใช้งานสายทางตลอดช่วงอายุการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบจะกำหนดช่วงอายุไว้เท่าใด อย่างไรก็ตาม AASHTO (1993) แนะนำช่วงอายุการออกแบบสายทาง สำหรับสายทางรูปแบบต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 ขณะที่คู่มือของ AI (1970) ระบุอายุของสายทางอยู่ที่ 20 ปี แต่อย่างไรก็ตาม อายุการออกแบบไม่ได้หมายถึงระยะสุดท้ายของช่วงเวลาที่ถนนถูกใช้งานจนเสื่อมสภาพจนไม่สามารถให้บริการได้และต้องการการก่อสร้างใหม่ แต่หมายถึงช่วงเวลาใกล้จะถึงระยะสุดท้ายถนนจะต้องการการเสริมกำลัง อายุที่ใช้ในการออกแบบที่กรมทางหลวงใช้จะอยู่ที่ประมาณ 15 ปี โดยตัวแปรด้านอายุการออกแบบของสายทาง จะนำไปใช้ในการคาดการณ์ปริมาณจราจร

ตารางที่ 2.2 ช่วงอายุการออกแบบสายทางที่แนะนำ (AASHTO, 1993)

ประเภทสายทาง	ช่วงอายุออกแบบ (ปี)
สายทางในเขตเมือง ปริมาณจราจรสูง	30 - 50
สายทางระหว่างเมือง ปริมาณจราจรสูง	20 - 50
สายทางปริมาณจราจรต่ำ	15 - 25

- ปริมาณจราจร (Traffic Volume) ปริมาณจราจรบ่งบอกประเภทของถนน รวมทั้ง บอกขนาดและจำนวนช่องจราจรในระยะเริ่มแรกและในปีที่พยากรณ์ในอนาคต ส่วนปริมาณของรถที่ใช้ออกแบบความหนาของผิวทางส่วนมากจะใช้รถ 3 ประเภท คือ รถบัสขนาดใหญ่ (Heavy Bus) รถบรรทุกขนาดกลาง (Medium Truck) และรถบรรทุกขนาดใหญ่ (Heavy Truck) โดยทั้งหมดจะต้องแปลงให้เป็นน้ำหนักเพลามาตรฐาน (ESAL หรือ Equivalent Standard Axle Load) แล้วนำไปใช้ออกแบบต่อไป
- สภาพของพื้นที่ตัดผ่าน (Terrain) โดยธรรมชาติของพื้นผิวโลกหรือผิวดินจะมีลักษณะแตกต่างกัน 3 ลักษณะ คือ พื้นที่ราบ พื้นที่เป็นลูกเนิน และพื้นที่เป็นภูเขา ถนนหากตัดผ่านพื้นที่ลักษณะใดๆ ดังกล่าวก็จะถูกกำหนดให้ใช้ค่าต่าง ๆ

ที่เกี่ยวข้องกับสภาพพื้นที่ เช่น ความเร็วออกแบบ (Design Speed) ความลาดชัน (Gradient) และเขตทาง (Right of Way) เป็นต้น ซึ่งตามมาตรฐานการออกแบบ รวมถึงมาตรฐานชั้นทางหลวงของไทยก็จะกำหนดค่าดังกล่าวไว้แต่ละชนิดของสภาพพื้นที่

- สภาพของดินเดิม (Natural Subgrade) สภาพดินเดิมเป็นตัวบ่งบอกความแข็งแรงในการรับน้ำหนัก โดยมากจะกำหนดโดยค่า CBR (California Bearing Ratio) หรือค่า K (Modulus of Subgrade Reaction) ซึ่งค่าทั้งสองจะเป็นค่า Parameter ที่ใช้ประกอบในการออกแบบผิวทางทั้งแบบยืดหยุ่นและแบบแข็ง
- สภาพแวดล้อม (Environment) เช่น ปริมาณน้ำฝน ระดับน้ำท่วมสูงสุดและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างวัน ซึ่งมีผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของทางและต้องนำมาใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำ

ซึ่งองค์ประกอบสำคัญที่จะต้องออกแบบผิวทางลาดยางมี 2 ส่วน คือ

1. การออกแบบส่วนผสม (Mix Design of Material)
2. การออกแบบความหนาชั้นโครงสร้างทาง (Thickness Design of Structural Layers)

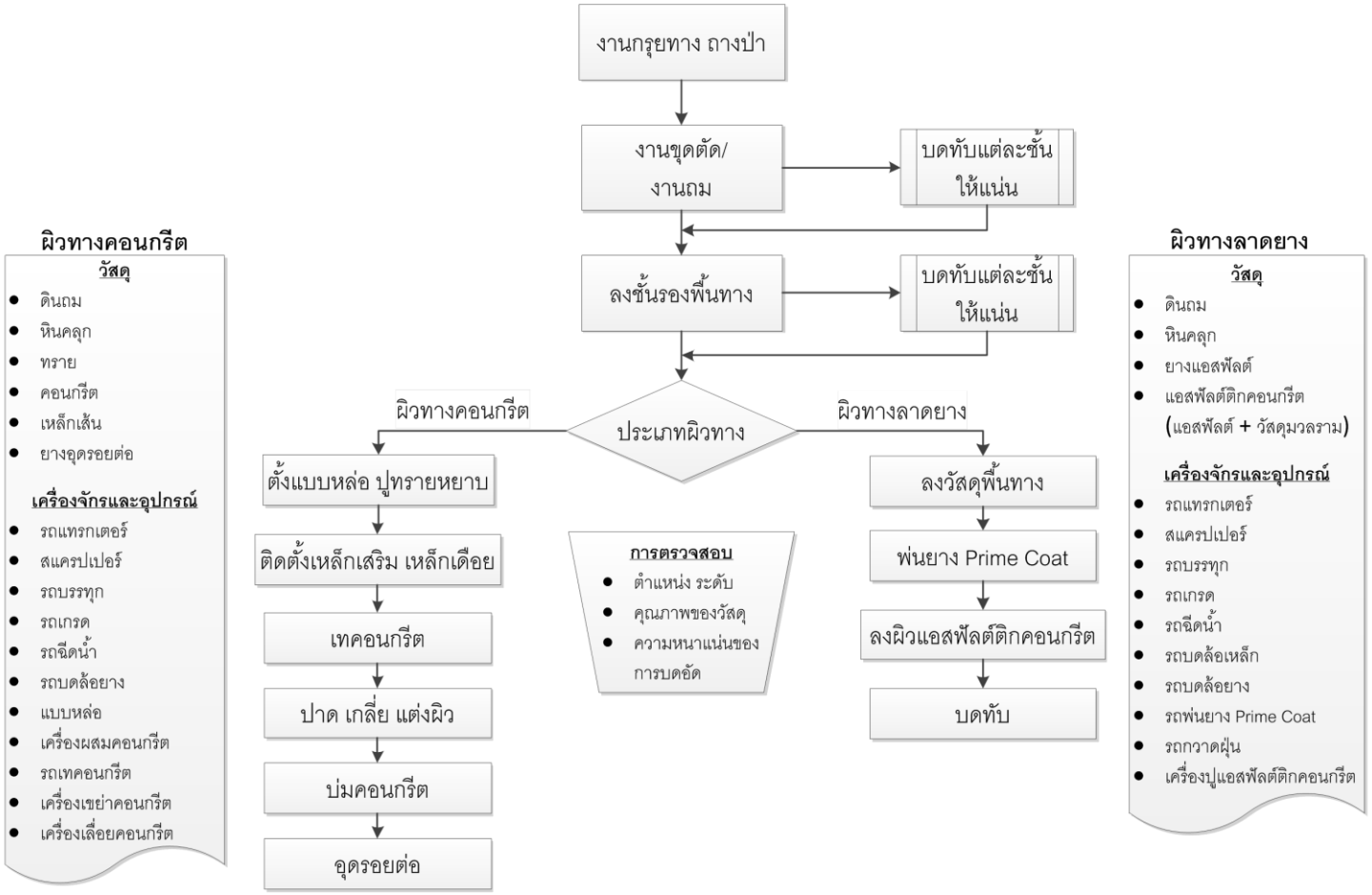
องค์ประกอบสำคัญที่จะต้องออกแบบผิวทางคอนกรีตมี 4 ส่วน คือ

1. การออกแบบส่วนผสม (Mix Design of Material)
2. การออกแบบความหนาชั้นโครงสร้างทาง (Thickness Design of Structural Layers)
3. การออกแบบเหล็กเสริม (Design of Reinforcement)
4. การออกแบบระยะห่างรอยต่อ (Design of Joint Spacing)

3. ขั้นตอนการก่อสร้างผิวทาง

การก่อสร้างผิวทางประกอบด้วยงานส่วนต่างๆ หลายส่วน นับตั้งแต่การเตรียมพื้นที่ก่อสร้างชั้นทางต่างๆ จากด้านล่างตามลำดับสู่ชั้นบนจนถึงการทำผิวจราจร จากคู่มือปฏิบัติงาน การก่อสร้างและบำรุงรักษาทาง (กรมทางหลวงชนบท, 2547) สามารถแสดงภาพรวมของลำดับการก่อสร้างทางพอสังเขปได้ดังภาพที่ 2.4 รวมถึงแสดงรายการวัสดุและเครื่องจักรต่างๆที่ต้องใช้ในการทำงานก่อสร้างทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการก่อสร้างทาง

รูปแบบโครงการก่อสร้างทางที่ปรากฏโดยทั่วไปมีอยู่ 4 รูปแบบ ประกอบด้วย

- การก่อสร้างสายทางใหม่
- การบูรณะและปรับปรุงทางเดิม
- การก่อสร้างเพิ่มช่องจราจร
- การก่อสร้างยกระดับจากทางลูกรัง

4. ความเสียหายของผิวทาง

กรมทางหลวงชนบทได้ศึกษาพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของทางขึ้นกับปัจจัยภายในและภายนอก โดยปัจจัยที่มีผลกระทบกับการเสื่อมสภาพของทาง ซึ่งสามารถแบ่งได้ 5 กลุ่ม ได้แก่

1. ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ
2. ด้านโครงสร้าง เช่น ความหนาของชั้นทาง คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้
3. ด้านการก่อสร้าง เช่น คุณภาพการก่อสร้าง
4. ด้านการจราจร เช่น ปริมาณการจราจร ปริมาณรถ และน้ำหนักรถบรรทุก
5. ด้านการบำรุงรักษา เช่น วิธีการบำรุงรักษา และคุณภาพการบำรุงรักษา

ด้วยปัจจัยด้านต่างๆเหล่านี้ทำให้ถนนหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดการจราจรไประยะหนึ่งจะเกิดความชำรุดเสียหายและสภาพเสื่อมลงเนื่องจากการใช้งานและอายุ ถ้ายังมีการบำรุงรักษาทางไม่เพียงพอ ความเสียหายจะลุกลามรุนแรง มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ความสามารถในการใช้งานลดลง สภาพทางจึงเป็นตัวบ่งบอกสถานะหรือคุณภาพของทาง รวมถึงปัจจัยหลายๆ ประการที่มีผลกระทบต่อสภาพทาง

แสงชัย เทพสิทธิทรากรณ์ (2550) แบ่งสภาพทางออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. สภาพความเสียหายของผิวทาง (Surface Condition)
2. สภาพความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง (Structural Condition)
3. สภาพความขรุขระของถนน หรือ ความเรียบของถนน หรือ สภาพบริการของถนน (Serviceability Condition or Roughness Condition)
4. สภาพความฝืดของผิวทาง หรือ สภาพความปลอดภัยของผิวทาง (Skid Condition or Safety Condition)

สภาพความเสียหายของผิวทางสามารถบ่งบอกถึงสาเหตุของความเสียหายนั้นว่ามีสาเหตุมาจากอะไรเนื่องจากสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยเมื่อทราบถึงสภาพความเสียหายและวัดระดับความรุนแรงหรือปริมาณของความเสียหายแล้วจึงสามารถวิเคราะห์หาทางเลือกในการบำรุงรักษาได้ต่อไป

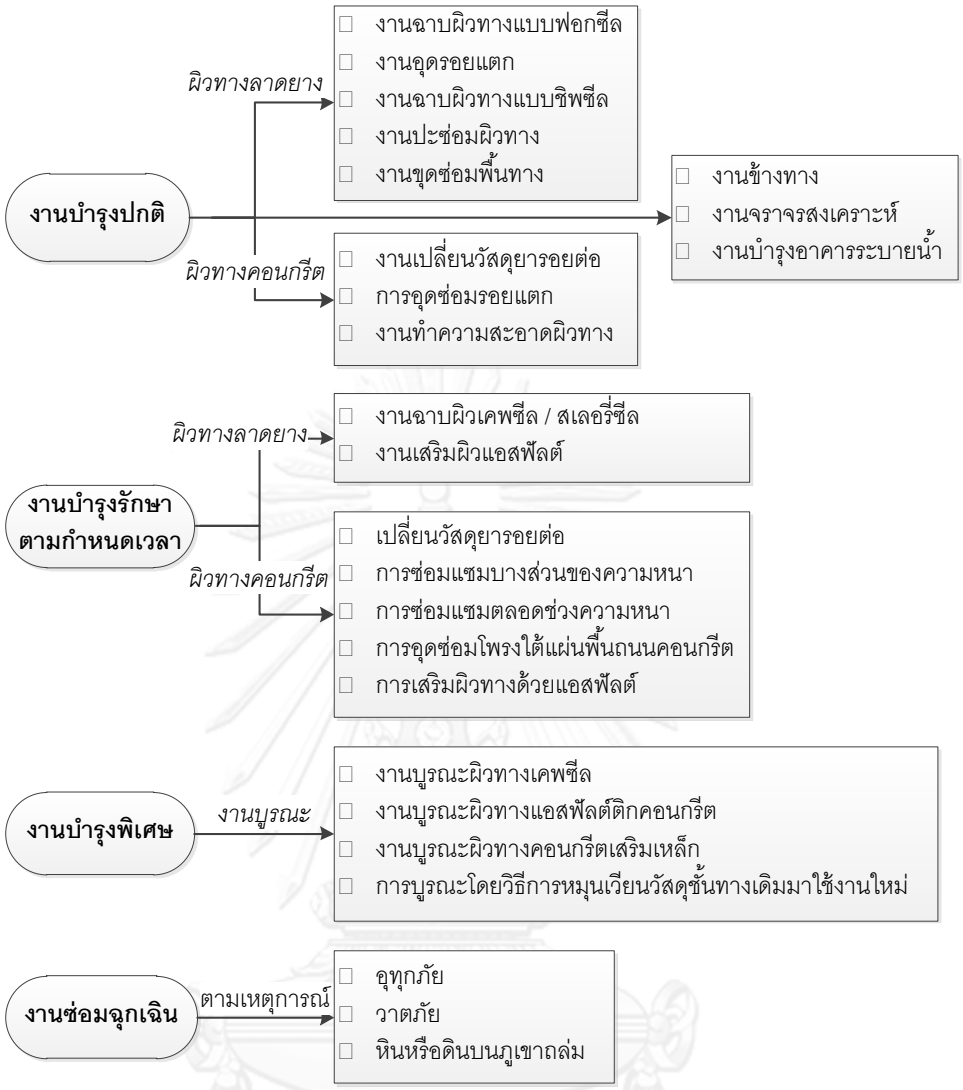
5. การบำรุงรักษาและบูรณะ

ถนนทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นถนนลูกรัง ลาดยาง หรือคอนกรีต เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดการจราจรไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง จะเกิดความชำรุดเสียหายตามมา ความชำรุดเสียหายเหล่านี้นอกจากจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติแล้ว ยังเกิดขึ้นเนื่องจากการบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัดของยานพาหนะและจากภัยธรรมชาติ ซึ่งจะต้องรีบดำเนินการซ่อมทันทีเมื่อตรวจพบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้ความเสียหายลุกลามแผ่วงกว้างออกไป หากไม่ได้รับการบำรุงรักษาตามระยะเวลาและวิธีการที่ถูกต้อง ถนนหนทางเหล่านี้ก็อาจจะชำรุดทรุดโทรมจนหมดสภาพและไม่สามารถรองรับการการจราจรได้อีกต่อไป

กิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งมีข้อแตกต่างอยู่ที่เกณฑ์การเลือกวิธีการซ่อมบำรุงบางส่วนเท่านั้น (กรมทางหลวง, 2549) และ (กรมทางหลวงชนบท, 2553) โดยสรุปกิจกรรมบำรุงรักษาทางแสดงดังภาพที่ 2.5 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

- งานบำรุงปกติ (Routine Maintenance)
- งานบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance)
- งานบำรุงพิเศษ (Special Maintenance)
- งานซ่อมฉุกเฉิน (Emergency Maintenance)

ปัจจุบันกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทได้พัฒนาระบบบริหารบำรุงทางเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยบริหารจัดการ กำหนดแผนการและนโยบายซ่อมบำรุงให้มีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดยเกณฑ์การตัดสินใจในการซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางในระบบบริหารบำรุงทาง TPMS ของกรมทางหลวง และ PMMS ของกรมทางหลวงชนบทมีเงื่อนไขและหลักการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่แตกต่างกันพอสมควร แสดงดังตารางที่ 2.3 และ ภาพที่ 2.6 โดยระบบบริหารบำรุงทาง TPMS ของกรมทางหลวง ถ้าสภาพผิวทางเข้าเงื่อนไขการซ่อมบำรุงได้หลายวิธี ระบบจะวิเคราะห์เปรียบเทียบและเลือกวิธีการซ่อมที่มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด

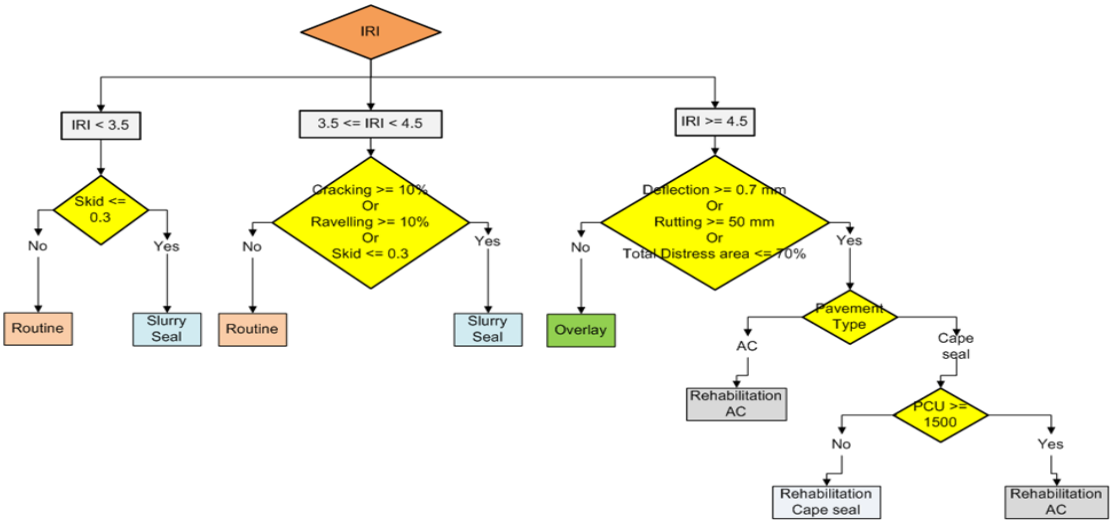


ภาพที่ 2.5 กิจกรรมบำรุงรักษาและซ่อมแซมผิวทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

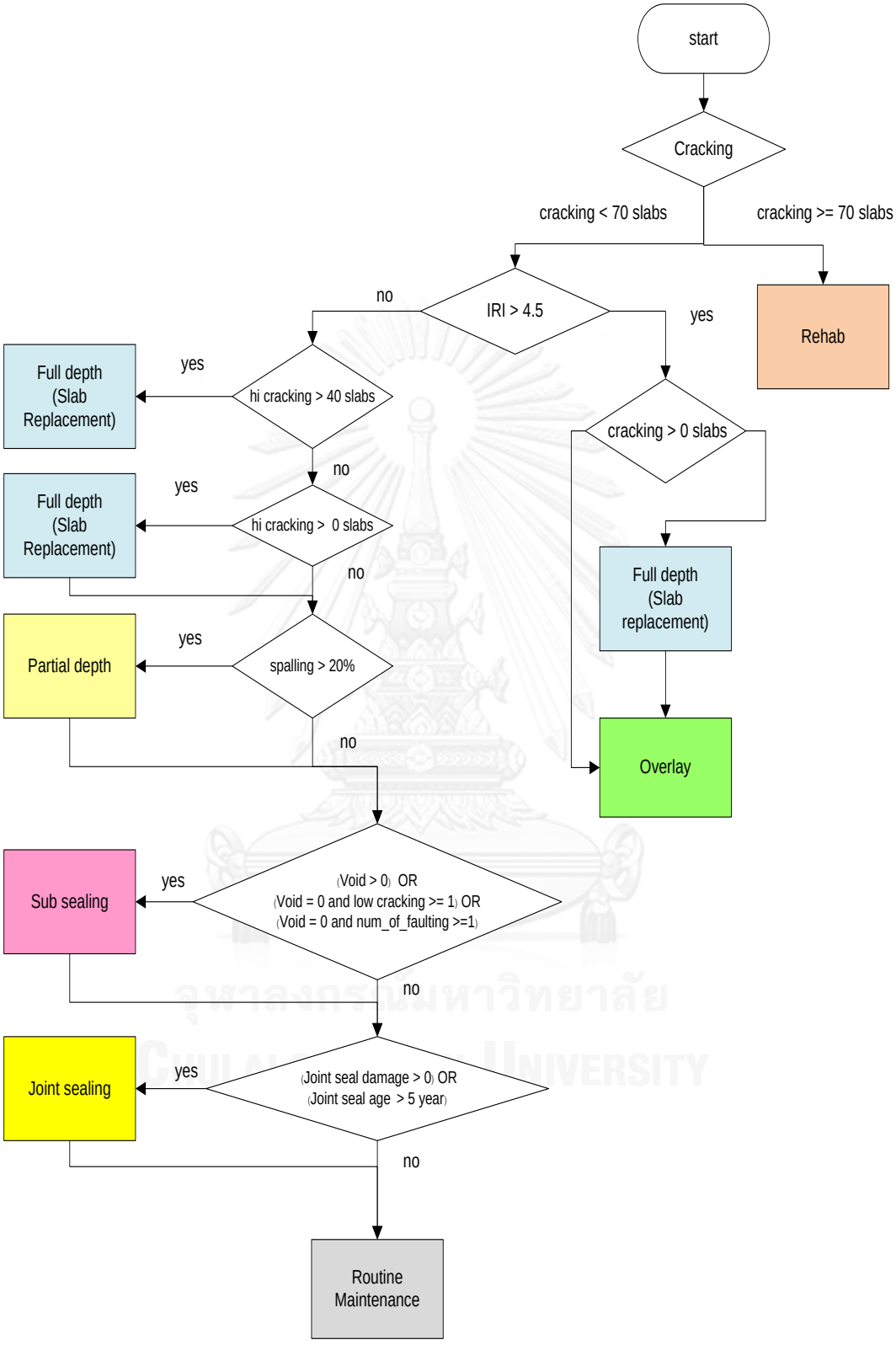
ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การตัดสินใจการซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางในระบบบริหารบำรุงทางของกรมทางหลวง

วิธีการซ่อมบำรุง	เงื่อนไขการซ่อมบำรุง
งานบำรุงปกติ	วิเคราะห์ทุกกรณี
งานฉาบผิวทางสเลอรี่ซีล	10% ≤ cracking area ≤ 30% หรือ 2.0 ≤ IRI ≤ 5.0
งานเสริมผิวทาง 4 ซม.	IRI ≥ 3.0 หรือ Rutting ≥ 25 มม. หรือ Cracking ≥ 30 %
งานเสริมผิวทาง 5 ซม.	IRI ≥ 3.0 หรือ Rutting ≥ 25 มม. หรือ Cracking ≥ 30 %
งานเสริมผิวทาง 8 ซม.	IRI ≥ 3.0 หรือ Rutting ≥ 25 มม. หรือ Cracking ≥ 30 %
งานเสริมผิวทาง 10 ซม.	IRI ≥ 3.0 หรือ Rutting ≥ 25 มม. หรือ Cracking ≥ 30 %
งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์	IRI ≥ 4.0 หรือ Rutting ≥ 50 มม. หรือ Cracking ≥ 50 %



ภาพที่ 2.6 แผนภูมิการตัดสินใจการซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางในระบบบริหารบำรุงทางของกรมทางหลวงชนบท (คุณามาศ พันธุเตชะ และคณะ, 2554)

พฤติกรรมการรับน้ำหนักและสาเหตุของการชำรุดของผิวทางคอนกรีตนั้นมีความแตกต่างกับผิวทางลาดยาง ที่ผ่านมาในอดีตองค์ความรู้ เทคโนโลยีและข้อมูลเกี่ยวกับการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตในประเทศไทย รวมถึงการเผยแพร่ความรู้ในด้านนี้จากต่างประเทศนับว่ามีน้อยมากเมื่อเทียบกับผิวทางลาดยาง หลักเกณฑ์หรือข้อแนะนำในการซ่อมผิวทางคอนกรีตแทบไม่ปรากฏ (มนัส คอวนิช, 2550) จนกระทั่งปีพ.ศ.2554 กรมทางหลวงร่วมกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ร่วมกันพัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ผิวทางคอนกรีตในระบบบริหารบำรุงทาง TPMS โดยมีเกณฑ์การพิจารณาวิธีซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีต แสดงดังภาพที่ 2.7 อาศัยข้อมูลสภาพผิวทางผ่านพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่า ความขรุขระ (IRI) รอยแตก (Cracking) การกะเทาะ (Spalling) รอยเลื่อนต่างระดับ (Faulting) เป็นต้น ซึ่งวิธีการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตจะจำแนกตามปริมาณและประเภทความเสียหายจากข้อมูลสภาพทางดังกล่าว



ภาพที่ 2.7 แผนภูมิการตัดสินใจการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตในระบบบริหารบำรุงทางของกรมทางหลวง

2.2 การให้บริการของสายทาง

ข้อมูลสภาพทางถือว่าเป็นข้อมูลหลักในการพิจารณาระดับการให้บริการของสายทาง หากขาดข้อมูลสภาพทางจะทำให้ไม่สามารถวางแผนหรือตัดสินใจกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงรักษาได้ เมื่อทราบลักษณะสภาพทาง การวิเคราะห์สาเหตุทำให้การตัดสินใจซ่อมบำรุงรักษาได้ถูกวิธี ถูกต้องตามกำหนดเวลาที่เหมาะสม เป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย สภาพทางดีขึ้น อายุการใช้งานโดยรวมมากขึ้น ทำให้สภาพทางไม่เสื่อมสภาพเร็วไม่เกิดปัญหาลุกลาม ไม่ต้องเสียงบประมาณมาซ่อมใหม่ หากปล่อยปะละเลยอาจจะต้องมาซ่อมโดยวิธีที่มีราคาแพงกว่าได้ (แสงชัย เทพสิทธิทรากรณ์, 2550)

1. สภาพบริการของสายทาง (Present Serviceability Rating, PSR)

จากแนวคิดและการพัฒนาของ The American Association of State Highway Officials หรือ AASHO (1960) โดยได้กำหนดว่าสภาพบริการของสายทาง (Present Serviceability Rating, PSR) ควรพิจารณาจากความคิดเห็นและการยอมรับของผู้ใช้ทางเป็นสำคัญ ดังนั้นจึงได้ตั้งกลุ่มผู้ประเมินจากผู้ประเมินทุกสาขาอาชีพ เพื่อออกไปสำรวจและให้คะแนนของสภาพการให้บริการของสายทาง โดยใช้แบบสอบถามและกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

- คะแนน 4 - 5 สภาพบริการดีมาก (Very Good)
- คะแนน 3 - 4 สภาพบริการดี (Good)
- คะแนน 2 - 3 สภาพบริการพอใช้ (Fair)
- คะแนน 1 - 2 สภาพบริการแย่ (Poor)
- คะแนน 0 - 1 สภาพบริการแย่มาก (Very Poor)

การประเมินเช่นนี้มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ กล่าวคือ การประเมินสภาพบริการของสายทางทำได้ช้าและมีความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคล (Subjective Measurement) สูง ซึ่งต่อมา AASHO ได้มีการพัฒนานำเครื่องมือในการตรวจวัดสภาพทาง โดยเปรียบเทียบกับค่า PSR เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากผู้ประเมินเรียกว่า ดัชนีสภาพบริการของทาง (Present Serviceability Index, PSI)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ดัชนีสภาพบริการของสายทาง (Present Serviceability Index, PSI)

ดัชนีสภาพบริการของสายทาง (PSI) ได้ถูกพัฒนาต่อมาโดย AASHO (1962) เนื่องจากการประเมินสภาพการให้บริการโดยวิธี PSR นั้นต้องการกลุ่มบุคคลเป็นผู้ประเมินหลัก ในโครงข่ายทางที่มีปริมาณมากจึงไม่เหมาะสมในแง่ของการปฏิบัติ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาการวิเคราะห์ค่าสภาพการให้บริการ จากการศึกษาข้อมูลค่า PSR และสภาพความเสียหายประเภทต่างๆ พบว่าค่า PSR มีความสัมพันธ์กับความแปรผันของความลาดชัน (Slope variance) รอยปะซ่อม (Patching) และรอยแตกร้าว (Cracking) จึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ค่าระหว่างค่าดัชนีสภาพบริการของสายทาง (PSI) ซึ่งความหมายของผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันกับ PSR มีค่า 0-5 เท่ากัน แบบจำลองในการประเมินดัชนีสภาพบริการของสายทาง (PSI) คือ

$$\mathrm{PSI} = 5.03 - 1.91\mathrm{Log}(1+\mathrm{SV}) - 1.38\mathrm{RD}^2 - 0.01\sqrt{\mathrm{C}+\mathrm{P}}$$

โดยที่ PSI = Present Serviceability Index
SV = Slope Variance
RD = Average Rut Depth of both Wheel Paths (in)
C = Major Cracking (ft^2 / 1000 ft^2 of area)
P = Patching (ft^2 / 1000 ft^2 of area)

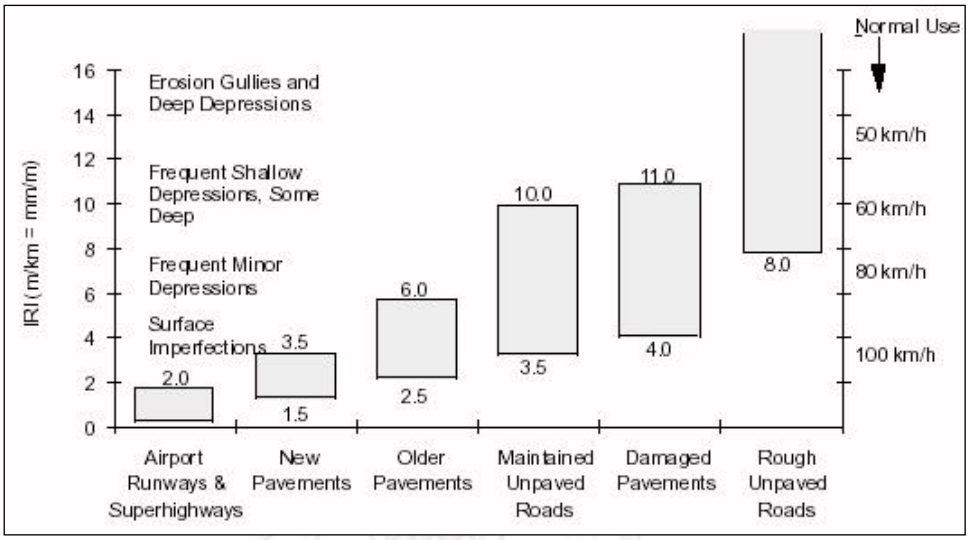
จากแบบจำลองจะเห็นได้ว่าการพิจารณาสภาพบริการสายทางได้เริ่มนำสภาพความเสียหายของผิวทาง เช่น ความลึกร่องล้อ (Rut Depth) รอยแตกร้าว (Cracking) และรอยปะซ่อม (Patching) จากการใช้เครื่องมือตรวจวัดความเสียหายมาร่วมในการวิเคราะห์ ซึ่งจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคลได้เป็นอย่างดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI)

ค่าดัชนีความขรุขระสากลพัฒนาขึ้นโดยธนาคารโลก (Paterson, 1987) ซึ่งได้รับความร่วมมือจากหลายประเทศ เพื่อที่จะรวบรวมแนวทางในการวัดค่าความขรุขระของผิวทาง จากนั้นจึงหาความสัมพันธ์ของค่าความเรียบของทางที่วัดได้จากเครื่องมือแต่ละชนิด โดยได้ตั้งค่ามาตรฐานความเรียบเป็นสากลขึ้นเรียกว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ค่า IRI ถูกใช้เพื่อที่สะท้อนลักษณะรูปตัดของผิวทางในแนวยาว (Longitudinal Profile) มีหน่วยเป็น เมตร/กิโลเมตร หรือ มิลลิเมตร/เมตร

ซึ่งผลการศึกษาพบว่าคุณภาพของการให้บริการทางขึ้นอยู่กับความขรุขระของผิวทาง นอกจากนั้นความขรุขระยังเป็นตัวสะท้อนระดับความเร็วที่ใช้ในการเดินทาง แสดงดังภาพที่ 2.8 ซึ่งความเร็วในการเดินทางและสภาพความขรุขระของผิวทางจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI และความเร็วในการเดินทาง (Sayers, 1986)

ปัจจุบันเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดค่า IRI มี 2 ประเภทคือ Bump Integrator และ Laser Profilometer ซึ่งเครื่องมือทั้ง 2 ประเภทจะติดตั้งอยู่บนรถสำรวจ หลักการในการวัดค่า IRI ของ Bump Integrator เป็นการคำนวณระยะการสั่นสะเทือนขึ้น–ลงทั้งหมดของเพลาล้อรถหารด้วยระยะทางที่เคลื่อนที่ในแนวราบ เช่น หากระยะการสั่นขึ้นลงของเพลามีค่ารวม 3 เมตร ในระยะทางวิ่งสำรวจ 1 กิโลเมตร ค่า IRI ที่คำนวณได้จะเท่ากับ 3 เมตรต่อกิโลเมตร และสำหรับหลักการในการคำนวณค่า IRI ของ Laser Profilometer ใช้วิธีเดียวกันกับ Bump Integrator แต่เปลี่ยนจากการวัดระยะขึ้นลงของเพลาเป็นการวัดระยะขึ้นลงของระยะห่างระหว่างผิวทางกับตัวรับสัญญาณเลเซอร์ ซึ่งข้อดีของการใช้เลเซอร์เป็นตัววัดค่า IRI นั้น สามารถวัดรูปตัดของผิวทางในแนวยาว (Longitudinal Profile) ได้หลายรูปตัดขึ้นอยู่กับจำนวนของตำแหน่งเลเซอร์ที่ติดตั้ง

2.3 หลักการเลือกประเภทผิวทาง

การเลือกประเภทผิวทางเป็นกระบวนการการตัดสินใจในการบริหารโครงข่ายสายทางที่ผู้บริหารสายทางจะต้องเผชิญในการสร้างความสมดุลของระดับคุณภาพของการให้บริการกับค่าใช้จ่ายทั้งในระยะสั้นและระยะยาว นอกเหนือไปจากการใช้งบประมาณของประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดแล้วกระบวนการเลือกประเภทผิวทางจำเป็นที่จะต้องมีความครอบคลุมและโปร่งใส มีเหตุผลทางวิชาการรองรับเพราะว่า มีการแข่งขันที่สูงในอุตสาหกรรมก่อสร้างจึงอาจเกิดข้อโต้แย้งภายหลังได้ รวมถึงอาจเกิดความยุ่งยากในระเบียบราชการ

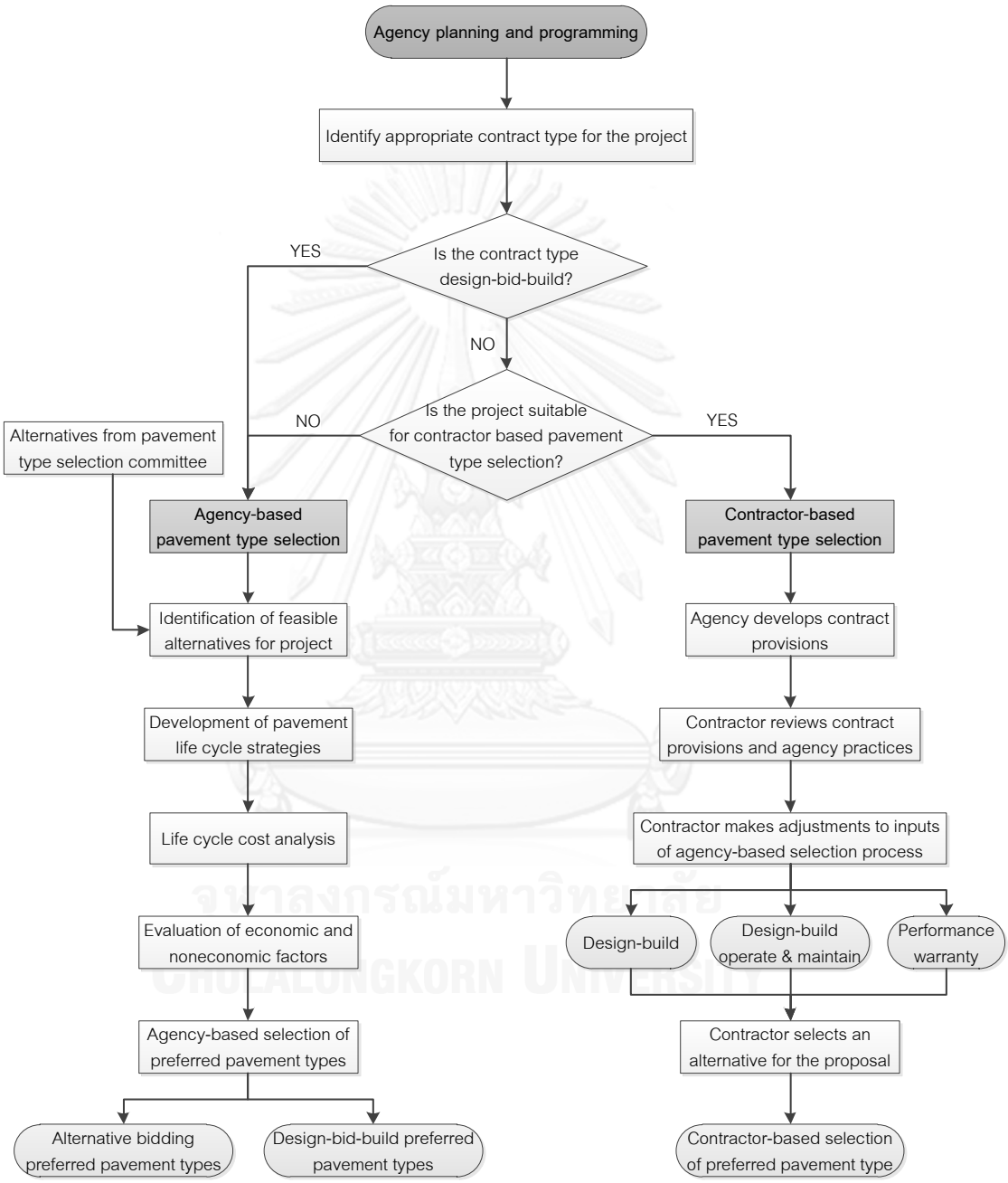
ในต่างประเทศเช่น สหรัฐอเมริกา หน่วยงานที่รับผิดชอบทางในหลายๆรัฐต่างมีกระบวนการที่ช่วยตัดสินใจในการเลือกประเภทผิวทาง มีหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนแตกต่างกันไป โดยวิเคราะห์ในรูปแบบของตารางทำการหรือโปรแกรมสำเร็จรูป ทั้งนี้หน่วยงานด้านวิจัยการขนส่งแห่งชาติ (NCHRP, 2011) ได้ศึกษารูปแบบการเลือกประเภทผิวทางของรัฐต่างๆ และได้เสนอแนวทางกระบวนการเลือกประเภทผิวทาง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแผนภูมิในภาพที่ 2.9 โดยแนวทางที่ NCHRP พัฒนาขึ้นมาครอบคลุมถึงในส่วนรูปแบบสัญญาการจ้างเอกชนและให้เอกชนเป็นผู้เลือกประเภทผิวทาง รวมถึงสัญญาการจ้างดำเนินการและบำรุงรักษาด้วย ส่วนกรณีดั้งเดิมที่หน่วยงานรัฐเป็นผู้ตัดสินใจเลือกประกอบด้วยขั้นตอนต่างที่สำคัญ ประกอบไปด้วย การระบุทางเลือกประเภทผิวทางที่เป็นไปได้ การแสดงภาพรวมตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานและการประเมินปัจจัยทั้งด้านเศรษฐศาสตร์และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องประกอบกันและใช้ค่าถ่วงน้ำหนักในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยทั้งหมดเปรียบเทียบกันระหว่างทางเลือกผิวทางประเภทต่างๆ เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด

2.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

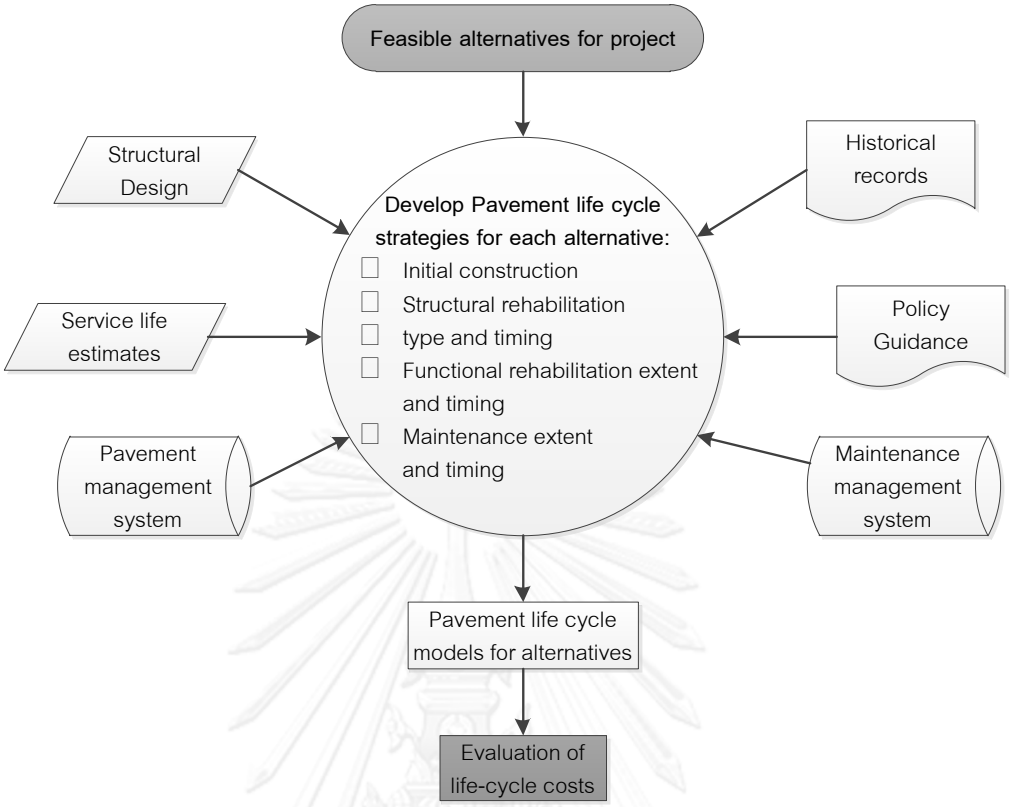
การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost Analysis) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการเลือกประเภทผิวทางและการบริหารงานโครงข่ายทาง เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ในภาพรวมตั้งแต่ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการก่อสร้าง การซ่อมบำรุง ตลอดจนค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ซึ่งมีผู้ให้คำจำกัดความของการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ไว้ว่า

“A cost-centered engineering economic analysis whose objective is to systematically determine the costs attributable to each of one or more alternative courses of action over a specified period of time.” (Kirk, 1995 cited in Cole, 1997)

กล่าวคือ เป็นกระบวนการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมซึ่งได้รวมต้นทุนต่างๆไว้เพื่อหาค่าใช้จ่ายของการดำเนินงานแต่และทางเลือกอย่างเป็นระบบภายใต้ช่วงเวลาหนึ่ง



ภาพที่ 2.9 แนวทางการเลือกประเภทผิวทาง



ภาพที่ 2.10 ปัจจัยนำเข้าในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (NCHRP, 2011)

ภาพที่ 2.10 แสดงปัจจัยนำเข้าต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ผิวทางตลอดอายุการใช้งาน ส่วนที่สำคัญคือที่มาและหลักเกณฑ์ของค่าใช้จ่ายในช่วงต่างๆตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของโครงการจะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์พอสังเขป ดังนี้

1. Present Worth Method (PW)

$$\mathrm{TPWC} = \mathrm{ICC} + \sum_{t=0}^{n} \{\mathrm{pwf_t}[\mathrm{CC_t} + \mathrm{MO_t} + \mathrm{UC_t}]\} - \mathrm{pwf_n}(\mathrm{SV_n})$$

โดยที่ TPWC = Total present worth of costs

ICC = Initial capital costs of construction

CC_t = Capital costs of construction in year t

MO_t = Maintenance and operation costs in year t

UC_t = User costs in year t

SV_n = Salvage value at the end of n years

pwf_n = Present worth factor for a particular n years, discount rate i

$= \frac{1}{(1+i)^n}$

2. Equivalent Uniform Annual Cost Method (EUAC)

$$\text{EUAC} = \text{crf}_n \text{ x TPWC}$$

โดยที่ crf_n = Capital recovery factor for n years

$= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$

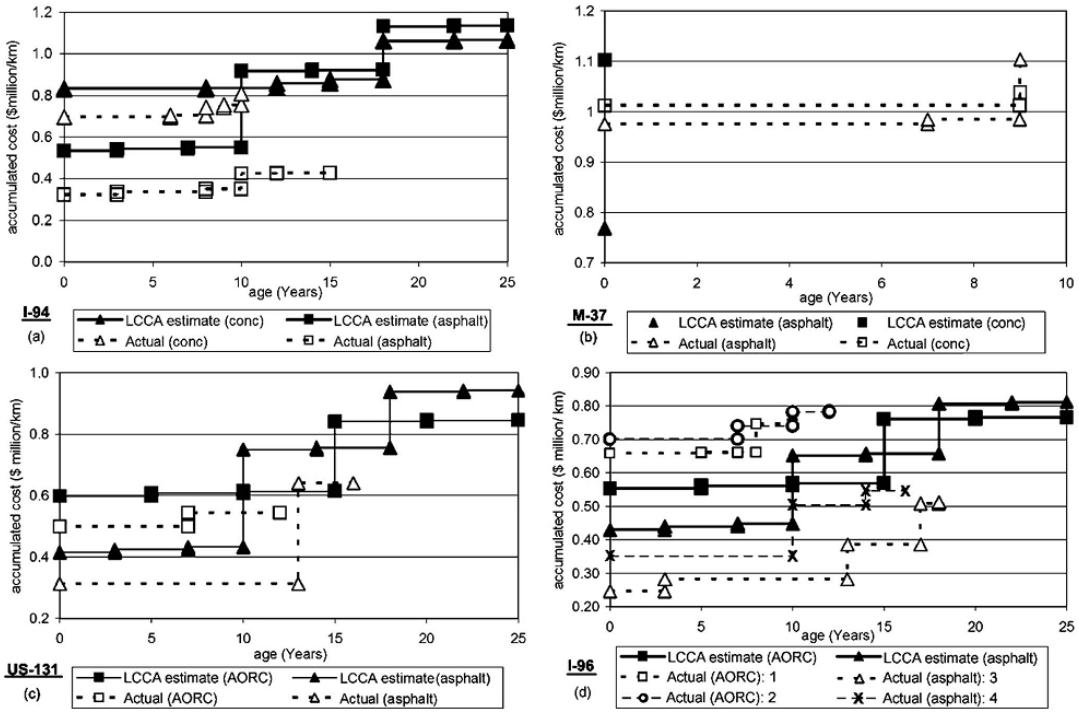
3. Cost-Effectiveness Method (E/C)

$$\text{Cost Effectiveness} = \frac{\text{Effectiveness}}{\text{Present Worth Cost}}$$

โดยที่ Effectiveness = Area under Performance Curve x Traffic Volume and Section Length

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง

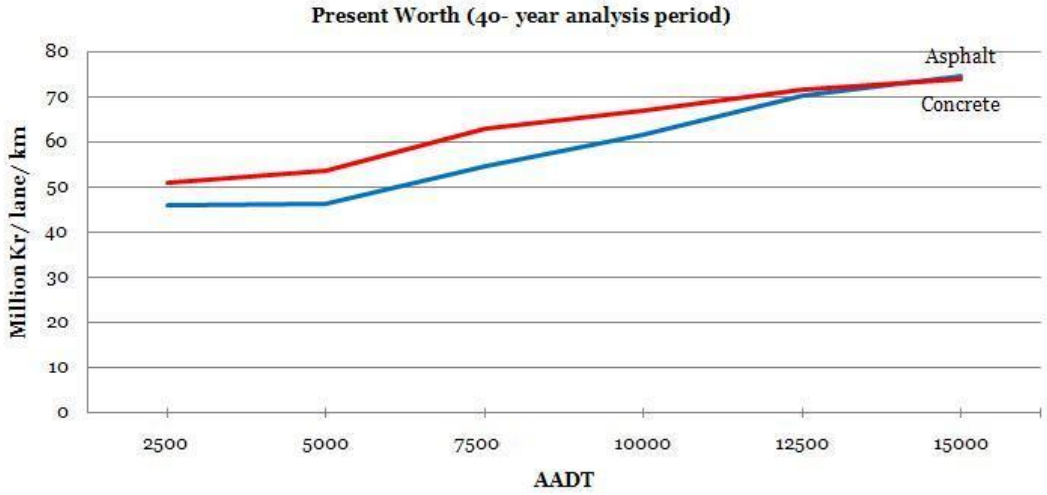
ตั้งแต่ปี 1980 เป็นต้นมาการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางถูกนำมาวิเคราะห์อย่างแพร่หลายเพื่อวางแผนในการตัดสินใจก่อสร้างทาง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยการประมาณการค่าใช้จ่ายต่างๆที่คาดว่าจะเกิดขึ้นและตัดสินใจเลือกทางเลือกที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ต่อมา Chan (2008) ได้ตรวจสอบเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทางที่ได้ทำการประมาณการเอาไว้กับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงของถนนในรัฐมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา จากการเลือกสายทางตัวอย่าง 10 สายทางและจัดกลุ่มตามปริมาณจราจรเป็น 4 กลุ่มโดยในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลลงในกราฟเพื่อเปรียบเทียบดังภาพที่ 2.11 พบว่าค่าใช้จ่ายสะสมที่เกิดขึ้นจริงของสายทางส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าที่ได้ประมาณเอาไว้เล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นจริงมิได้เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ดังนั้น Chan จึงเสนอให้ปรับปรุงแบบจำลองในการประมาณค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งานของถนนเพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการคาดการณ์



ภาพที่ 2.11 ค่าใช้จ่ายสะสมที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับค่าใช้จ่ายจากการประมาณการ (Chan, 2008)

งานวิจัยของ Scheving (2011) โดย Innovation Center Iceland ประเทศ Iceland วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตโดยใช้จำนวน 6 สายทางตัวอย่างจำแนกตามกลุ่มปริมาณการจราจรโดยใช้การคาดการณ์ค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นมาจากแบบจำลองและประสบการณ์ทั้งหมด ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ผิวทางคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่สูงกว่าผิวทางลาดยางในช่วงที่ปริมาณการจราจรต่ำ และเริ่มมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกันเมื่อปริมาณการจราจรเฉลี่ยมากกว่า 12,500 คันต่อวัน แสดงดังภาพที่ 2.12

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตในสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำ โดยใช้ตัวอย่างสายทางจากในเมือง Olmsted County และ Waseca County ประเทศสหรัฐอเมริกา (Embacher & Snyder, 2001) ซึ่งจับคู่สายทางเปรียบเทียบโดยเลือกสายทางที่ก่อสร้างในปีใกล้เคียงกันและมีปริมาณการจราจรไม่แตกต่างกันมาก โดยใช้วิธีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตโดยผลเปรียบเทียบอยู่ในรูปแบบของค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อปีต่อปริมาณการจราจรพบว่าผิวทางคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าเกือบทุกสายทางตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบซึ่งผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2.4



ภาพที่ 2.12 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางลาดยาง และผิวทางคอนกรีต (Scheving, 2011)

ตารางที่ 2.4 ผลการศึกษาถนนในเมือง Olmsted County และ Waseca County

Section	Life	Surface Type	Traffic Volume (Million Vehicles)	EUAC/ Lane Mile	EUAC/Lane Mile/Million Vehicles
CSAH 4 to 23 St. NW	1983-2012	PCC	11.17	$6,402.00	$573.00
CSAH 3S to CSAH 3N	1984-2011	AC	11.53	$7,866.00	$682.00
CSAH 16 to CSAH 4	1983-2012	PCC	9.11	$6,402.00	$703.00
CSAH 5 to CSAH 3S	1984-2011	AC	7.86	$7,605.00	$968.00
CSAH 3 to CSAH 16	1987-2012	PCC	5.22	$6,064.00	$1,162.00
US14 to Frontier Road	1987-1999	AC	2.28	$6,579.00	$2,885.00
CSAH 27 to CR57N	1980-2015	PCC	3.79	$6,154.00	$1,624.00
CSAH 3 to 70 St.	1982-2010	AC	2.62	$6,898.00	$2,633.00
CSAH 17 to 85th St.	1975-2001	PCC	3.26	$7,159.00	$2,196.00
S.County Line to TH30	1974-2003	AC	3.14	$8,711.00	$2,774.00
CSAH 3 to CSAH 33	1976-2001	PCC	2.75	$6,893.00	$2,507.00
S.County Line to TH30	1977-2002	AC	1.3	$2,899.00	$2,230.00

ที่มา: (Embacher & Snyder, 2001)

2.6 สรุป

ทางหลวงส่วนใหญ่ของประเทศก่อสร้างด้วยผิวทางชนิดลาดยางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีตมาอย่างยาวนาน ซึ่งผิวทางทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดคำถามถึงความคุ้มค่าและเหมาะสมของแต่ละชนิดผิวทาง จากการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในเบื้องต้นยังไม่พบหลักเกณฑ์การเลือกชนิดผิวทางที่เป็นระบบ การพิจารณาเลือกผิวทางชนิดใดจะพิจารณาจากหลักเกณฑ์ทางวิศวกรรมเบื้องต้น เช่น กำลังรับแรงของชั้นดินเดิม สัดส่วนรถหนัก ผิวจราจรที่ต่อเนื่องกัน เป็นต้น ทั้งนี้การก่อสร้างทางเป็นบริการพื้นฐานที่รัฐจัดขึ้นจากภาษีของประชาชนโดยรวม ประเด็นเรื่องความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จึงมีความสำคัญต่อการพิจารณาเลือกชนิดผิวทาง เพื่อให้การใช้งบประมาณเกิดประสิทธิผลสูงสุด

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานยังคงมีความไม่ครบถ้วนของข้อมูลที่จัดเก็บ ทำให้การวิเคราะห์ต้องพึ่งพิงการประมาณค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจากแบบจำลองเป็นหลัก ด้วยเหตุดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายของหน่วยงานคือ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษา โดยใช้ข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมดของสายทางตัวอย่างที่คัดเลือกมาในลักษณะต่างๆ เพื่อศึกษามูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผิวทางทั้งสองชนิด และนำเสนอเป็นปัจจัยสำหรับการเลือกชนิดผิวทางก่อสร้างต่อไปในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง คือ ข้อมูลประวัติของสายทาง เช่น ประวัติการก่อสร้างทาง ประวัติการบำรุงรักษาทาง ปริมาณการจราจร เป็นต้น เนื่องจากอายุการใช้งานของผิวทางนั้นมีระยะเวลานานหลายปี ความถูกต้องและความต่อเนื่องของหน่วยงานในการบันทึกข้อมูลให้สมบูรณ์จึงเป็นปัญหาสำคัญของการวิเคราะห์นี้ ดังนั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่ง เนื่องจากถ้าข้อมูลที่เก็บได้มีความครบถ้วน และมีความถูกต้องก็จะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย

เบื้องต้นผู้วิจัยจึงได้สำรวจถึงการบันทึกข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ ที่ดูแลรับผิดชอบถนนในประเทศไทย พบว่า กรมทางหลวงมีการเก็บข้อมูลประวัติ ไว้อย่างยาวนานและค่อนข้างสมบูรณ์ โดยสามารถสืบค้นข้อมูลย้อนหลังที่มีการบันทึกไว้ได้ ดังนี้

- ประวัติการก่อสร้างทาง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 เป็นต้นมา
- ประวัติการบำรุงรักษาทาง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 เป็นต้นมา
- ข้อมูลปริมาณการจราจร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา

จากการสำรวจข้อมูลที่มีการบันทึกไว้พบว่า ถูกจำกัดด้วยประวัติการบำรุงรักษาที่มีการบันทึกย้อนหลังกลับไปถึงปี พ.ศ. 2538 เท่านั้น ด้วยเหตุนี้การคัดเลือกสายทางที่จะนำมาวิเคราะห์จึงต้องเป็นสายทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2537 เป็นต้นมา ผู้วิจัยจึงรวบรวมข้อมูลต่างๆ ตั้งแต่ปีดังกล่าวเป็นต้นมาเพื่อวิเคราะห์ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 ประวัติการก่อสร้างทาง

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลประวัติสายทางจากกรมทางหลวงในการวิเคราะห์ ข้อมูลตั้งต้นที่สำคัญคือข้อมูลประวัติการก่อสร้างทาง ซึ่งบันทึกอยู่ในรายงานความก้าวหน้าของการก่อสร้างทางประจำเดือน และเก็บรักษาไว้ที่สำนักแผนงาน กรมทางหลวง เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งที่จะวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง การสืบค้นข้อมูลประวัติการก่อสร้างทางจึงต้องย้อนกลับไปอย่างน้อย 15 ปี เพื่อความสมบูรณ์ของการวิเคราะห์ต่อไป องค์ประกอบของข้อมูลที่สำคัญที่ได้จากประวัติการก่อสร้างทาง ได้แก่

- หมายเลขสายทาง ตอนควบคุม และชื่อสายทาง ที่ก่อสร้าง
- ระยะทาง กิโลเมตรเริ่มต้นและสิ้นสุด
- จำนวนช่องจราจร
- มาตรฐานชั้นทาง
- ประเภทผิวทาง
- ปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ

ทางหลวงที่ก่อสร้างจะถูกแบ่งประเภทตามมาตรฐานชั้นทาง ซึ่งกรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานชั้นทางทั้ง 5 ประเภทไว้ โดยใช้ค่าคาดการณ์ของปริมาณการจราจรเป็นตัวกำหนดช่วงชั้น และได้กำหนดคุณลักษณะของมาตรฐานชั้นทางไว้ด้วย ปัจจัยทางด้านเรขาคณิตของผิวทาง เช่น ความกว้างของผิวทาง ความกว้างของไหล่ทาง ความลาดชัน เป็นต้น โดยที่มิได้กำหนดลงไปถึงชั้นโครงสร้างของทาง งานวิจัยนี้จึงได้ใช้ค่าความหนาของโครงสร้างทางลาดยางซึ่งได้คำนวณคาดการณ์จากมาตรฐานชั้นทาง ดังตารางที่ 3.1 เป็นสมมติฐานในการวิเคราะห์ต่อไป และในส่วนผิวทางคอนกรีตที่เก็บรวบรวมข้อมูลมาได้ มีเฉพาะที่เป็นมาตรฐานชั้นทางพิเศษ จึงใช้ความหนาของชั้นผิวทางคอนกรีตที่ 25 เซนติเมตร เป็นสมมติฐานในการวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 3.1 ความหนาของโครงสร้างทางลาดยางคาดการณ์จากมาตรฐานชั้นทาง

มาตรฐานชั้นทาง	ปริมาณการจราจร (คัน/วัน)	ความหนาผิวทาง (ซม.)	ความหนาพื้นทาง (ซม.)	ความหนารองพื้นทาง (ซม.)	ความหนาชั้นดินเดิม (ซม.)
พิเศษ	มากกว่า 10,000	10	30	30	30
1	5,000 - 10,000	10	25	30	30
2	2,500 – 5,000	10	20	30	30
3	1,000 – 2,500	5	25	30	30
4	น้อยกว่า 1,000	5	20	30	30

3.2 ประวัติการบำรุงรักษาทาง

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมต่อมาคือข้อมูลกิจกรรมการบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่งบันทึกอยู่ในรายงานผลการดำเนินการ โดยสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง เป็นประจำทุกปี ผู้วิจัยได้รวบรวมกิจกรรมบำรุงรักษาเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับผิวทางในสายทางที่ได้คัดเลือกไว้มาเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป โดยมี

กิจกรรมบำรุงรักษาจำแนกเป็นผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต ดังตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 กิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางแอสฟัลต์ที่เก็บรวบรวม

รหัสงาน	ลักษณะงาน	หน่วยนับ
2100	งานฉาบผิวแอสฟัลต์ (Asphalt Seal Coating)	ตารางเมตร
2200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์ (Asphalt Overlay	ตารางเมตร
3100	งานปรับระดับผิวทาง (Surface Leveling)	ตารางเมตร
3200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์ (Major Repair of Asphalt Pavement)	ตารางเมตร
3300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์เดิม นำกลับมาใช้ใหม่ (Asphalt Hot Mix Recycling)	ตารางเมตร
4100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ (Rehabilitation of Asphalt Pavement)	ตารางเมตร

ตารางที่ 3.3 กิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางคอนกรีตที่เก็บรวบรวม

รหัสงาน	ลักษณะงาน	หน่วยนับ
2200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์ (Asphalt Overlay)	ตารางเมตร
2400	งานเปลี่ยนวัสดุรอยต่อผิวคอนกรีต (Replacement of Joint Sealing)	เมตร
3400	งานซ่อมผิวคอนกรีต (Major Repair of Concrete Pavement)	ตารางเมตร
4200	งานบูรณะทางผิวคอนกรีต (Rehabilitation of Concrete Pavement))	ตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากงานบำรุงรักษาข้างต้นแล้วยังรวมถึงงานบำรุงปกติ (Routine Maintenance) ซึ่งหมายถึง งานกำกับดูแลและซ่อมแซมบำรุงรักษา ทำความสะอาด เสริมแต่งทางหลวง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องทำเป็นประจำ โดยมีปริมาณงานไม่มากนัก รวมถึงการแก้ไข ปรับปรุง เปลี่ยนแปลงหรือต่อเติมตามความเหมาะสม เพื่อให้ทางหลวงคงสภาพใช้งานได้ดี

3.3 ข้อมูลค่าใช้จ่าย

ตามหลักการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน มีองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารายปีและตามกำหนดเวลา มูลค่าซาก (Salvage value) และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (User Cost) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเป็นองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบมากที่สุดในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน ซึ่งจะถูกวิเคราะห์ ณ ปีที่ศูนย์ของคาบเวลาในการวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะพิจารณาเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างชั้นทางของถนน โดยราคาการก่อสร้างที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์นั้น ไม่อาจจะใช้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงในแต่สายทางมาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกันโดยตรงได้ เนื่องจากมีความแตกต่างของสถานที่ก่อสร้าง ปริมาณงาน รวมถึงค่าใช้จ่ายทางอ้อมอื่นๆที่อาจถูกรวมเข้าด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้อ้างอิงราคากลางของค่าก่อสร้างทาง โดยสำนักงบประมาณ (2556) แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ราคาก่อสร้างผิวทางจำแนกตามมาตรฐานชั้นทาง

มาตรฐานชั้นทาง	ราคาผิวทางแอสฟัลต์ (บาท/ตารางเมตร)	ราคาผิวทางคอนกรีต (บาท/ตารางเมตร)
พิเศษ	765	883
1	750	-
2	735	-
3	531	-
4	444	-

2. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

ค่าใช้จ่ายอีกส่วนซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายทางตรงของหน่วยงานก็คือ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซึ่งถนนเมื่อเปิดให้บริการแล้วก็จำเป็นที่จะต้องดูแลรักษาเป็นประจำ ทั้งงานบำรุงปกติรายปี งานบำรุงตามกำหนดเวลาและงานบำรุงพิเศษ เพื่อรักษาระดับการให้บริการตลอดอายุการใช้งาน และด้วยเหตุผลเดียวกันราคาการบำรุงรักษาที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์นั้น ไม่อาจจะใช้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงในแต่สายทางมาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกันโดยตรงได้ เนื่องจากมีความแตกต่างของสถานที่ก่อสร้าง ปริมาณงาน รวมถึงค่าใช้จ่ายทางอ้อมอื่นๆที่อาจถูกรวมเข้าด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้อ้างอิงราคากลางของค่าบำรุงรักษาแยกตามประเภทผิวทาง รวบรวมจากสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง แสดงดังตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6

นอกจากนี้ยังมีกิจกรรมบำรุงปกติ ซึ่งจะต้องดำเนินการเป็นประจำทุกปี ในการขอตั้งงบประมาณงานบำรุงปกติในแต่ละปีนั้น จะอ้างอิงถึงค่าใช้จ่ายมาตรฐานของสายทางความยาวต่อกิโลเมตร (2 ช่องจราจร) ต่อปี โดยปกติกรมทางหลวงจะได้รับจัดสรรงบบำรุงปกติเฉลี่ยประมาณ 3.00 บาท/ตารางเมตร/ปี สำหรับทั้งผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต

ตารางที่ 3.5 ราคากิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางแอสฟัลต์

รหัสงาน	ลักษณะงาน	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม.)
2100	งานฉาบผิวแอสฟัลต์ งาน Para Slurry Seal Type 2	102
2100	งานฉาบผิวแอสฟัลต์ งาน Para Slurry Seal Type 3	140
2200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์ 5 ซม.	427
2200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์ 10 ซม.	631
3100	งานปรับระดับผิวแอสฟัลต์	266
3200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	440
3300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์เดิม นำกลับมาใช้ใหม่ 20 ซม.	575
4100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ 5 ซม.	531
4100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ 10 ซม.	765

ตารางที่ 3.6 ราคากิจกรรมบำรุงรักษาผิวทางคอนกรีต

รหัสงาน	ลักษณะงาน	ราคา	หน่วย
2200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์ 10 ซม.	631	บาท/ตร.ม.
2400	งานซ่อมรอยต่อผิวคอนกรีต	75	บาท/ม.
3400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต	381	บาท/ตร.ม.
4200	งานบูรณะทางผิวคอนกรีต 25 ซม.	883	บาท/ตร.ม.

3. มูลค่าซาก (Salvage Value)

มูลค่าซาก (Salvage Value) ของถนนแสดงถึงมูลค่าของถนนที่คงเหลือ ณ ปีสุดท้ายของคาบการวิเคราะห์ ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญสองส่วน คือ มูลค่าคงเหลือ (Residual Value) และอายุการใช้งานคงเหลือ (Remaining Service Life) (FHWA, 1998)

โดยมูลค่าคงเหลือ (Residual Value) เป็นค่าที่สะท้อนถึงมูลค่าของวัสดุในส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycled Material) ซึ่งในปัจจุบันกรมทางหลวงมีการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์กลับมาใช้ใหม่ โดยที่ในส่วนของผิวทางคอนกรีตยังไม่มีการนำวัสดุกลับมาใช้ทำผิวทางใหม่ แต่ทั้งนี้การประเมินมูลค่าคงเหลือที่แท้จริงของถนนนั้นทำได้ยาก และเมื่อวิเคราะห์เป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่คาบเวลามากกว่า 30 ปีขึ้นไป มูลค่าคงเหลือจะส่งผลต่อผลการวิเคราะห์เพียงเล็กน้อย ขณะที่ในส่วนอายุการใช้งานคงเหลือ (Remaining Service Life) ของถนนคอนกรีต ณ ปีสุดท้ายของคาบการวิเคราะห์จะมีแนวโน้มที่มีอายุการใช้งานคงเหลือโดยเฉลี่ยมากกว่าถนนแอสฟัลต์ แต่เนื่องจากการ

วิเคราะห์นี้มีคาบการวิเคราะห์สูงสุดเพียง 17 ปี ซึ่งผิวทางทั้งสองชนิดยังคงสามารถใช้งานได้ต่อไป เพราะฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่พิจารณามูลค่าซาก (Salvage Value) ในการวิเคราะห์

4. ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (User Cost)

นอกเหนือไปจากค่าใช้จ่ายของหน่วยงาน (Agency Cost) คือค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษาแล้ว ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (User Cost) เช่น ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (Vehicle Operating Cost) นับเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการประเมินโครงการ เนื่องจากการซ่อมบำรุงทางหรือก่อสร้างสายทางใหม่ย่อมส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้ทาง ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่ายางรถยนต์ ค่าเสื่อมราคา เป็นต้น โดยค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะจะแปรผันตามปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ ชนิดของยานพาหนะ ความเร็วที่ใช้ และสภาพของผิวทาง ทั้งนี้ในการวิเคราะห์จะไม่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (User Cost) เนื่องจากไม่มีข้อมูลความเร็วของยานพาหนะที่ใช้และสภาพผิวทางของถนนอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งาน ประกอบกับในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะวิเคราะห์เฉพาะค่าใช้จ่ายโดยตรงของหน่วยงาน (Agency Cost) เท่านั้น

3.4 ปริมาณการจราจร

ข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic: AADT) เป็นข้อมูลที่ฝ่ายสถิติและสารสนเทศข้อมูล สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง ได้ทำการสำรวจปริมาณการจราจรบนทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงจังหวัด ซึ่งเป็นทางบำรุงโดยกำหนดให้มีสถานีนับปริมาณจราจร 2 ประเภท คือ สถานีหลักและสถานีย่อย

สถานีหลัก (Control Station) ทำการสำรวจบนทางหลวงแผ่นดินปีละ 4 งวด ในเดือนมกราคม เมษายน กรกฎาคม และตุลาคม แต่ละงวดสำรวจ 17 วันๆละ 8 ชั่วโมง โดยเริ่มสำรวจตั้งแต่วันอาทิตย์แรกของเดือนและกำหนดช่วงเวลาสำรวจในวันอาทิตย์ พุธ เสาร์ ครบ 24 ชั่วโมง (ระหว่าง 0.00 น. – 24.00 น.) วันจันทร์ อังคาร พฤหัสบดี และวันศุกร์ ครบ 16 ชั่วโมง (ระหว่าง 0.00 น. – 16.00 น.) แล้วนำมาคำนวณหาค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic: ADT) เมื่อได้ตัวเลขครบทั้ง 4 งวด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณจราจรต่อวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic: AADT)

สถานีย่อย (Coverage Station) ทำการสำรวจบนทางหลวงแผ่นดินและจังหวัดปีละ 2 งวด ในเดือนเมษายน และกรกฎาคม แต่ละงวดสำรวจ 5 วัน วันละ 8 ชั่วโมง (ระหว่าง 8.00 - 16.00 น.) เริ่มสำรวจวันจันทร์แรกของเดือนแล้วนำผลการสำรวจมาเฉลี่ยต่อวัน คูณด้วยตัวคูณขยายซึ่งหาได้จาก

เครื่องจับรถอัตโนมัติ เพื่อขยายเป็น 24 ชั่วโมง จึงเป็นปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันเมื่อได้ครบทั้ง 2 งวด จึงนำมาเฉลี่ยเป็นปริมาณจราจรต่อวันตลอดปี

ข้อมูลปริมาณการจราจรที่จัดเก็บ ได้กำหนดประเภทตัวแทนยานพาหนะได้ดังนี้

- รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน (Car ≤ 7 Person)
- รถยนต์นั่งเกิน 7 คน (Car > 7 Person)
- รถโดยสารขนาดเล็ก (Light Bus)
- รถโดยสารขนาดกลาง (Medium Bus)
- รถโดยสารขนาดใหญ่ (Heavy Bus)
- รถบรรทุกขนาดเล็ก (4ล้อ) (Light Truck)
- รถบรรทุกขนาด 2 เพลา (6ล้อ) (Medium Truck)
- รถบรรทุกขนาด 3 เพลา (10ล้อ) (Heavy Truck)
- รถบรรทุกพ่วง (มากกว่า 3 เพลา) (Full Trailer)
- รถบรรทุกกึ่งพ่วง (มากกว่า 3 เพลา) (Semi-Trailer)

ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic, ADT) หมายถึง ปริมาณการจราจรทั้งหมดในช่วงใดช่วงหนึ่งที่สำรวจ หารด้วยจำนวนวันที่สำรวจ

$$ADT = \frac{\text{ปริมาณการจราจรทั้งหมดที่สำรวจได้}}{\text{จำนวนวันที่สำรวจ}}$$

ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic, AADT) หมายถึง ผลรวมของปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน ที่สำรวจใน 1 ปี หารด้วยจำนวนครั้งที่สำรวจ

$$AADT = \frac{\text{ผลรวมของปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันที่สำรวจได้ในหนึ่งปี}}{\text{จำนวนครั้งที่สำรวจ}}$$

ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก (%HV) หมายถึง ผลรวมของรถหนักหารด้วยปริมาณการจราจรทั้งหมด

$$\%HV = \frac{(\text{รถโดยสาร 6 ล้อขึ้นไป} + \text{รถบรรทุก 6 ล้อ 10 ล้อ รวมถึงรถพ่วง}) \text{ X } 100}{\text{ปริมาณการจราจรทั้งหมด}}$$

โดยข้อมูลปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นบนสายทางที่ได้คัดเลือกนั้นนั้น ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปีแรกที่มีการเปิดใช้งาน จนกระทั่งปีสุดท้ายที่ทำการวิเคราะห์ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการวิเคราะห์ต่อไป

3.5 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บรวบรวม

ตารางที่ 3.7 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่เก็บรวมของสายทางคัดเลือก คือทางหลวงหมายเลข 4038 ตอนควบคุม 100 ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2537 ด้วยมาตรฐานชั้นทาง 4 เป็นผิวทางลาดยาง ระยะทาง 26 กิโลเมตร มีความกว้างของผิวจราจร 9 เมตร โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวม ได้แก่ ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) สัดส่วนยานยนต์หนัก (%HV) และกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ หลังจากปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จจนถึงปี พ.ศ. 2554 ซึ่งทั้งหมดเป็นตัวอย่างของหนึ่งชุดข้อมูลที่เก็บรวบรวมเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บรวบของสายทาง ทางหลวงหมายเลข 4038 ตอนควบคุม 100

ปี พ.ศ.	ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี AADT (คัน/วัน)	สัดส่วนยานยนต์หนัก %HV (ร้อยละ)	กิจกรรม	ปริมาณ (ตร.ม.)
2537 (0)	-	-	ก่อสร้างแล้วเสร็จ	234,000
2538 (1)	1,038	16.28	-	-
2539 (2)	1,047	18.43	-	-
2540 (3)	1,158	19.25	งานปรับระดับผิวแอสฟัลต์	75,060
2541 (4)	1,317	12.68	งานเสริมผิวแอสฟัลต์ 5 ซม.	95,790
2542 (5)	1,347	17.00	-	-
2543 (6)	1,240	17.98	งานปรับระดับผิวแอสฟัลต์	29,770
2544 (7)	1,259	18.11	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ 5 ซม.	95,877
2545 (8)	1,209	17.12	-	-
2546 (9)	1,177	15.21	-	-
2547 (10)	1,542	18.87	-	-
2548 (11)	1,636	15.46	-	-
2549 (12)	1,693	12.70	-	-
2550 (13)	1,758	23.66	-	-
2551 (14)	2,570	22.49	-	-
2552 (15)	2,666	16.32	-	-
2553 (16)	3,785	39.84	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	76,500
2554 (17)	3,341	47.26	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	47,500

3.6 การคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล

ขั้นตอนการคัดเลือกสายทาง และตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งสายทางตั้งต้นที่จะนำมาวิเคราะห์ เป็นสายทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดให้บริการในช่วงปี พ.ศ. 2537 – 2539 โดยรวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาและปริมาณการจราจรของสายทางนั้นๆ หลังจากปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จจนถึงปี พ.ศ. 2554 มีแนวทางในการคัดเลือกสายทางดังต่อไปนี้

- สายทางที่คัดเลือกจะต้องเป็นสายทางที่คงอยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงจนถึงปัจจุบัน กล่าวคือ ไม่เป็นเส้นทางที่ถูกถ่ายโอนไปให้หน่วยงานอื่นรับผิดชอบ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง
- เป็นผิวทางลาดยางประเภทแอสฟัลต์ และผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเท่านั้น
- มีข้อมูลการบำรุงรักษาครบถ้วน สม่ำเสมอ
- มีข้อมูลปริมาณการจราจรต่อเนื่อง ครบถ้วน
- ไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากถูกภัยพิบัติ เช่น น้ำท่วม สังเกตได้จากมีการซ่อมบำรุงด้วยรหัสงาน 8000 ลักษณะงานซ่อมทางที่ถูกอุทกภัย
- เป็นสายทางที่ไม่ถูกก่อสร้างใหม่ หรือ ก่อสร้างเพื่อขยายช่องจราจร

จากการคัดเลือกและตรวจสอบสายทางทั้งหมดที่จะใช้ในการวิเคราะห์ ได้สายทางตัวอย่างซึ่งกระจายอยู่ทุกภูมิภาคทั่วประเทศ จำนวนทั้งสิ้น 78 สายทาง แบ่งเป็นสายทางแอสฟัลต์จำนวน 61 สายทาง และสายทางคอนกรีต จำนวน 17 สายทาง สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ซึ่งจากเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษา นอกจากนี้ปัจจัยหลักที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน คือ ปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นบนสายทางที่ทำการวิเคราะห์ การเก็บรวบรวมข้อมูลจึงเริ่มจากการสำรวจระยะเวลาและความสมบูรณ์ในการบันทึกข้อมูลต่างๆ ย้อนหลัง ข้อมูลที่รวบรวมในส่วนแรกคือ ประวัติการก่อสร้างทาง ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งต้นที่สำคัญที่จะบอกให้ทราบถึงลักษณะกายภายของสายทางนั้นๆ ได้แก่ ระยะทาง ประเภทผิวทาง จำนวนช่องจราจร มาตรฐานชั้นทางที่ใช้ก่อสร้าง และปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ ต่อมาคือ ประวัติการบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่ง

ประกอบด้วยชนิดกิจกรรมต่างๆและปริมาณงานจำแนกตามชนิดผิวทาง ในส่วนสุดท้ายเป็นข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี และสัดส่วนรถบรรทุกหนัก จากนั้นจึงตรวจสอบและคัดเลือกข้อมูลที่มีความครบถ้วนสมบูรณ์ เพื่อการนำไปใช้ในวิเคราะห์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.8 สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล

ข้อมูล	ผิวทางแอสฟัลต์	ผิวทางคอนกรีต
ชั้นทาง พิเศษ	11	17
ชั้นทาง 1	8	-
ชั้นทาง 2	9	-
ชั้นทาง 3	14	-
ชั้นทาง 4	19	-
หมายเลขทางหลวง 1 หลัก	8	7
หมายเลขทางหลวง 2 หลัก	1	2
หมายเลขทางหลวง 3 หลัก	16	4
หมายเลขทางหลวง 4 หลัก	36	4
ภาคเหนือ	4	3
ภาคอีสาน	17	3
ภาคกลางและตะวันออก	30	10
ภาคใต้	10	1
อายุการใช้งาน 15 ปี	19	8
อายุการใช้งาน 16 ปี	21	4
อายุการใช้งาน 17 ปี	21	5
จำนวนสายทางรวม	61	17
ระยะทางต่ำสุด (กม.)	2.607	4.740
ระยะทางสูงสุด (กม.)	50.042	31.300
ระยะทางเฉลี่ย (กม.)	20.053	12.762
ระยะทางรวม (กม.)	1,223.263	216.959

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์และการอภิปราย

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วเสร็จ ขั้นตอนต่อไปจึงเป็นการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลและอภิปรายเพื่อหาข้อสรุปจากการวิจัย โดยเนื้อหาในบทนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์ตามชนิดผิวทางคือ ผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต โดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิในรูปแบบของค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) ในการวิเคราะห์ และหาความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้น โดยใช้ค่าจำนวนเพลามาตรฐาน (NESA) เป็นตัวแทน จากนั้นเป็นการเปรียบเทียบและอภิปรายผลการวิเคราะห์ระหว่างผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต รวมถึงการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เพื่อตรวจสอบผลการวิเคราะห์ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ

4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. จำนวนเพลามาตรฐาน หรือ Number of Equivalent Single Axle (NESA)

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลสำคัญต่อความเสียหายของผิวทางซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง คือ ปัจจัยด้านปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นบนสายทางตลอดอายุการใช้งาน ข้อมูลด้านการจราจรที่เก็บรวบรวมมาได้ในแต่ละปีจะอยู่ในรูปของปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) และสัดส่วนยานยนต์หนัก (%HV) ในการวิเคราะห์นี้ผู้วิจัยจะแปลงค่าปริมาณการจราจรแต่ละปีดังกล่าวให้อยู่ในรูปของจำนวนเพลามาตรฐาน (NESA) มีหน่วยเป็น ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.1 (World Road Association, 2004)

$$NESA_i = (AADT \times \%HV \times L.F. \times T.F. \times 365) / 10^6 \quad (4.1)$$

โดยที่ AADT = ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี

%HV = สัดส่วนยานยนต์หนัก

L.F. = Lane Factor (เท่ากับ 0.50 กรณี 2 ช่องจราจร, 0.45 กรณี 4-6 ช่องจราจร, 0.40 กรณี 8 ช่องจราจร, 0.35 กรณี 8 ช่องจราจรขึ้นไป)

T.F. = Truck Factor (กรมทางหลวงใช้ค่าคงที่เท่ากับ 1.50)

2. ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน Life Cycle Cost Analysis (LCCA) เป็นกระบวนการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิธีหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดการใช้งาน ซึ่งการวิเคราะห์ด้านการเงินนั้นมีตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่าของเงิน คือ เวลา (Time) และอัตราดอกเบี้ยหรือผลตอบแทน (Interest Rate or Rate of Return) หลักการสำคัญประการหนึ่งของการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมคือเรื่อง มูลค่าเงินตามเวลา (Time Value of Money) ซึ่งหมายถึง มูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาที่กำหนด นั่นหมายความว่าในช่วงเวลาที่ต่างกันเงินค่าเดียวกันจะมีมูลค่าที่แตกต่างกัน แต่จะมีมูลค่าแตกต่างจากค่าเดิมเท่าไหร่นั้น ขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยหรือผลตอบแทน

อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำของโครงการ (Minimum Attractive Rate of Return, MARR) ในการวิเคราะห์นี้ใช้อัตราผลตอบแทนที่ 12 เปอร์เซ็นต์ เป็นอัตราส่วนลด (Discount Rate) เนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่กรมทางหลวงใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมโครงการต่างๆ โดยมีฐานการคิดจากค่าเสียโอกาสของเงินทุนที่ประเทศจะต้องจ่ายลงทุนในการพัฒนาโครงการอื่นที่จะตอบสนองวัตถุประสงค์เดียวกัน

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทางสามารถคำนวณให้อยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ดังสมการที่ 4.2 และยังสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) ดังสมการที่ 4.3 เพื่อแสดงผลเป็นมูลค่าเทียบเท่าต่อปี เป็นการขจัดปัญหาความแตกต่างในเรื่องระยะเวลาที่ใช้วิเคราะห์ของแต่ละสายทางตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=0}^{n} \frac{CC_t + MC_t}{(1+i)^t} \tag{4.2}$$

$$\mathrm{EUAC} = \mathrm{crf}_n \times \mathrm{NPV} \tag{4.3}$$

โดยที่ CC = ค่าใช้จ่ายการก่อสร้าง

MC = ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา

t = ปีที่มีกิจกรรม

i = อัตราส่วนลด (เปอร์เซ็นต์)

crf_n = Capital recovery factor for n years

= $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$

4.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ของทางหลวงหมายเลข 4038 ตอนควบคุม 100 โดยคำนวณค่าปริมาณจราจรให้อยู่ในรูปของจำนวนเพลามาตรฐาน (NESA) และหาผลรวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษาผิวทางตลอดอายุการใช้งานจากปริมาณงานที่เก็บรวบรวมได้ จากนั้นแปลงค่าผลรวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ให้อยู่ในรูปค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) มีหน่วยเป็น บาทต่อตารางเมตรต่อปี เพื่อนำค่าเฉลี่ยของ NESA และค่า EUAC ไปวิเคราะห์ต่อไป

ข้อมูลปริมาณการจราจรที่เก็บรวบรวมมาอยู่ในรูปของค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) และสัดส่วนยานยนต์หนัก (%HV) โดยการคำนวณค่า NESA ณ ปีที่ 17 สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังนี้

$NESA_i$ = $(AADT \times \%HV \times L.F. \times T.F. \times 365) / 10^6$

$NESA_{17}$ = $(3{,}341 \times 0.4726 \times 0.5 \times 1.5 \times 365) / 10^6$

= 0.432 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี

ในส่วนของกิจกรรมการบำรุงรักษาที่เก็บรวบรวมข้อมูลมาจะแสดงเป็นประเภทของกิจกรรมและปริมาณหรือพื้นที่ที่ดำเนินกิจกรรมนั้นไปในแต่ละปี เนื่องจากแต่ละสายทางตัวอย่างที่นำมาศึกษามีขนาดพื้นที่ต่างกัน ทั้งในด้านความยาวของสายทางและจำนวนช่องจราจร เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแต่ละสายทางได้จึงต้องแสดงผลให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน การวิเคราะห์นี้ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการหาสัดส่วนปริมาณการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นจริงต่อพื้นที่สายทางนั้น ยกตัวอย่างเช่นในตารางที่ 4.1 ณ ปีที่ 17 มีงานซ่อมทางผิวทางแอสฟัลต์ 47,500 ตารางเมตร จากพื้นที่รวมของสายทางนี้ 234,000 ตารางเมตร ซึ่งคิดเป็น 20.30% ของพื้นที่รวม ดังนั้นเมื่อคูณด้วยราคาต่อหน่วยของกิจกรรมดังกล่าว จะได้เป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อพื้นที่ ในรูปของบาทต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นหน่วยที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับสายทางอื่นๆต่อไปได้

การวิเคราะห์ต่อมาเป็นการคำนวณเพื่อหาผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปี จากนั้นจึงคำนวณหาผลรวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และแปลงค่าเป็นค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) เพื่อขจัดความแตกต่างของคาบเวลาในการวิเคราะห์ของแต่ละสายทาง

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ทางหลวงหมายเลข 4038 ตอนควบคุม 100

ปี พ.ศ.	AADT (คัน/วัน)	%HV (ร้อยละ)	NESA (ล้านเพลาต่อช่องจราจร)	กิจกรรมซ่อมบำรุง	ปริมาณ (ตร.ม.)	ปริมาณต่อพื้นที่รวม (ร้อยละ)	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม.)	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อพื้นที่ (บาท/ตร.ม.)	ค่าบำรุงปกติ (บาท/ตร.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/ตร.ม.)
2537 (0)	-	-	-	ก่อสร้างแล้วเสร็จ	234,000	100.00	444	444	-	444
2538 (1)	1,038	16.28	0.046	-	-	-	-	-	3	3
2539 (2)	1,047	18.43	0.053	-	-	-	-	-	3	3
2540 (3)	1,158	19.25	0.061	งานปรับระดับผิวแอสฟัลต์	75,060	32.08	266	85	3	70
2541 (4)	1,317	12.68	0.046	งานเสริมผิวแอสฟัลต์ 5 ซม.	95,790	40.94	427	175	3	196
2542 (5)	1,347	17.00	0.063	-	-	-	-	-	3	3
2543 (6)	1,240	17.98	0.061	งานปรับระดับผิวแอสฟัลต์	29,770	12.72	266	34	3	37
2544 (7)	1,259	18.11	0.062	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ 5 ซม.	95,877	40.97	531	218	3	221
2545 (8)	1,209	17.12	0.057	-	-	-	-	-	3	3
2546 (9)	1,177	15.21	0.049	-	-	-	-	-	3	3
2547 (10)	1,542	18.87	0.080	-	-	-	-	-	3	3
2548 (11)	1,636	15.46	0.069	-	-	-	-	-	3	3
2549 (12)	1,693	12.70	0.059	-	-	-	-	-	3	3
2550 (13)	1,758	23.66	0.114	-	-	-	-	-	3	3
2551 (14)	2,570	22.49	0.158	-	-	-	-	-	3	3
2552 (15)	2,666	16.32	0.119	-	-	-	-	-	3	3
2553 (16)	3,785	39.84	0.413	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	76,500	32.69	440	144	3	147
2554 (17)	3,341	47.26	0.432	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	47,500	20.30	440	89	3	92
ค่าเฉลี่ย NESA			**0.114**	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน, NPV (บาท/ตร.ม.)						787
				Equivalent uniform annual cost (EUAC) (บาท/ตร.ม./ปี)						**111**

หมายเหตุ ใช้อัตราส่วนลด 12 เปอร์เซ็นต์ ในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์

การวิเคราะห์ผลในส่วนของถนนแอสฟัลต์ จากข้อมูลสายทางตัวอย่างที่คัดเลือกมา 61 สายทางประกอบด้วยสายทางต่างๆทั้ง 5 มาตรฐานชั้นทาง ซึ่งสายทางตัวอย่างทั้งหมดมีอายุการใช้งานที่ใช้เป็นคาบเวลาในการวิเคราะห์ (Analysis Period) อยู่ระหว่าง 15 ปี ถึง 17 ปี มีผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) และค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ถนนแอสฟัลต์

ลำดับ	หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ระยะ (กม.)	ช่องจราจร	มูลค่า EUAC (บาท/ตร.ม./ปี)	ค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน, NESA (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)
1	3	701	พิเศษ	27.750	4	118	0.758
2	3	1202	พิเศษ	23.330	4	119	0.459
3	4016	200	พิเศษ	4.740	4	123	0.405
4	3	900	พิเศษ	45.920	4	135	0.409
5	1	2801	พิเศษ	3.640	4	138	0.544
6	4	900	พิเศษ	27.415	4	142	0.866
7	212	1100	พิเศษ	9.600	4	150	0.339
8	1	803	พิเศษ	15.234	4	151	0.379
9	304	300	พิเศษ	37.101	4	153	1.729
10	43	101	พิเศษ	11.160	4	154	0.488
11	4	1000	พิเศษ	14.785	4	167	1.530
12	3264	101	1	15.807	2	115	0.162
13	332	101	1	11.880	2	121	0.374
14	3145	101	1	25.515	2	122	0.136
15	333	200	1	27.126	2	131	0.296
16	323	204	1	8.022	2	135	0.355
17	332	102	1	2.607	2	144	0.372
18	4026	200	1	4.669	2	146	0.192

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ถนนแอสฟัลต์ (ต่อ)

ลำดับ	หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ระยะ (กม.)	ช่องจราจร	มูลค่า EUAC (บาท/ตร.ม./ปี)	ค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน, NESA (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)
19	3134	100	1	8.953	2	166	0.287
20	348	101	2	50.042	2	115	0.255
21	3246	100	2	11.640	2	131	0.468
22	3087	101	2	25.655	2	141	0.198
23	225	102	2	28.000	2	145	0.236
24	2045	100	2	16.273	2	150	0.302
25	103	100	2	16.271	2	151	0.330
26	3196	300	2	21.445	2	158	0.464
27	225	101	2	10.000	2	168	0.297
28	3041	100	2	6.984	2	189	0.500
29	202	902	3	33.880	2	86	0.378
30	202	1000	3	19.898	2	87	0.425
31	3318	101	3	7.300	2	87	0.063
32	219	100	3	44.322	2	88	0.138
33	3318	102	3	13.450	2	89	0.131
34	2074	200	3	30.563	2	100	0.345
35	2062	102	3	43.875	2	102	0.188
36	4	3400	3	35.778	2	105	0.478
37	226	700	3	32.500	2	109	0.522
38	3481	201	3	19.397	2	111	0.259
39	3351	101	3	3.500	2	114	0.273
40	221	101	3	17.820	2	116	0.325
41	202	401	3	18.862	2	117	0.196
42	2175	100	3	33.855	2	124	0.237
43	4151	100	4	12.950	2	69	0.058

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ถนนแอสฟัลต์ (ต่อ)

ลำดับ	หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ระยะ (กม.)	ช่องจราจร	มูลค่า EUAC (บาท/ตร.ม./ปี)	ค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน, NESA (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)
44	3245	201	4	12.202	2	78	0.179
45	2270	100	4	17.750	2	83	0.083
46	3076	100	4	14.747	2	87	0.157
47	2074	202	4	33.418	2	90	0.198
48	2095	100	4	33.500	2	91	0.071
49	3390	201	4	37.200	2	96	0.055
50	4206	100	4	26.094	2	97	0.079
51	4151	100	4	13.078	2	99	0.059
52	1092	101	4	10.000	2	106	0.105
53	2089	102	4	8.941	2	109	0.113
54	2160	100	4	18.784	2	109	0.108
55	4038	100	4	26.000	2	111	0.114
56	3224	103	4	31.012	2	114	0.154
57	2089	102	4	12.709	2	115	0.084
58	2025	100	4	14.207	2	119	0.122
59	1013	402	4	8.150	2	121	0.182
60	2089	100	4	5.240	2	124	0.134
61	2255	200	4	22.034	2	140	0.096

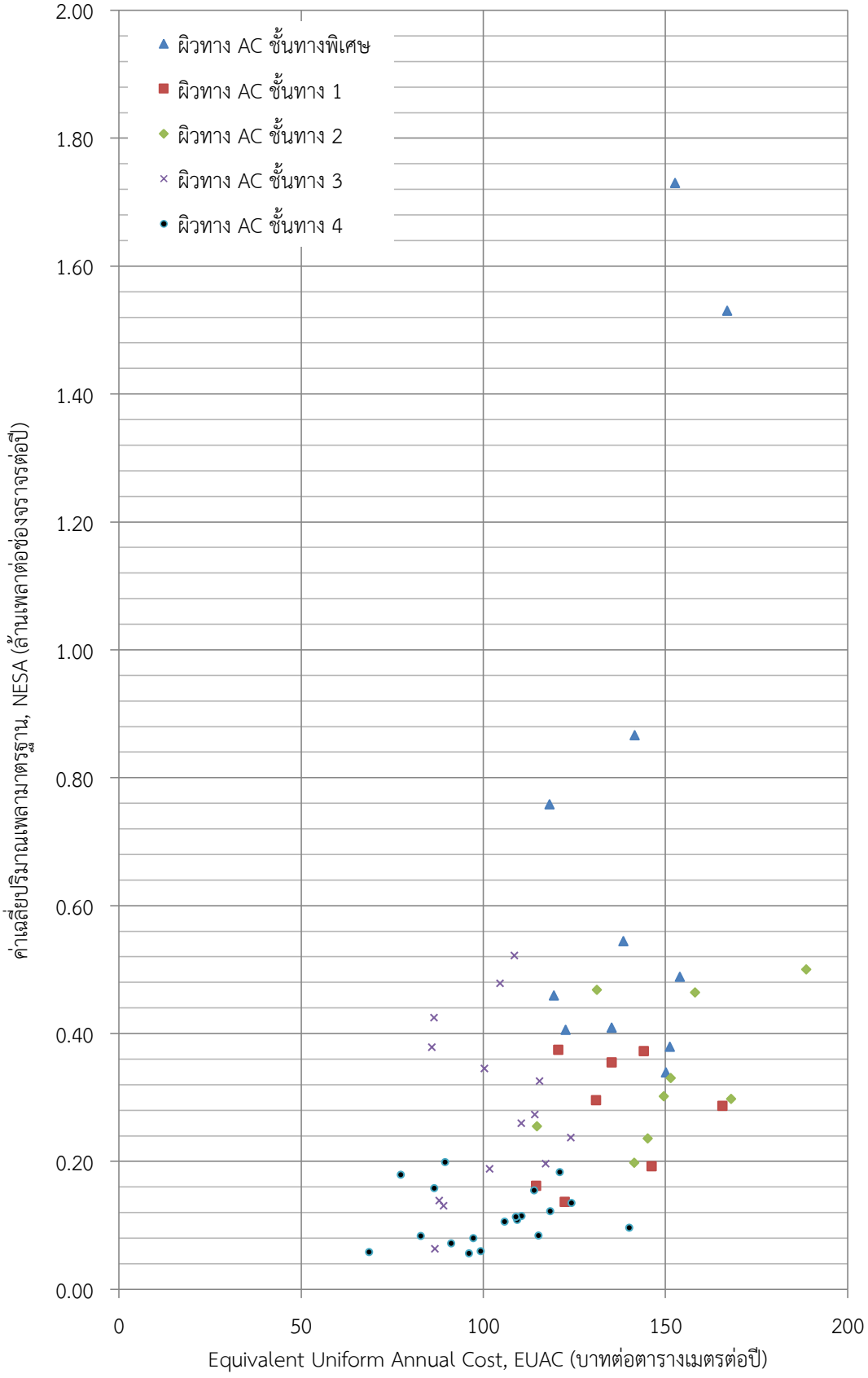
เมื่อนำผลจากการวิเคราะห์ถนนแอสฟัลต์ที่ได้ดังตารางที่ 4.2 มาวาดลงในแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่าเฉลี่ยปริมาณเพลาเพลามาตรฐาน (NESA) บนแกนตั้ง และค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) บนแกนนอน โดยจำแนกชุดข้อมูลออกตามมาตรฐานชั้นทาง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.1

จากแผนภาพเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ในภาพรวมพบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวมากและไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NESA และ EUAC ได้โดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะในสายทางที่เป็นมาตรฐานชั้นทางต่ำ เช่น สายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทาง 4 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ และทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยปริมาณเพลาเพลามาตรฐาน (NESA) ไม่เกิน 0.20 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี มีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ที่กระจายตัวในช่วงกว้างมาก ตั้งแต่ 70 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ถึง 140 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการดูแลรักษาที่แตกต่างกันของหน่วยงานในพื้นที่รับผิดชอบสายทางนั้นๆ แต่ทั้งนี้เนื่องจากในการศึกษาวิจัยนี้ไม่มีข้อมูลสภาพของถนน (Road Condition) ในอดีตอย่างต่อเนื่องจึงไม่อาจหาสาเหตุได้อย่างชัดเจน

ในชุดข้อมูลของสายทางตัวอย่างที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางสูง คือมาตรฐานชั้นทางพิเศษ ชั้นทาง 1 และชั้นทาง 2 ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยปริมาณเพลาเพลามาตรฐาน (NESA) มากกว่า 0.20 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปีขึ้นไป จากแผนภาพการกระจายพบว่ามาตรฐานชั้นทาง 2 มีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ที่กระจายตัวในช่วงกว้างมาก ตั้งแต่ 115 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ถึง 189 บาทต่อตารางเมตรต่อปี เมื่อเทียบกับการกระจายตัวของมาตรฐานชั้นทาง 1 และชั้นทางพิเศษ ซึ่งมีกระจายตัวของค่า EUAC ในช่วงที่แคบกว่าและใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า NESA จะเห็นได้ว่าสายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษ สามารถรองรับน้ำหนักจากปริมาณการจราจรได้สูงกว่าหลายเท่าตัว

โดยสรุปผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์ เมื่อเปรียบเทียบถนนแอสฟัลต์ที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นสูงพบว่า ถนนชั้นทางพิเศษจะมีความคุ้มค่า (Cost Effective) มากกว่าถนนชั้นทาง 1 โดยเฉพาะในถนนที่มีช่วงของค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) มากกว่า 0.20 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปีขึ้นไป หรือคิดเป็นจำนวนรถบรรทุกหนักตั้งแต่ประมาณ 400 คันต่อวันต่อช่องจราจรขึ้นไป ในขณะที่ถนนชั้นทางต่ำกว่า คือ ชั้นทาง 2 ถึงชั้นทาง 4 จะมีการกระจายตัวหรือความผันผวนของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมาก จึงไม่อาจหาข้อสรุปได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



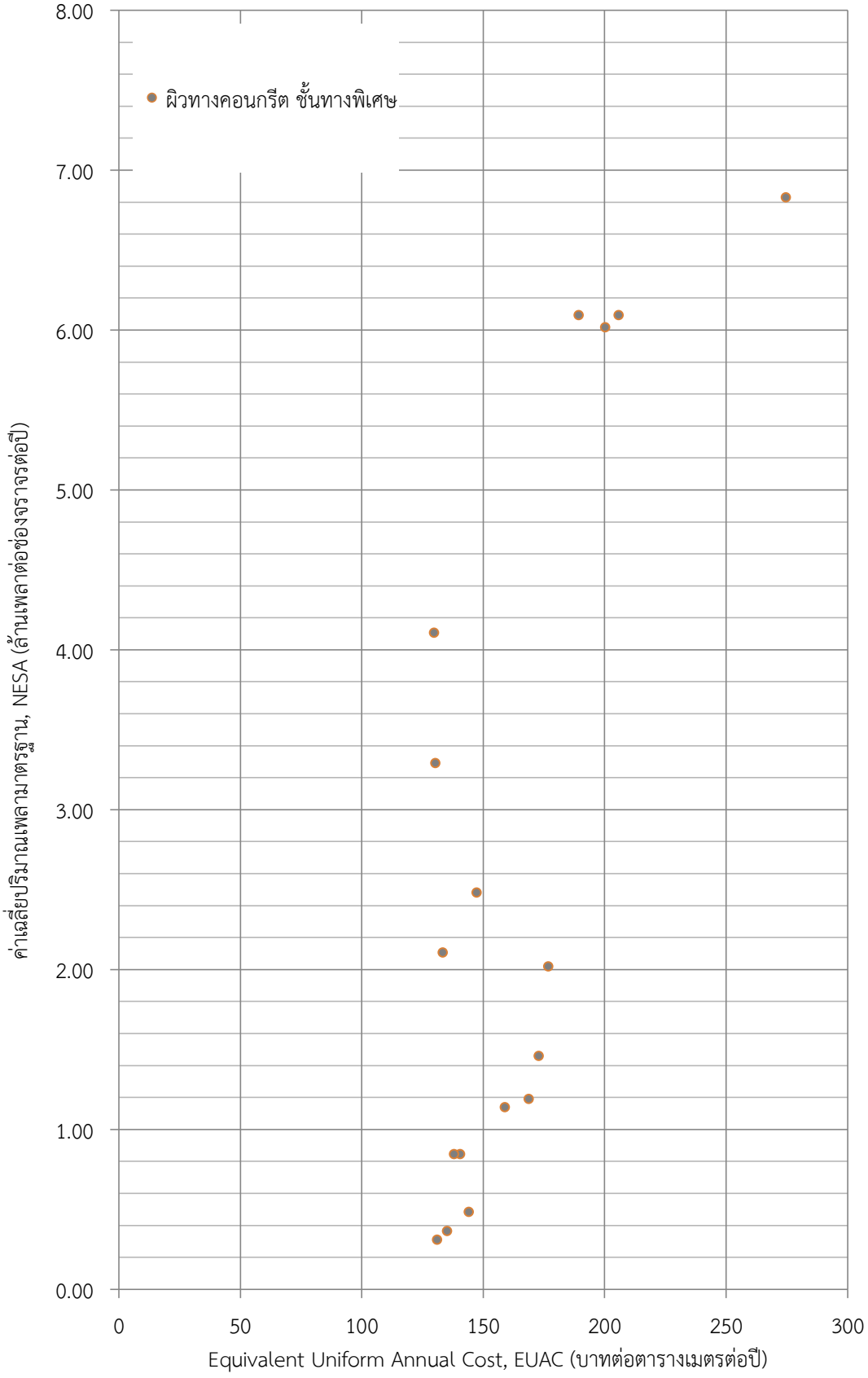
ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์

4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนคอนกรีต

การวิเคราะห์ผลในส่วนของถนนคอนกรีต จากข้อมูลสายทางตัวอย่างที่คัดเลือกมาได้ 17 สายทาง ซึ่งทั้งหมดเป็นสายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษ และสายทางตัวอย่างทั้งหมดมีอายุการใช้งานที่ใช้เป็นคาบเวลาในการวิเคราะห์ (Analysis Period) อยู่ระหว่าง 15 ปี ถึง 17 ปี มีผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) และค่าเฉลี่ยปริมาณเพลาเพลามาตรฐาน (NESA) แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ถนนคอนกรีต

ลำดับ	หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ระยะ (กม.)	ช่องจราจร	มูลค่า EUAC (บาท/ตร.ม./ปี)	ค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน, NESA (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)
1	3344	100	พิเศษ	9.711	6	130	4.106
2	3113	100	พิเศษ	6.397	6	130	3.291
3	2023	100	พิเศษ	9.806	2	131	0.309
4	303	100	พิเศษ	5.205	8	133	2.105
5	4016	200	พิเศษ	3.423	2	135	0.365
6	340	301	พิเศษ	22.650	4	138	0.846
7	340	200	พิเศษ	20.400	4	141	0.845
8	1	3101	พิเศษ	18.200	4	144	0.482
9	2	902	พิเศษ	12.895	4	147	2.482
10	11	1500	พิเศษ	15.000	4	159	1.138
11	2	901	พิเศษ	31.300	4	169	1.189
12	11	1600	พิเศษ	7.455	4	173	1.460
13	340	100	พิเศษ	16.700	4	177	2.019
14	1	302	พิเศษ	8.000	10	189	6.093
15	1	202	พิเศษ	10.000	10	200	6.017
16	1	302	พิเศษ	10.500	10	206	6.093
17	1	301	พิเศษ	8.000	10	275	6.830



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนคอนกรีต

จากแผนภาพที่ 4.2 แม้ว่าผลการวิเคราะห์ทั้งหมดจะไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยปริมาณเพลาเพลามาตรฐาน (NESA) และ ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ได้โดยตรง แต่เมื่อพิจารณาค่า NESA จะเห็นได้ว่าสายทางคอนกรีตทั้งหมดเป็นสายทางที่มีค่า NESA สูงมาก ในช่วงระหว่าง 0.37 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี ถึง 6.83 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นสายทางที่มีค่า NESA น้อยกว่า 4.10 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี มีค่า EUAC อยู่ในช่วงตั้งแต่ 130 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ถึง 177 บาทต่อตารางเมตรต่อปี และกลุ่มที่สองเป็นสายทางที่มีค่า NESA มากกว่า 6.00 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี มีค่า EUAC เพิ่มสูงขึ้นโดยเฉลี่ยมากกว่า 200 บาทต่อตารางเมตรต่อปี

4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต

เนื่องจากสายทางคอนกรีตที่ศึกษาทั้งหมดเป็นสายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษ การเปรียบเทียบกับสายทางแอสฟัลต์จึงพิจารณาเฉพาะสายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษเหมือนกันเท่านั้น โดยแบ่งเป็นผิวทางแอสฟัลต์จำนวน 11 สายทางและผิวทางคอนกรีตจำนวน 17 สายทาง มีผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) และค่าเฉลี่ยปริมาณเพลาเพลามาตรฐาน (NESA) แสดงดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าผิวทางคอนกรีตมีค่าเฉลี่ย EUAC ที่สูงกว่าเล็กน้อย

จากแผนภาพที่ 4.3 จะพบว่าตั้งแต่ค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) มากกว่า 1.8 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปีขึ้นไป หรือคิดเป็นจำนวนรถบรรทุกหนักตั้งแต่ 3,300 คันต่อวันต่อช่องจราจรขึ้นไป จะไม่มีข้อมูลของสายทางแอสฟัลต์ การวิเคราะห์จากแผนภาพเพื่อเปรียบเทียบระหว่างผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีตจึงพิจารณาเฉพาะช่วงที่ค่า NESA อยู่ต่ำกว่า 1.8 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี ซึ่งพบว่าผิวทางทั้งสองชนิดมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีตลอดอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าอายุในการวิเคราะห์ของสายทางทั้งหมดอยู่ในช่วงแค่ระหว่าง 15 ปี ถึง 17 ปี

ประเด็นสำคัญที่ควรกล่าวถึงที่นี้ด้วยคือ ข้อจำกัดของระยะเวลาการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ซึ่งจากเอกสารและงานวิจัยในต่างประเทศพบว่าอายุการใช้งาน (Service Life) ของถนนแอสฟัลต์จะอยู่ระหว่าง 20-30 ปี ส่วนถนนคอนกรีตจะมีอายุการใช้งานอยู่ระหว่าง 30-40 ปี (Federal Highway Administration, 2007) ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวมากกว่าอายุของสายทางตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์พอสมควร แต่ข้อสังเกตที่พบทั้งหมดคือ ถนนคอนกรีตจะมีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยยืนยาวกว่าผิวทางลาดยางมากกว่า 10 ปี ดังนั้นถ้าทำการวิเคราะห์จนถึง 30 ปี ถนนคอนกรีตจะมีแนวโน้มของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่น้อยกว่าถนนแอสฟัลต์และยังคงเหลือระยะเวลาการใช้งานต่อไปอีก

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทดลองนำค่า EUAC หารด้วย NESA เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิผลของค่าใช้จ่ายต่อการรองรับปริมาณเพลามาตรฐานในการเปรียบเทียบถนนทั้งสองชนิด ซึ่งค่า EUAC/NESA มีหน่วยเป็นบาทต่อตารางเมตรต่อล้านเพลาต่อช่องจราจร สามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของค่าใช้จ่ายที่หน่วยงานจะต้องใช้ในการรองรับการจราจรที่ปริมาณ 1 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี ซึ่งเมื่อสายทางที่มีค่า EUAC/NESA ต่ำ ย่อมหมายถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ต่อปีต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณเพลาที่ต้องรองรับจำนวนเท่ากัน สะท้อนถึงความคุ้มค่าในการใช้จ่ายเงิน

หากพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย EUAC/NESA ของผิวทางทั้งสองชนิด พบว่า ผิวทางคอนกรีตมีค่าต่ำกว่ามาก แสดงให้เห็นว่าผิวทางคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีตลอดอายุการใช้งานต่อการรองรับปริมาณเพลามาตรฐานที่ต่ำกว่า อีกข้อสังเกตที่พบจากผลการวิเคราะห์คือ ผิวทางคอนกรีตสามารถรองรับการจราจรตั้งแต่ค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) 6.00 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี ขึ้นไป แม้จะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีตลอดอายุการใช้งานสูงมากขึ้นไปอีก แต่ค่าใช้จ่ายต่อการรองรับปริมาณเพลามาตรฐาน (EUAC/NESA) กลับมีค่าต่ำลงมาก แสดงถึงความคุ้มค่าในการใช้จ่ายของถนนคอนกรีตที่มากกว่า

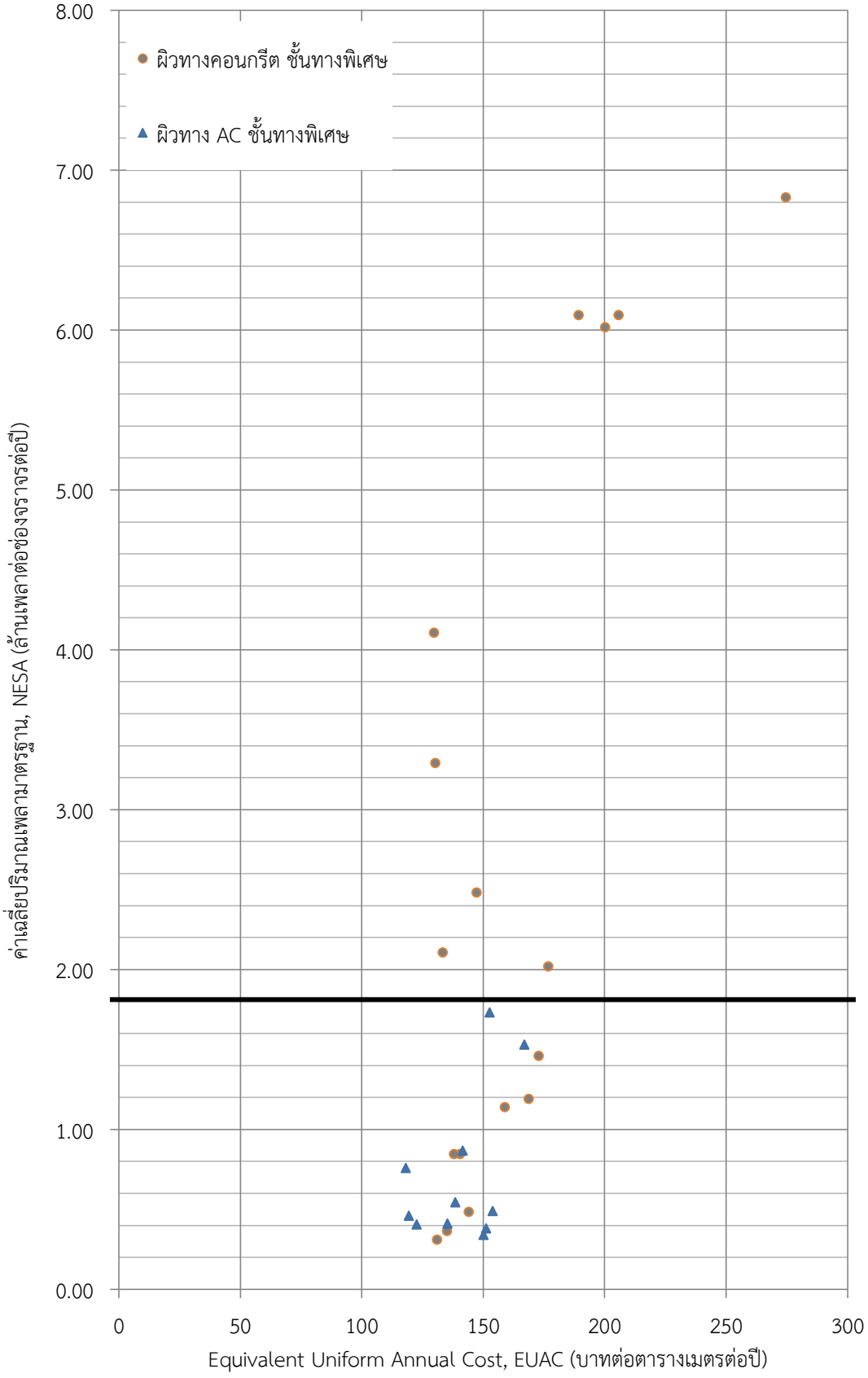
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ถนนแอสฟัลต์มาตรฐานชั้นทางพิเศษ

ลำดับ	หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	มูลค่า EUAC (บาท/ตร.ม./ปี)	ค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน, NESA (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)	EUAC/NESA (บาท/ตร.ม. ต่อล้านเพลา/ช่องจราจร)
1	304	300	153	1.729	88.490
2	4	1000	167	1.530	109.150
3	3	701	118	0.758	155.673
4	4	900	142	0.866	163.972
5	1	2801	138	0.544	253.676
6	3	1202	119	0.459	259.259
7	4016	200	123	0.405	303.704
8	43	101	154	0.488	315.574
9	3	900	135	0.409	330.073
10	1	803	151	0.379	398.417
11	212	1100	150	0.339	442.478
ค่าเฉลี่ย			**141**	**ค่าเฉลี่ย**	**256.406**

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ถนนคอนกรีตมาตรฐานชั้นทางพิเศษ

ลำดับ	หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	มูลค่า EUAC (บาท/ตร.ม./ปี)	ค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน, NESA (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)	EUAC/NESA (บาท/ตร.ม. ต่อล้านเพลา/ช่องจราจร)
1	3344	100	130	4.106	31.661
2	3113	100	130	3.291	39.502
3	2023	100	131	0.309	423.948
4	303	100	133	2.105	63.183
5	4016	200	135	0.365	369.863
6	340	301	138	0.846	163.121
7	340	200	141	0.845	166.864
8	1	3101	144	0.482	298.755
9	2	902	147	2.482	59.226
10	11	1500	159	1.138	139.719
11	2	901	169	1.189	142.136
12	11	1600	173	1.460	118.493
13	340	100	177	2.019	87.667
14	1	302	189	6.093	31.019
15	1	202	200	6.017	33.239
16	1	302	206	6.093	33.809
17	1	301	275	6.830	40.264
ค่าเฉลี่ย			**163**	**ค่าเฉลี่ย**	**131.910**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานระหว่างถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต

จากข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ณ ปีสุดท้ายที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงถึงระดับการให้บริการของสายทาง ค่า IRI ของสายทางแอสฟัลต์แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่ามีค่า IRI ต่ำกว่า 3.00 เมตรต่อกิโลเมตรทั้งหมด ซึ่งที่ค่า IRI สูงกว่า 3.00 เมตรต่อกิโลเมตร จะเป็นตัวแปรหนึ่ง ณ จุดตัดสินใจของเกณฑ์ในการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาหรือการบูรณะผิวทางลาดยางของกรมทางหลวง แสดงให้เห็นว่าสภาพสายทางแอสฟัลต์ ณ ปีที่ 15 ถึงปีที่ 17 ก็ยังคงสามารถรองรับการใช้งานตามปกติ

ตารางที่ 4.6 ค่า IRI ณ ปีสุดท้ายที่วิเคราะห์ของผิวทางแอสฟัลต์

ทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	อายุ (ปี)	IRI (เมตร/กิโลเมตร)
1	803	พิเศษ	17	2.95
1	2801	พิเศษ	16	2.97
3	701	พิเศษ	16	2.56
3	900	พิเศษ	15	2.63
3	1202	พิเศษ	15	2.22
4	900	พิเศษ	15	2.75
4	1000	พิเศษ	15	2.36
43	101	พิเศษ	15	2.46
212	1100	พิเศษ	16	2.57
304	300	พิเศษ	16	2.42
4016	200	พิเศษ	15	2.16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในทางเดียวกันค่า IRI ณ ปีสุดท้ายที่ทำการวิเคราะห์ของสายทางคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่ามีค่า IRI ต่ำกว่า 4.50 เมตรต่อกิโลเมตรทั้งหมด ซึ่งที่ค่า IRI สูงกว่า 4.50 เมตรต่อกิโลเมตร จะเป็นตัวแปรหนึ่ง ณ จุดตัดสินใจของเกณฑ์ในการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาหรือการบูรณะผิวทางคอนกรีตของกรมทางหลวง แสดงให้เห็นว่าสภาพสายทางคอนกรีต ณ ปีที่ 15 ถึงปีที่ 17 ก็ยังคงสามารถรองรับการใช้งานตามปกติเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.7 ค่า IRI ณ ปีสุดท้ายที่วิเคราะห์ของผิวทางคอนกรีต

ทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	อายุ (ปี)	IRI (เมตร/กิโลเมตร)
1	202	พิเศษ	17	2.87
1	301	พิเศษ	17	2.2
1	302	พิเศษ	17	3.12
1	302	พิเศษ	17	3.12
1	3101	พิเศษ	15	ไม่มีข้อมูล
2	901	พิเศษ	15	2.4
2	902	พิเศษ	16	2.15
11	1500	พิเศษ	16	2.72
11	1600	พิเศษ	16	2.13
303	100	พิเศษ	15	4.46
340	100	พิเศษ	16	2.94
340	200	พิเศษ	16	2.6
340	301	พิเศษ	16	ไม่มีข้อมูล
2023	100	พิเศษ	16	2.89
3113	100	พิเศษ	16	4.33
3344	100	พิเศษ	17	3.19
4016	200	พิเศษ	15	2.16

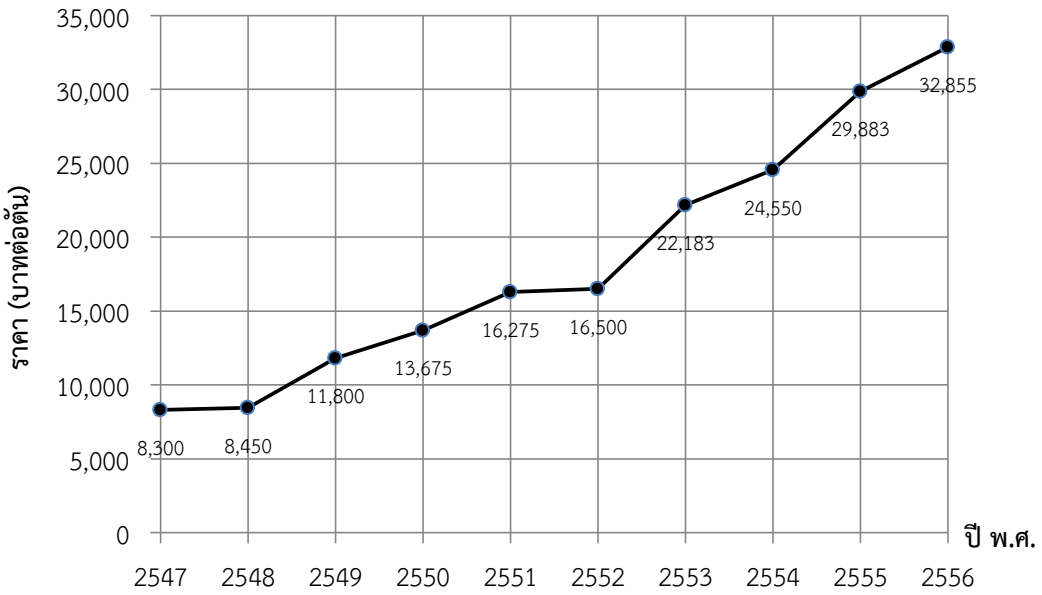
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากสมมติฐานที่คาดไว้ว่าสายทางที่เป็นผิวทางคอนกรีตส่วนใหญ่จะเป็นสายทางที่รองรับปริมาณรถบรรทุกหนักจำนวนมาก และยิ่งสายทางมีปริมาณรถบรรทุกหนักมากผิวทางคอนกรีตจะยิ่งมีความคุ้มค่ามากกว่า ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ไม่พบว่ามีถนนแอสฟัลต์ที่รองรับน้ำหนักจราจรมากกว่า 1.8 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปีขึ้นไป หรือคิดเป็นจำนวนรถบรรทุกหนักตั้งแต่ 3,300 คันต่อวันต่อช่องจราจร ขณะที่ถนนคอนกรีตที่วิเคราะห์สามารถรองรับปริมาณรถบรรทุกหนักได้สูงกว่าปริมาณดังกล่าวมาก

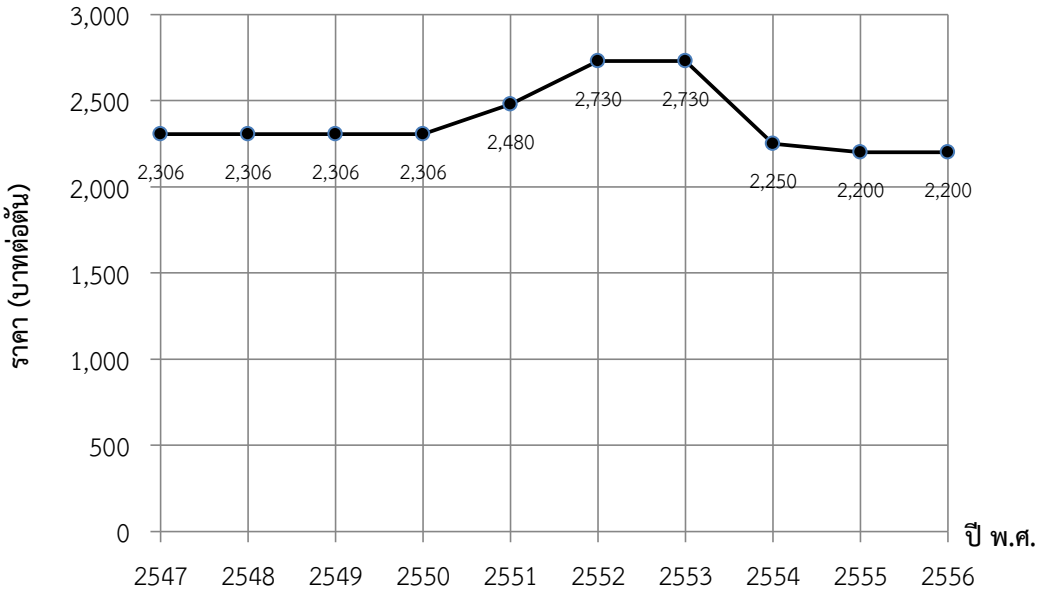
นอกจากนี้ ผู้วิจัยจึงทดลองสืบค้นดัชนีราคาย้อนหลัง โดยใช้ราคายางแอสฟัลต์ เกรด AC – 60/70 เป็นตัวแทนวัสดุของถนนแอสฟัลต์ กับราคาปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1 และราคาเหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย เป็นตัวแทนวัสดุของถนนคอนกรีต

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าราคายางแอสฟัลต์ย้อนหลัง 10 ปี มีการเปลี่ยนแปลงสูงมาก โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นทุกปี เมื่อเทียบราคา ณ ปัจจุบัน กับ ราคา ณ 10 ปีที่แล้ว มีการเพิ่มขึ้นเกือบ 300% หรือโดยเฉลี่ยประมาณ 30% ต่อปี ซึ่งกระบวนการผลิตแอสฟัลต์เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม โดยมีน้ำมันดิบเป็นวัตถุตั้งต้น และมีการผันผวนของราคาน้ำมันตามตลาดโลก ในทางตรงข้ามเมื่อเปรียบเทียบกับราคาปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์และราคาเหล็กเส้นข้ออ้อยย้อนหลัง 10 ปี ดังภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าราคาค่อนข้างคงที่ มีความผันผวนเล็กน้อยในบางปี ซึ่งเมื่อเทียบราคา ณ ปัจจุบัน กับ ราคา ณ 10 ปีที่แล้ว มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

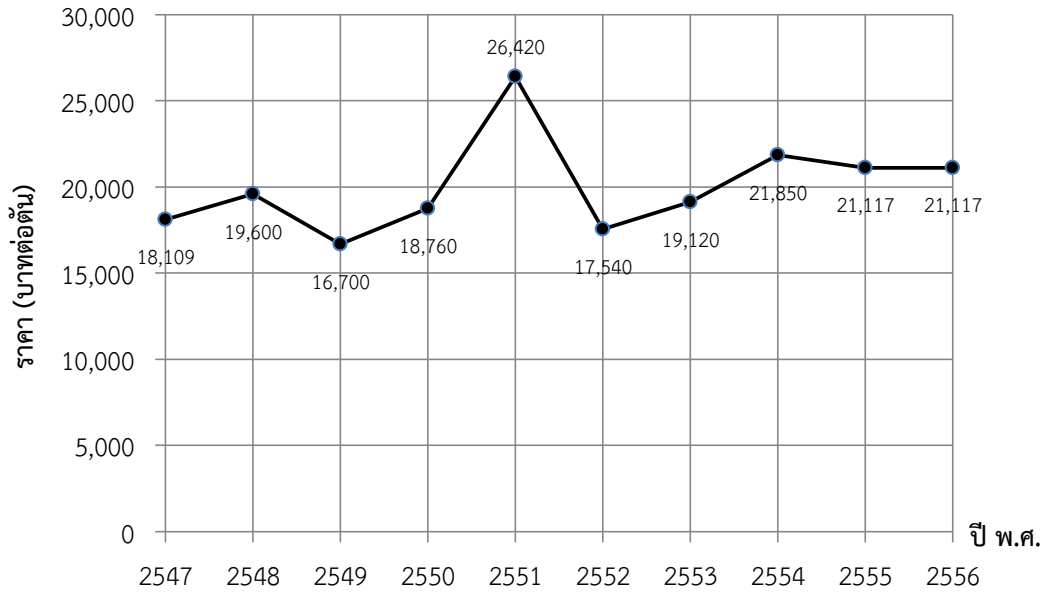
เนื่องจากงาวิจัยนี้ได้ใช้ราคากลาง ณ ปี พ.ศ. 2556 เป็นฐานในการวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์พบว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกัน ซึ่งจะเห็นว่าราคายางแอสฟัลต์นั้นปรับเพิ่มขึ้นมาโดยตลอด ดังนั้นถ้าวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโดยใช้ราคาในอดีต ถนนแอสฟัลต์น่าจะมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ประหยัดกว่าถนนคอนกรีตอย่างเห็นได้ชัด จึงไม่เป็นที่น่าแปลกใจว่า ในประเทศไทยมีถนนลาดยางมากกว่าร้อยละ 90 ของระยะทางทางหลวงทั้งประเทศ



ภาพที่ 4.4 ราคายางแอสฟัลต์ เกรด AC - 60/70 ย้อนหลัง 10 ปี (สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2557)



ภาพที่ 4.5 ราคาปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ย้อนหลัง 10 ปี
(สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2557)



ภาพที่ 4.6 ราคาเหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย SD-30 ย้อนหลัง 10 ปี
(สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2557)

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต สามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

- ถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีตที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษและรองรับน้ำหนักจราจรโดยมีค่าปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) ในช่วงต่ำกว่า 1.8 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ตลอดอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน
- แม้ว่าผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบจะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ตลอดอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน แต่คาบเวลาของการวิเคราะห์สายทางทั้งหมดอยู่ระหว่าง 15 ปี ถึง 17 ปี เท่านั้น และสายทางตัวอย่างทั้งหมดยังคงอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ซึ่งโดยปกติถนนคอนกรีตจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าถนนแอสฟัลต์ประมาณ 10 ปีขึ้นไป จึงถือเป็นข้อได้เปรียบหนึ่งของถนนคอนกรีต
- หากพิจารณาประสิทธิภาพของค่าใช้จ่ายในการรองรับการจราจร หรือค่า EUAC/NESA ของผิวทางทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยจะเห็นว่า ผิวทางคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก แสดงถึงความคุ้มค่าในการใช้จ่ายของถนนคอนกรีตที่มากกว่า

แม้ว่าจากผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะแสดงให้เห็นว่า ถนนคอนกรีตนั้นเหมาะสมและคุ้มค่าสำหรับทางที่ต้องรองรับปริมาณการจราจรสูงมาก แต่ในทางปฏิบัติโดยแท้จริงแล้วค่าใช้จ่ายของการก่อสร้างและบำรุงรักษานั้น มีความผันแปรตามขนาดของโครงการและสถานที่ตั้งอยู่พอสมควร ตัวเลขจากการวิเคราะห์นี้จึงไม่อาจสะท้อนถึงราคาที่แท้จริงที่หน่วยงานจะต้องจ่าย หากแต่เป็นเพียงมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบในฐานคิดเดียวกันเท่านั้น

ทั้งนี้การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost Analysis) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญในการช่วยตัดสินใจเลือกแนวทางในการลงทุนหรือการก่อสร้างโครงการ อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ดังกล่าวแล้ว ยังคงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ เพื่อความเหมาะสมประกอบกันด้วย ทั้งในด้านวิศวกรรม ด้านความปลอดภัย รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวคิดของการพัฒนาเพื่อความยั่งยืน (Sustainability) ตัวอย่างของปัจจัยอื่นๆที่อาจส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกชนิดผิวทางสรุปพอสังเขปได้ คือ ด้านวิศวกรรม เช่น สภาพดินเดิมหรือเรขาคณิตของแนวถนน ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างหรือบำรุงรักษา การเข้าถึงแหล่งวัสดุ ด้านความปลอดภัย เช่น ความเสียดทานของผิวทาง ทัศนวิสัยหรือการสะท้อนแสงของผิวทางในเวลากลางคืน และด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษในกระบวนการผลิตวัสดุและการก่อสร้าง การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ประเด็นเรื่องเสียงรบกวนจากการจราจร เป็นต้น

4.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เป็นการทดสอบผลที่ได้จากการวิเคราะห์บนการประมาณค่า โดยการแทนที่ข้อสมมติหรือตัวเลขตัวใหม่ ซึ่งแตกต่างไปจากเดิมในระดับที่กำหนดหรือต้องการทดสอบ ลงไปแทนข้อสมมติหรือตัวเลขที่ใช้อยู่เดิม และทำการคำนวณใหม่อีกครั้ง แล้วพิจารณาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ว่าแตกต่างไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด ซึ่งการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในงานวิจัยนี้ ตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์คือราคาต่อหน่วยของการก่อสร้างและบำรุงรักษา ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ราคากลาง ณ ปี พ.ศ. 2556 เป็นฐานในการวิเคราะห์

หากพิจารณาองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีตที่มาตรฐานชั้นทางพิเศษ ณ ปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จะพบว่า ในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์มีค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่เป็นราคายางแอสฟัลต์ประมาณครึ่งหนึ่ง รองลงมาเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เช่น ค่าปูผิวและค่าบดอัด ประมาณร้อยละ 18 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของราคายางแอสฟัลต์จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์อย่างมีนัยสำคัญ ในทางเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของราคาปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของการก่อสร้างถนนคอนกรีต ก็จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

ตารางที่ 4.8 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต

รายการค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์	สัดส่วนราคา (ร้อยละ)	รายการค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนคอนกรีต	สัดส่วนราคา (ร้อยละ)
ค่ายางแอสฟัลต์	49.72	ค่าปูนซีเมนต์	44.69
ค่าวัสดุมวลรวม	9.90	ค่าวัสดุมวลรวม	18.22
ค่าวัสดุหินคลุกพื้นทาง	12.44	ค่าวัสดุหินคลุกพื้นทาง	12.49
ค่าวัสดุดินลูกรังรองพื้นทาง	10.31	ค่าเหล็กเสริมคอนกรีต	11.56
ค่าดำเนินการ (เครื่องจักร+แรงงาน)	17.63	ค่าดำเนินการ (เครื่องจักร+แรงงาน)	6.13
		ค่าทรายรองผิวคอนครีต	2.84
		ค่าวัสดุรอยต่อ	2.81
รวม	100.00	รวม	100.00

ทั้งนี้ จากข้อมูลสถิติของดัชนีราคาย้อนหลังดังที่ได้แสดงไว้พบว่า ราคายางแอสฟัลต์มีการเปลี่ยนแปลงสูงมาก โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นทุกปี ขณะที่ราคาปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์และราคาเหล็กเส้นข้ออ้อยค่อนข้างคงที่ ผู้วิจัยจึงทดสอบผลการศึกษาด้วยการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

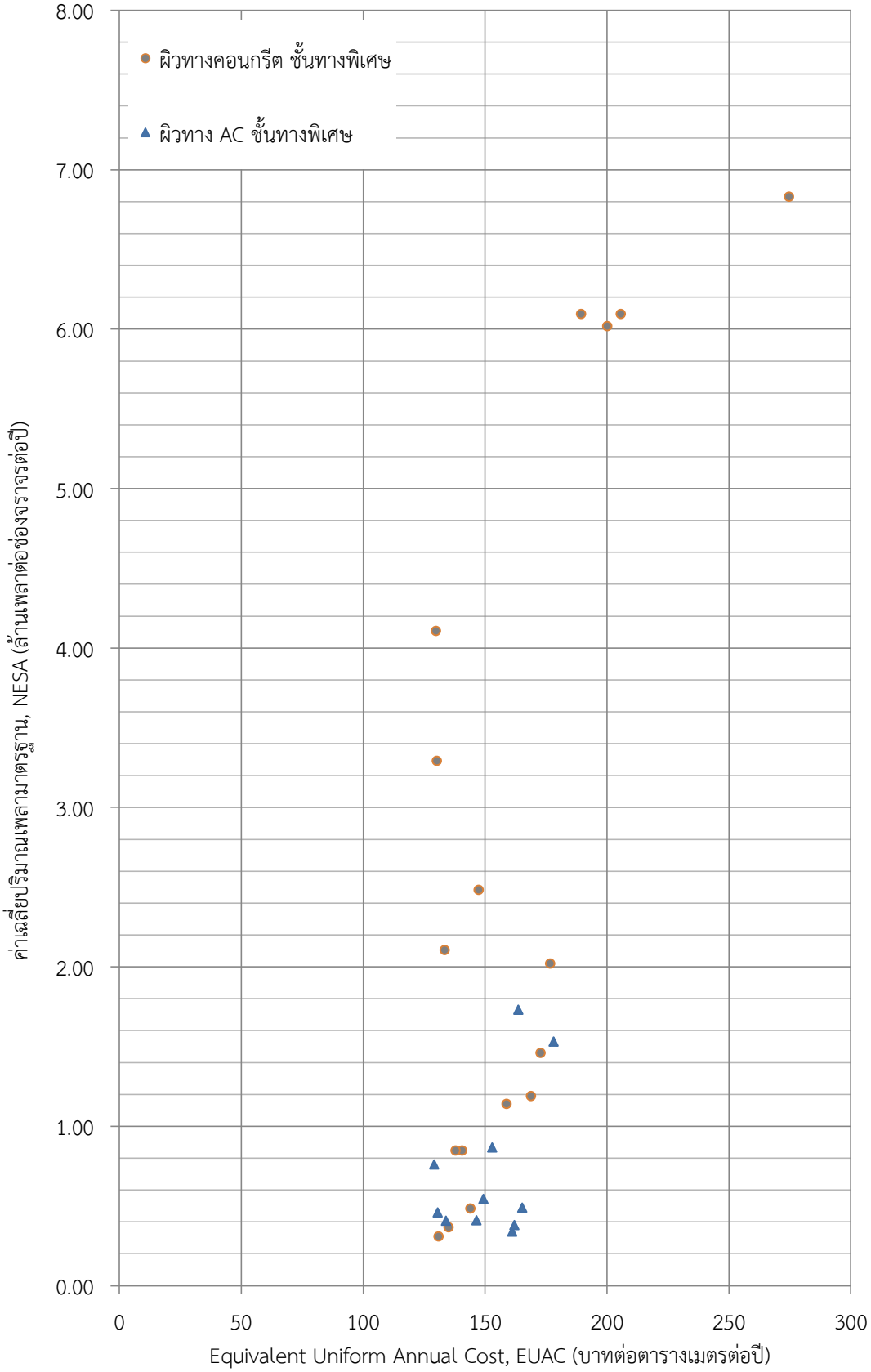
(Sensitivity Analysis) โดยการทดลองปรับราคาก่อสร้างของถนนแอสฟัลต์ให้เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 10% และ 20% ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบแนวโน้มของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางทั้งสองชนิด

ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ของสายทางแอสฟัลต์จากเดิมที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับค่า EUAC ของสายทางคอนกรีต ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว จากการปรับราคาก่อสร้างและบำรุงรักษาของถนนแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น 10% แสดงดังภาพที่ 4.7 ซึ่งเห็นได้ว่าค่า EUAC ของสายทางแอสฟัลต์จะขยับมากขึ้นกว่าเดิมอีกเล็กน้อยแต่ยังคงมีช่วงของราคาที่ใกล้เคียงและทับซ้อนกันกับค่า EUAC ของสายทางคอนกรีตอยู่พอสมควร แสดงให้เห็นถึงถนนแอสฟัลต์เริ่มจะไม่มีความคุ้มค่าของราคาเมื่อเทียบกับถนนคอนกรีต

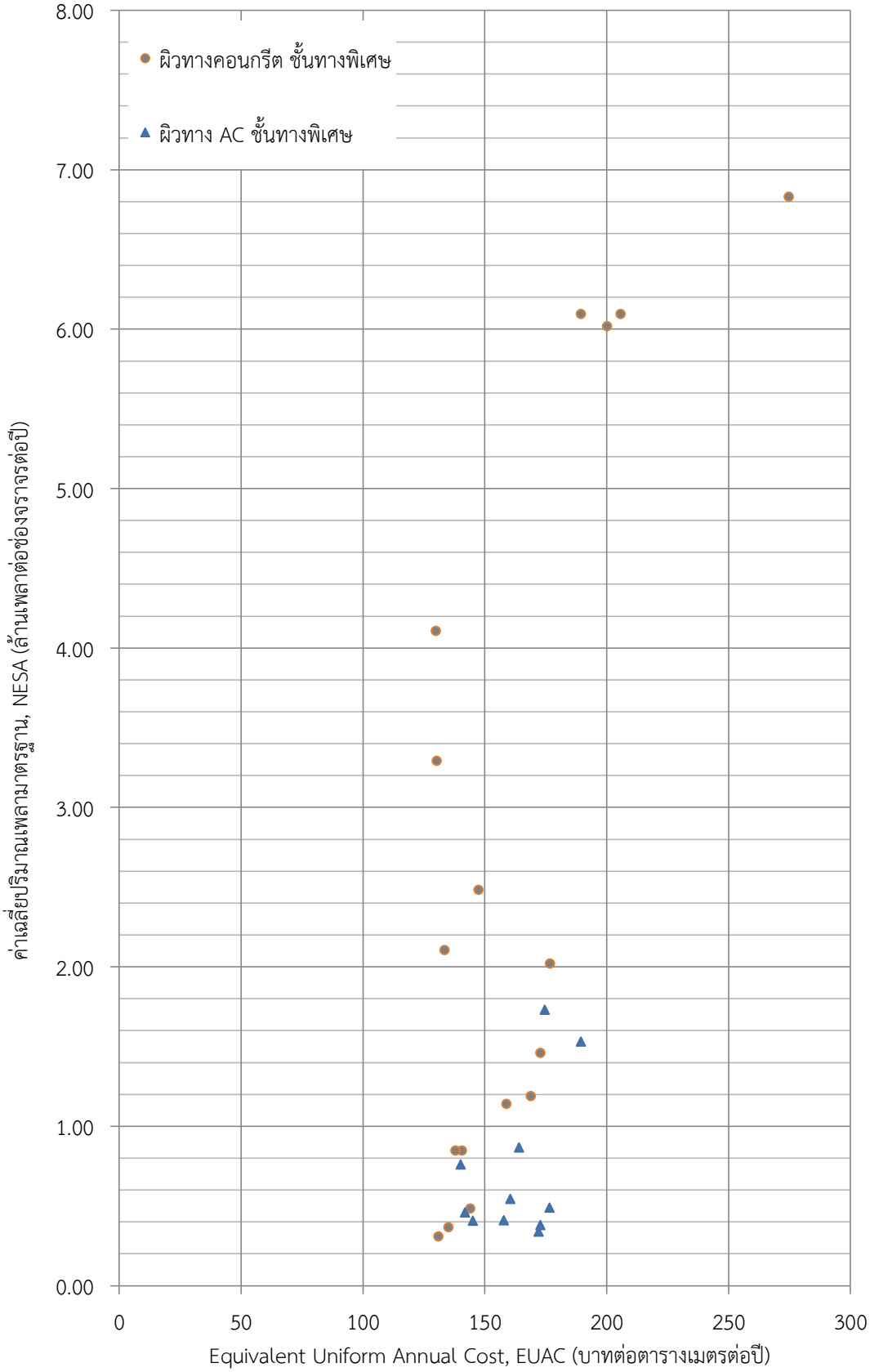
ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่อทดลองปรับราคาก่อสร้างของสายทางแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นเป็น 20% แสดงดังภาพที่ 4.8 ซึ่งเห็นได้ชัดว่าค่า EUAC ของสายทางแอสฟัลต์จะขยับมากขึ้นกว่าสายทางคอนกรีตในทุกตัวอย่าง ที่ระดับปริมาณเพลามาตรฐานเดียวกัน แสดงว่าหากราคาของถนนแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นจากเดิม 20% โดยที่ราคาของถนนคอนกรีตไม่เปลี่ยนแปลง การสร้างถนนคอนกรีตจะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีตลอดอายุการใช้งานที่ประหยัดกว่าการสร้างถนนแอสฟัลต์อย่างชัดเจน แม้ว่าจะมีอายุการใช้งานหรือใช้คาบเวลาวิเคราะห์เพียงแค่ 15 ปี ถึง 17 ปี

ทั้งนี้จากแนวโน้มราคายางแอสฟัลต์จะเห็นว่ามีอัตราการเติบโตของราคาที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งในอนาคตอันใกล้นี้ ที่ราคาก่อสร้างต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์จะแพงกว่าผิวทางคอนกรีต ยังไม่รวมไปถึงค่าใช้จ่ายของการบำรุงรักษาที่วัตถุดิบส่วนใหญ่ก็เป็นยางแอสฟัลต์เช่นเดียวกัน ส่งผลให้การเลือกชนิดผิวทางเป็นคอนกรีตจะมีความคุ้มค่ามากกว่าอย่างชัดเจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว เมื่อราคาถนนแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น 10%



ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว เมื่อราคาถนนแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น 20%

4.7 สรุป

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทางตัวอย่างแบ่งเป็นสายทางแอสฟัลต์และสายทางสายทางคอนกรีต การวิเคราะห์นี้ใช้พารามิเตอร์แสดงผลเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิในรูปแบบของค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) ร่วมกับค่าจำนวนเพลามาตรฐาน (NESA) เป็นตัวแทนของปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นในแต่ละปี โดยนำพารามิเตอร์ดังกล่าวมาวาดลงในแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) และจำแนกชุดข้อมูลออกตามมาตรฐานชั้นทาง ซึ่งจากแผนภาพเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ในภาพรวมพบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวมากและไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NESA และ EUAC ได้โดยตรง อย่างไรก็ดีจากแผนภาพดังกล่าวสามารถเป็นเครื่องมือช่วยในการอภิปรายผลการวิเคราะห์ในช่วงข้อมูลต่างๆได้

ผลการวิเคราะห์ในส่วนของถนนแอสฟัลต์ จากข้อมูลสายทางตัวอย่างที่คัดเลือกมา 61 สายทาง ประกอบด้วยสายทางต่างๆทั้ง 5 มาตรฐานชั้นทางพบว่า เมื่อเปรียบเทียบถนนแอสฟัลต์ที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นสูง เช่น ถนนชั้นทางพิเศษและถนนชั้นทาง 1 พบว่า มีการกระจายตัวของค่า EUAC ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า NESA จะพบว่า สายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษ สามารถรองรับน้ำหนักจากปริมาณการจราจรได้สูงกว่าหลายเท่าตัว ถนนชั้นทางพิเศษจึงมีความคุ้มค่า (Cost Effective) มากกว่าถนนชั้นทาง 1 ในถนนที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) มากกว่า 0.20 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปีขึ้นไป หรือคิดเป็นจำนวนรถบรรทุกหนักตั้งแต่ประมาณ 400 คันต่อวันต่อช่องจราจรขึ้นไป ในขณะที่สายทางที่เป็นมาตรฐานชั้นทางต่ำกว่า เช่น สายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทาง 4 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ และทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยปริมาณเพลาเพลามาตรฐาน (NESA) ไม่เกิน 0.20 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ที่กระจายตัวในช่วงกว้างมาก ตั้งแต่ 70 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ถึง 140 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการดูแลรักษาที่แตกต่างกันของหน่วยงานในพื้นที่รับผิดชอบสายทางนั้นๆ แต่ทั้งนี้เนื่องจากในการศึกษาวิจัยนี้ไม่มีข้อมูลสภาพของถนน (Road Condition) ในอดีตอย่างต่อเนื่องจึงไม่อาจหาข้อสรุปได้อย่างชัดเจน

เนื่องจากสายทางคอนกรีตที่ศึกษาทั้งหมดที่คัดเลือกมาเป็นสายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษ การเปรียบเทียบกับสายทางแอสฟัลต์พิจารณาเฉพาะสายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษเหมือนกันเท่านั้น โดยแบ่งเป็นผิวทางแอสฟัลต์จำนวน 11 สายทางและผิวทางคอนกรีตจำนวน 17 สายทาง ซึ่งผลจากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต พบว่า ถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีตที่รองรับน้ำหนักจราจรโดยมีค่าปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) ในช่วงต่ำกว่า 1.8 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ตลอดอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าคาบเวลาของการวิเคราะห์สายทางทั้งหมดอยู่ระหว่าง 15 ปี ถึง 17 ปี เท่านั้น และสายทางตัวอย่างทั้งหมดยังคงอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ซึ่งโดยปกติ

ถนนคอนกรีตจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าถนนแอสฟัลต์ประมาณ 10 ปีขึ้นไป จึงถือเป็นข้อได้เปรียบหนึ่งของถนนคอนกรีต นอกจากนี้หากพิจารณาประสิทธิภาพของค่าใช้จ่ายในการรองรับการจราจร หรือค่า EUAC/NESA ของผิวทางทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยจะพบว่า ผิวทางคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก แสดงถึงความคุ้มค่าในการใช้จ่ายของถนนคอนกรีตที่มากกว่า

จากองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์จะพบว่า มีค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่เป็นราคายางแอสฟัลต์ประมาณครึ่งหนึ่ง ขณะที่การก่อสร้างถนนคอนกรีตก็มีค่าใช้จ่ายหลักคือราคาปูนซีเมนต์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของราคาวัตถุดิบดังกล่าวก็จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการสืบค้นดัชนีราคายางแอสฟัลต์และราคาปูนซีเมนต์ย้อนหลัง พบว่า ราคายางแอสฟัลต์มีอัตราการเพิ่มขึ้นของราคาอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ราคาปูนซีเมนต์กลับไม่มีความเปลี่ยนแปลงมากนัก ผู้วิจัยจึงทดสอบผลการศึกษาด้วยการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) โดยการทดลองปรับราคาก่อสร้างของถนนแอสฟัลต์ให้เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 10% และ 20% ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบแนวโน้มของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางทั้งสองชนิด

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่อทดลองปรับราคาก่อสร้างของสายทางแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นเป็น 20% พบว่าค่า EUAC ของสายทางแอสฟัลต์จะขยับมากขึ้นกว่าสายทางคอนกรีตในทุกตัวอย่าง ที่ระดับปริมาณเพลามาตรฐานเดียวกัน แสดงว่าหากราคาของถนนแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นจากเดิม 20% โดยที่ราคาของถนนคอนกรีตไม่เปลี่ยนแปลง การสร้างถนนคอนกรีตจะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีตลอดอายุการใช้งานที่ประหยัดกว่าการสร้างถนนแอสฟัลต์อย่างชัดเจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันการเดินทางและการขนส่งสินค้าภายในประเทศยังคงใช้การคมนาคมทางถนนเป็นรูปแบบหลัก อีกทั้งจากสถิติจำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นทุกๆปี ย่อมส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการจราจรบนท้องถนนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่ความจำเป็นในการสร้างถนนสายทางใหม่หรือปรับปรุงสภาพถนนที่มีอยู่เดิม ทั้งนี้การก่อสร้างถนนและบำรุงรักษาสภาพทางให้สามารถรองรับการใช้บริการได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย เป็นความรับผิดชอบของภาครัฐที่ต้องจัดทำขึ้นเพื่อเป็นบริการสาธารณะ ซึ่งต้องใช้งบประมาณในแต่ละปีเป็นเงินจำนวนมาก ทางหลวงในปัจจุบันที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทมีความยาวกว่า 100,000 กิโลเมตร แบ่งเป็นระยะทางของผิวทางลาดยางประมาณร้อยละ 90 และผิวทางคอนกรีตประมาณร้อยละ 10 และผิวทางลูกรังจำนวนเล็กน้อย ซึ่งถนนที่ทำด้วยผิวทางลูกรังจะมีความแข็งแรงไม่มากนัก เนื่องจากถูกออกแบบสำหรับทางที่ใช้สัญจรในชนบท มีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีไม่เกิน 300 คันต่อวันต่อปีเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงมีเพียงผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตที่สามารถรองรับปริมาณการจราจรระดับปานกลางถึงระดับสูงได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าทางหลวงส่วนใหญ่ของประเทศไทยเป็นผิวทางลาดยาง แต่ถนนในเขตเมืองที่มีปริมาณการจราจรสูง หรือเส้นทางที่เป็นทางผ่านเขตโรงงานอุตสาหกรรมมักก่อสร้างด้วยผิวทางคอนกรีต โดยเป็นที่ทราบทั่วไปถึงคุณสมบัติของผิวทางทั้งสองประเภทว่า ผิวทางคอนกรีตมีความคงทนแข็งแรงและสามารถรับปริมาณการจราจรที่สูงได้ดีกว่าผิวทางลาดยาง แต่ทั้งนี้ก็มีค่าก่อสร้างต่อหน่วยและค่าบูรณะที่สูงกว่าผิวทางลาดยาง

จากปัญหาในปัจจุบันพบว่า ไม่ปรากฏหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการคัดเลือกประเภทผิวทางของหน่วยงานต่างๆ ที่รับผิดชอบการก่อสร้างทาง ว่าผิวทางลาดยางหรือผิวทางคอนกรีตมีความคุ้มค่ามากกว่าในบริบทต่างๆกัน การก่อสร้างทางจึงอาจเลือกประเภทผิวทางก่อสร้างตามความเห็นและประสบการณ์ของผู้ออกแบบทาง ซึ่งพิจารณาปัจจัยทางวิศวกรรมเบื้องต้น เช่น ผิวทางเดิมที่ต่อกัน ปริมาณรถบรรทุก สภาพดินเดิม หรือพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายเริ่มต้นคือ ค่าก่อสร้าง การเลือกก่อสร้างประเภทผิวทางให้เกิดความคุ้มค่าโดยพิจารณาในบริบทที่ครอบคลุม จึงมีความจำเป็นในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost Analysis) ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ และสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกประเภทผิวทางที่จะก่อสร้างได้อย่างเหมาะสม อันจะทำให้งบประมาณของประเทศถูกใช้จ่ายไปอย่างเกิดประโยชน์สูงสุดและการให้บริการของถนนเป็นไปอย่างมีคุณภาพ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนลาดยางและถนนคอนกรีตและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างถนนทั้งสองชนิด โดยใช้ข้อมูลจริงจากตัวอย่างสายทางของกรมทางหลวงที่เก็บรวบรวมมาได้ ซึ่งประกอบด้วย ประวัติการก่อสร้างทาง ประวัติการบำรุงรักษาทาง ปริมาณการจราจร และอ้างอิงราคาการก่อสร้างและบำรุงรักษาจากข้อมูลของกรมทางหลวงและสำนักงบประมาณ ณ ปี พ.ศ. 2556 โดยแบ่งการวิเคราะห์ตามชนิดผิวทางคือ ผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต การวิเคราะห์นี้ใช้พารามิเตอร์แสดงผลเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิในรูปแบบของค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) ร่วมกับค่าจำนวนเพลามาตรฐาน (NESA) เป็นตัวแทนของปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นในแต่ละปี โดยนำพารามิเตอร์ดังกล่าวมาวาดลงในแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) และจำแนกชุดข้อมูลออกตามมาตรฐานชั้นทาง ซึ่งจากแผนภาพเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ในภาพรวมพบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวมากและไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NESA และ EUAC ได้โดยตรง อย่างไรก็ดีจากแผนภาพดังกล่าวสามารถเป็นเครื่องมือช่วยในการอภิปรายผลการวิเคราะห์ในช่วงข้อมูลต่างๆได้

ผลการวิเคราะห์ในส่วนของถนนแอสฟัลต์ จากข้อมูลสายทางตัวอย่างที่คัดเลือกมา 61 สายทาง ประกอบด้วยสายทางต่างๆทั้ง 5 มาตรฐานชั้นทางพบว่า เมื่อเปรียบเทียบถนนแอสฟัลต์ที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นสูง เช่น ถนนชั้นทางพิเศษและถนนชั้นทาง 1 พบว่า มีการกระจายตัวของค่า EUAC ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า NESA จะพบว่า สายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษ สามารถรองรับน้ำหนักจากปริมาณการจราจรได้สูงกว่าหลายเท่าตัว ถนนชั้นทางพิเศษจึงมีความคุ้มค่า (Cost Effective) มากกว่าถนนชั้นทาง 1 ในถนนที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) มากกว่า 0.20 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปีขึ้นไป หรือคิดเป็นจำนวนรถบรรทุกหนักตั้งแต่ประมาณ 400 คันต่อวันต่อช่องจราจรขึ้นไป ในขณะที่สายทางที่เป็นมาตรฐานชั้นทางต่ำกว่า เช่น สายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทาง 4 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ และทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยปริมาณเพลาเพลามาตรฐาน (NESA) ไม่เกิน 0.20 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ที่กระจายตัวในช่วงกว้างมาก ตั้งแต่ 70 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ถึง 140 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการดูแลรักษาที่แตกต่างกันของหน่วยงานในพื้นที่รับผิดชอบสายทางนั้นๆ แต่ทั้งนี้เนื่องจากในการศึกษาวิจัยนี้ไม่มีข้อมูลสภาพของถนน (Road Condition) ในอดีตอย่างต่อเนื่องจึงไม่อาจหาข้อสรุปได้อย่างชัดเจน

การวิเคราะห์ผลในส่วนของถนนคอนกรีต จากข้อมูลสายทางตัวอย่างที่คัดเลือกมาได้ 17 สายทาง ซึ่งทั้งหมดเป็นสายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษพบว่า มีค่า NESA สูงมาก คือในช่วงระหว่าง 0.37 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี ถึง 6.83 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นสายทางที่มีค่า NESA น้อยกว่า 4.10 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี มีค่า

EUAC อยู่ในช่วงตั้งแต่ 130 บาทต่อตารางเมตรต่อปี ถึง 177 บาทต่อตารางเมตรต่อปี และกลุ่มที่สองเป็นสายทางที่มีค่า NESA มากกว่า 6.00 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี มีค่า EUAC เพิ่มสูงขึ้นโดยเฉลี่ยมากกว่า 200 บาทต่อตารางเมตรต่อปี

การเปรียบเทียบกับสายทางคอนกรีตกับสายทางแอสฟัลต์พิจารณาเฉพาะสายทางที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษเหมือนกันเท่านั้น โดยแบ่งเป็นผิวทางแอสฟัลต์จำนวน 11 สายทางและผิวทางคอนกรีตจำนวน 17 สายทาง จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีต สามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

- ถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีตที่สร้างด้วยมาตรฐานชั้นทางพิเศษและรองรับน้ำหนักจราจรโดยมีค่าปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) ในช่วงต่ำกว่า 1.8 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ตลอดอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน
- แม้ว่าผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบจะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) ตลอดอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน แต่คาบเวลาของการวิเคราะห์สายทางทั้งหมดอยู่ระหว่าง 15 ปี ถึง 17 ปี เท่านั้น และสายทางตัวอย่างทั้งหมดยังคงอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ซึ่งโดยปกติถนนคอนกรีตจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าถนนแอสฟัลต์ประมาณ 10 ปีขึ้นไป จึงถือเป็นข้อได้เปรียบหนึ่งของถนนคอนกรีต
- หากพิจารณาประสิทธิภาพของค่าใช้จ่ายในการรองรับการจราจร หรือค่า EUAC/NESA ของผิวทางทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยจะเห็นว่า ผิวทางคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก แสดงถึงความคุ้มค่าในการใช้จ่ายของถนนคอนกรีตที่มากกว่า

ข้อสังเกตอีกประการคือ จากการสืบค้นดัชนีราคาย้อนหลังของราคายางแอสฟัลต์ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของถนนแอสฟัลต์กับราคาปูนซีเมนต์และเหล็กเส้นข้ออ้อยซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของถนนคอนกรีตพบว่า ราคายางแอสฟัลต์มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ราคาปูนซีเมนต์และเหล็กเส้นข้ออ้อยกลับไม่มีความเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นถ้าวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโดยใช้ราคาในอดีตถนนแอสฟัลต์น่าจะมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ประหยัดกว่าถนนคอนกรีตอย่างเห็นได้ชัด จึงไม่เป็นที่น่าแปลกใจว่า ในประเทศไทยมีถนนลาดยางมากกว่าร้อยละ 90 ของระยะทางทางหลวงทั้งประเทศ

จากองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์จะพบว่า มีค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่เป็นราคายางแอสฟัลต์ประมาณครึ่งหนึ่ง ขณะที่การก่อสร้างถนนคอนกรีตก็มีค่าใช้จ่ายหลักคือราคาปูนซีเมนต์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของราคาวัตถุดิบดังกล่าวก็จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการสืบค้นดัชนีราคายางแอสฟัลต์และราคาปูนซีเมนต์ย้อนหลังพบว่า ราคายางแอสฟัลต์มีอัตราการเพิ่มขึ้นของราคาอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ราคาปูนซีเมนต์กลับไม่มี

ความเปลี่ยนแปลงมากนัก ผู้วิจัยจึงทดสอบผลการศึกษาด้วยการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) โดยการทดลองปรับราคาก่อสร้างของถนนแอสฟัลต์ให้เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 10% และ 20% ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบแนวโน้มของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผิวทางทั้งสองชนิด

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่อทดลองปรับราคาก่อสร้างของสายทางแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นเป็น 20% พบว่าค่า EUAC ของสายทางแอสฟัลต์จะขยับมากขึ้นกว่าสายทางคอนกรีตในทุกตัวอย่าง ที่ระดับปริมาณเพลามาตรฐานเดียวกัน แสดงว่าหากราคาของถนนแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นจากเดิม 20% โดยที่ราคาของถนนคอนกรีตไม่เปลี่ยนแปลง การสร้างถนนคอนกรีตจะมีค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีตลอดอายุการใช้งานที่ประหยัดกว่าการสร้างถนนแอสฟัลต์อย่างชัดเจน

จากผลการวิจัยทั้งหมดซึ่งพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านความคุ้มค่าหรือค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (EUAC) สามารถสรุปข้อแนะนำในการเลือกชนิดผิวทางจำแนกตามบริบท (Scenario) ของปริมาณเพลามาตรฐาน (NESA) ได้ดังนี้

- ในช่วง NESA ต่ำกว่า 0.3 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี หรือคิดเป็นจำนวนรถบรรทุกหนักต่ำกว่าประมาณ 600 คันต่อวันต่อช่องจราจร ไม่มีข้อมูลสายทางที่เป็นถนนคอนกรีต อีกทั้งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของถนนแอสฟัลต์ในช่วง NESA ดังกล่าวมีการกระจายตัวของข้อมูลมาก จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน
- ในช่วง NESA ระหว่าง 0.3 ถึง 1.8 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปี หรือคิดเป็นจำนวนรถบรรทุกหนักระหว่าง 600 ถึง 3,300 คันต่อวันต่อช่องจราจร ถนนคอนกรีตมีความคุ้มค่ามากกว่าถนนแอสฟัลต์ ถึงแม้ว่าถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีตจะมีค่า EUAC ตลอดอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้ข้อได้เปรียบของถนนคอนกรีตคือมีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยที่ยาวนานกว่าถนนแอสฟัลต์ ประกอบกับประสิทธิภาพของค่าใช้จ่ายต่อการรองรับการจราจรของถนนคอนกรีต หรือมี Cost Effective ที่มากกว่าถนนแอสฟัลต์
- ในช่วง NESA 1.8 ล้านเพลาต่อช่องจราจรต่อปีขึ้นไป หรือคิดเป็นจำนวนรถบรรทุกหนักตั้งแต่ประมาณ 3,300 คันต่อวันต่อช่องจราจรขึ้นไป มีข้อมูลเฉพาะสายทางคอนกรีตเท่านั้น จึงไม่อาจเปรียบเทียบความคุ้มค่าได้ แต่ถือเป็นการยืนยันข้อสังเกตหนึ่งว่า สายทางที่มีปริมาณรถบรรทุกหนักเป็นจำนวนมากมักเป็นถนนคอนกรีต

แม้ว่าการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost Analysis) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกแนวทางในการลงทุนหรือการก่อสร้างโครงการ อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ดังกล่าวแล้ว ยังคงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ทั้งในด้านวิศวกรรม ด้านความปลอดภัย ด้านสิ่งแวดล้อม และอื่นๆ เพื่อความเหมาะสมประกอบกันด้วย

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานระหว่างถนนแอสฟัลต์กับถนนคอนกรีต ได้ดำเนินการภายใต้ที่มาของข้อมูลตามขอบเขตที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.3 และมีข้อจำกัดภายหลังจากดำเนินงานวิจัยเสร็จสิ้นแล้ว ดังนี้

- ข้อมูลประวัติการบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวงที่มีการบันทึกคงอยู่เพียงแค่ปี พ.ศ. 2538 เป็นต้นมา ทำให้คาบเวลาในการวิเคราะห์ทำได้มากที่สุดเพียงแค่ 17 ปี ซึ่งโดยเฉลี่ยอายุการใช้งานของทั้งถนนแอสฟัลต์และถนนคอนกรีตจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่านั้น การเก็บบันทึกข้อมูลของถนนอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งที่สำคัญในการศึกษาวิจัยทางด้านถนน ซึ่งปัจจุบันกรมทางหลวงได้มีการพัฒนาระบบสารสนเทศของฐานข้อมูลทางหลวงเพื่อใช้งานแล้ว ถ้ามีการบันทึกข้อมูลประวัติการบำรุงรักษาของแต่ละสายทางให้ครบถ้วนอย่างต่อเนื่องก็จะยิ่งเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และศึกษาวิจัยต่อไป
- ความแตกต่างของลำดับความสำคัญของสายทางและการดูแลรักษาทางหลวงในแต่ละพื้นที่อาจส่งผลต่อความสม่ำเสมอในการบำรุงรักษา และเนื่องจากไม่มีข้อมูลสภาพทางของแต่ละสายทางทุกปีอย่างต่อเนื่อง จึงไม่สามารถตรวจสอบกับข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นได้
- ค่าใช้จ่ายของการก่อสร้างและบำรุงรักษาที่แท้จริงนั้น มีความผันแปรตามขนาดของโครงการและสถานที่ตั้งอยู่พอสมควร ในการวิเคราะห์นี้จึงได้ใช้ราคากลาง ณ ปีปัจจุบัน พ.ศ. 2556 เป็นฐานในการวิเคราะห์ ทั้งนี้ผลจากการวิเคราะห์นี้จึงไม่อาจสะท้อนถึงราคาที่แท้จริงที่หน่วยงานจะต้องจ่าย หากแต่เป็นเพียงมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบในฐานคิดเดียวกันเท่านั้น

สำหรับในอนาคตเมื่อมีการเก็บบันทึกข้อมูลการบำรุงรักษาทางอย่างครบถ้วนต่อเนื่องประกอบกับข้อมูลโครงสร้างชั้นทางจากข้อมูลการก่อสร้างทาง และข้อมูลสภาพทาง (Road Condition) ทั้งทางด้านผิวทางและความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางที่ครบถ้วนและสม่ำเสมอทุกปีจะสามารถนำมาศึกษาเพิ่มเติมและตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละสายทางกับระดับการให้บริการของถนนที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures.* Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Chan, A., Keoleian, G., & Gabler, E. (2008). Evaluation of Life-Cycle Cost Analysis Practices Used by the Michigan Department of Transportation.

Cole, L. W. (1997). *Use of Life Cycle Cost Analysis to Determine the Cost-Effectiveness of Concrete Pavement Design Features.* Retrieved from http://www.nssga.org/aftre/Symposium/1997-26.pdf

Embacher, R. A., & Snyder, M. B. (2001). Life-Cycle Cost Comparison of Asphalt and Concrete Pavements on Low-Volume Roads: Case Study Comparisons. *Transportation Research Board 1749*, 28-37.

Federal Highway Administration. (2007, August). *Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada.* Retrieved from http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl07027/llcp_07_02.cfm

FHWA. (1998). *Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design.* Washington, DC: United States Department of Transportation - Federal Highway Administration.

Missouri Department of Transportation. (2004). *PAVEMENT DESIGN AND TYPE SELECTION PROCESS.*

NCHRP. (2011). *Guide for Pavement-Type Selection.* WASHINGTON, D.C.: Transportation Research Board.

Paterson, W. D. (1987). *Road Deterioration and Maintenance Effects Models for Planning and Management.* The Johns Hopkins University.

Pavement Tools Consortium's [PTC]. (2010). *Interactive Pavement Guide.* Retrieved from http://training.ce.washington.edu/PGI/

Sayers, M. (1986). Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. *Wolrd Bank Technical Paper*, 87-88.

Scheving, A. (2011). *Life Cycle Cost Analysis of Asphalt and Concrete Pavements.* Iceland: Reykjavík University.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

The Asphalt Institute. (1970). *Thickness Design - Full-Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets.*

World Road Association. (2004). *HDM-4 Manual: Modeling Road Deterioration and Works Effects* (Vol. 6). Highway Development and Management.

ภาษาไทย

กรมทางหลวง. (2542). *มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ.* กรุงเทพมหานคร: สำนักสำรวจและออกแบบ.

กรมทางหลวง. (2549). *คู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง.* กรุงเทพมหานคร: สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง.

กรมทางหลวง. (2552). *สรุประยะทางในความควบคุมของกรมทางหลวง งวดที่ 1/2552.* กรุงเทพมหานคร: กรมทางหลวง.

กรมทางหลวงชนบท. (2547). *คู่มือปฏิบัติงาน การก่อสร้างและบำรุงรักษาทาง.* กรุงเทพมหานคร.

กรมทางหลวงชนบท. (2553). *คู่มือบำรุงปกติ.* กรุงเทพมหานคร: สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท, สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมทางหลวงชนบท. (2554ก). *โครงข่ายทางหลวงชนบท.* กรุงเทพมหานคร: กรมทางหลวงชนบท.

กรมทางหลวงชนบท. (2554ข). *โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายทางหลวงท้องถิ่น*. Retrieved from http://masterplan.drr.go.th/homePage.html

คุณามาศ พันธุเตชะ, วิศณุ ทรัพย์สมพล, สมเกียรติ ทองโต, ชูชัย พนัสอัมพร, และ วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร. (2554). ระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวงชนบท. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16.* มหาวิทยาลัยมหิดล.

จิรพัฒน์ โชติกไกร. (2553). *การออกแบบทาง.* กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนัส คอวนิช. (2550). *แนวทางพัฒนางานบำรุงรักษาทางหลวง.* กรุงเทพมหานคร: สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง.

ยงยุทธ แต้ศิริ และ ธนศักดิ์ วงศ์ธนากิจเจริญ. (2551). Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) “อีกหนึ่งทางเลือกของถนนคอนกรีต”. *บทความวิชาการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง*, 83-106.

สำนักงบประมาณ. (2556). *บัญชีราคามาตรฐานสิ่งก่อสร้าง.* กรุงเทพมหานคร. เข้าถึงได้จาก http://www.bb.go.th

สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า. (2557). *ข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้าง.* เข้าถึงได้จาก http://www.price.moc.go.th/price/struct/index_new.asp

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แสงชัย เทพสิทธิทรากรณ์. (2550). การสำรวจและประเมินสภาพทางใช้ในงานบำรุงทาง. *บทความวิชาการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง*.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลทั่วไปของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชื่อตอน	จังหวัด	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปี พ.ศ. ที่ก่อสร้างเสร็จ
1	803	ห้วยแห้ง - ดอนรังนก	นครสวรรค์	238.888	254.122	15.234	4	พิเศษ	AC	2537
1	2801	บ้านดอย - ทางแยกไปแม่สรวย	พะเยา	732.290	735.930	3.640	4	พิเศษ	AC	2538
3	701	ต่อทางของเมืองพัทยา - ทางแยกเข้าสัตหีบ	ชลบุรี	148.200	175.950	27.750	4	พิเศษ	AC	2538
3	900	ต่อทางของเทศบาลนครระยอง - ทางแยกเนินดินแดง	ระยอง	222.360	268.280	45.920	4	พิเศษ	AC	2539
3	1202	จันทบุรี - อ.ขลุง	จันทบุรี	333.300	356.630	23.330	4	พิเศษ	AC	2539
4	900	กุยบุรี - ประจวบคีรีขันธ์	ประจวบคีรีขันธ์	251.500	278.915	27.415	4	พิเศษ	AC	2539
4	1000	อ.ปราณบุรี - อ.กุยบุรี	ประจวบคีรีขันธ์	278.915	293.700	14.785	4	พิเศษ	AC	2539
4	3400	ตลาดเก่า - ทางแยกเข้าลำทับ	กระบี่	71.862	107.640	35.778	2	3	AC	2538
43	101	หาดใหญ่ - นาหม่อม	สงขลา	0.000	11.160	11.160	4	พิเศษ	AC	2539
103	100	อ.ร้องกวาง - อ.งาว	แพร่	17.000	33.271	16.271	2	2	AC	2537
202	401	สี่แยกบ้านสีดา - บรรจบทางหลวงหมายเลข 207 (ประทาย)	นครราชสีมา	66.761	85.623	18.862	2	3	AC	2538
202	902	แยกทางหลวงหมายเลข 23 (ยโสธร) – คอสะพานคลองลำเซฝั่งตะวันออก (ต่อเขตแขวงฯอำนาจเจริญ และอุบลราชธานีส่วนที่ 3)	ยโสธร	0.000	33.880	33.880	2	3	AC	2538
202	1000	คอสะพานคลองลำเซฝั่งตะวันออก (ต่อเขตแขวงฯ ยโสธร) - สี่แยกอำนาจเจริญ	อำนาจเจริญ	33.880	53.778	19.898	2	3	AC	2538
212	1100	ต่อเขตเทศบาลเมืองนครพนม - สามแยกไปเรณูนคร	นครพนม	259.700	269.300	9.600	4	พิเศษ	AC	2538
219	100	อ.ประโคยซัย - แสลงโทน	บุรีรัมย์	25.000	44.322	44.322	2	3	AC	2538
221	101	ต่อเขตเทศบาลเมืองศรีสะเกษ - กม.21+620 (ต่อเขตสน.บท.ศรีสะเกษที่ 2)	ศรีสะเกษ	3.800	21.620	17.820	2	3	AC	2537
225	101	นครสวรรค์ - อ.ชุมแสง	นครสวรรค์	0.000	10.000	10.000	2	2	AC	2537

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลทั่วไปของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชื่อตอน	จังหวัด	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปี พ.ศ. ที่ก่อสร้างเสร็จ
225	102	กม.10+000 (ต่อเขตแขวงฯ นครสวรรค์ที่ 1) - ต่อเขตเทศบาลชุมแสง	นครสวรรค์	10.000	38.000	28.000	2	2	AC	2537
226	700	ต่อเขตเทศบาลเมืองสุรินทร์ - ศีขรภูมิ	สุรินทร์	0.000	32.500	32.500	2	3	AC	2539
304	300	ต่อทางของเทศบาลเมืองฉะเชิงเทรา - กม.54+700 (ต่อเขตแขวงฯ ปราจีนบุรี)	ฉะเชิงเทรา	0.168	37.269	37.101	4	พิเศษ	AC	2538
323	204	แก่งเสี้ยน - แยกปากกิเลน	กาญจนบุรี	4.932	12.954	8.022	2	1	AC	2539
332	101	แยกทางหลวงหมายเลข 3 (เขาหาดยาว) - กม.11+880 (ต่อเขตแขวงฯ ระยอง)	ชลบุรี	0.000	11.880	11.880	2	1	AC	2537
332	102	ทุ่งโปร่ง - สำนักท้อน	ชลบุรี	11.880	14.487	2.607	2	1	AC	2537
333	200	สระกระโจม(ต่อเขตแขวงฯกาญจนบุรี - สุพรรณบุรี(ที่ 2)) - ด่านช้าง	สุพรรณบุรี	33.524	60.650	27.126	2	1	AC	2538
348	101	แยกทางหลวงหมายเลข 33 (อรัญประเทศ) - ตาพระยา	ปราจีนบุรี	0.000	50.042	50.042	2	2	AC	2538
1013	200	บ.กาด - บ.แม่วิน	เชียงใหม่	17.900	26.050	8.150	2	4	AC	2539
1092	100	แยกทางหลวงหมายเลข1091(ปง) - กม.10+000 (ต่อเขตแขวงฯน่านที่2)	พะเยา	0.000	10.000	10.000	2	4	AC	2538
2025	100	แยกทางหลวงหมายเลข 2 (ห้วยเกิ้ง) - กุมภวาปี	อุดรธานี	0.000	14.207	14.207	2	4	AC	2538
2045	100	กม.20+200 (ต่อเขตสน.บท.ร้อยเอ็ด) - วาปีปทุม	ร้อยเอ็ด	20.200	36.473	16.273	2	2	AC	2539
2062	102	กม.0+500 (ต่อเขตแขวงฯ ขอนแก่นที่ 1) - มัญจาคีรี	ขอนแก่น	0.000	43.875	43.875	2	3	AC	2537
2074	100	บุรีรัมย์ - คูเมือง	บุรีรัมย์	0.282	33.700	33.418	2	4	AC	2537
2074	200	คูเมือง - ต่อทางของเทศบาลตำบลพุทไธสง	บุรีรัมย์	33.700	64.263	30.563	2	3	AC	2537

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลทั่วไปของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชื่อตอน	จังหวัด	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปี พ.ศ. ที่ก่อสร้างเสร็จ
2089	102	กม.16+000 (ต่อเขตแขวงฯ สระบุรี) - กม.33+760 (ต่อเขตแขวงฯ ลพบุรีที่ 2(ลำนารายณ์))	ลพบุรี	24.819	33.760	8.941	2	4	AC	2537
2089	103	บ.วังม่วง - น้ำตกวังก้านเหลือง	ลพบุรี	33.760	39.000	5.240	2	4	AC	2537
2089	201	กม.39+000 (น้ำสุด) - ทางหลวงหมายเลข 2256	ลพบุรี	39.000	51.709	12.709	2	4	AC	2537
2095	100	แยกทางหลวงหมายเลข 222 (บ้านเอือด) - บ้านโข่	หนองคาย	0.000	33.500	33.500	2	4	AC	2538
2160	101	แยกทางหลวงหมายเลข 2 (บ้านวัด) - คง	นครราชสีมา	0.000	18.784	18.784	2	4	AC	2538
2175	100	อ.พิมาย - อ.ชุมพวง	นครราชสีมา	0.000	33.855	33.855	2	3	AC	2538
2255	100	แยกทางหลวงหมายเลข 2 (นาข่า) - บรรจบทางหลวงหมายเลข 2022 (สุมเส้า)	อุดรธานี	0.000	22.034	22.034	2	4	AC	2539
2270	100	แยกทางหลวงหมายเลข 2096 (มีชัย) - กม.17+750 (ต่อเขตแขวงฯ สกลนครที่ 2)	สกลนคร	0.000	17.750	17.750	2	4	AC	2537
3041	100	ต่อทางเทศบาลสระบุรี - เสาไห้	สระบุรี	3.316	10.300	6.984	2	2	AC	2538
3076	102	กม.3+745 (ต่อเขตแขวงฯ ปราจีนบุรี) - นครนายก	นครนายก	3.745	18.492	14.747	2	4	AC	2539
3087	101	ราชบุรี - อ.จอมบึง	ราชบุรี	0.000	25.655	25.655	2	2	AC	2537
3134	100	แยกทางหลวงหมายเลข 3 (เสม็ด) - ต่อทางของเทศบาลเมืองแสนสุข	ชลบุรี	0.000	8.953	8.953	2	1	AC	2539
3145	101	ต่อทางเทศบาลตำบลเพ - แหลมแม่พิมพ์	ระยอง	2.000	27.515	25.515	2	1	AC	2538
3196	300	แยกทางหลวงหมายเลข 1 (ดงพลับ) - ลพบุรี	ลพบุรี	72.055	93.500	21.445	2	2	AC	2538
3224	100	อ.แก่งคอย - บ.แถลงพัน	สระบุรี	0.000	31.012	31.012	2	4	AC	2537
3245	402	แยกทางหลวงหมายเลข 344 - อ.ปลวกแดง	ชลบุรี	10.473	22.675	12.202	2	4	AC	2537
3246	100	พนัสนิคม - แยกทางหลวงหมายเลข 331(เกาะโพธิ์)	ชลบุรี	0.000	11.640	11.640	2	2	AC	2539

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลทั่วไปของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชื่อตอน	จังหวัด	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปี พ.ศ. ที่ก่อสร้างเสร็จ
3264	101	ต่อทางของเทศบาลตำบลดอนเจดีย์ - บรรจบทางหลวงหมายเลข 333 (สระกระโจม)	สุพรรณบุรี	0.281	16.088	15.807	2	1	AC	2538
3318	101	ต่อทางเทศบาลเมืองสุพรรณบุรี – มะขามล้ม (ต่อเขตแขวงฯ กาญจนบุรี - สุพรรณบุรี (ที่ 2))	สุพรรณบุรี	1.700	9.000	7.300	2	3	AC	2539
3318	102	มะขามล้ม(ต่อเขตแขวงฯ สุพรรณบุรีที่ 1)- บรรจบทางหลวงหมายเลข 321(ดอนแจง)	สุพรรณบุรี	16.000	29.450	13.450	2	3	AC	2539
3351	101	แยกทางหลวงหมายเลข 3318 (เก้าห้อง) - บางแม่หม้าย (ต่อเขตแขวงฯ กาญจนบุรี - สุพรรณบุรี (ที่ 2))	สุพรรณบุรี	15.100	18.600	3.500	2	3	AC	2539
3390	100	แยกทางหลวงหมายเลข 3086 (หนองรี) - บรรจบทางหลวงหมายเลข 3488(บ่อยาง)	กาญจนบุรี	0.000	37.200	37.200	2	4	AC	2537
3481	201	อ.บ้านสร้าง - บ.บางขนาก	ปราจีนบุรี	25.734	45.131	19.397	2	3	AC	2538
4016	200	บ้านตาล - นบพิตำ(นาเหรง)	นครศรีธรรมราช	13.500	16.923	3.423	2	พิเศษ	AC	2539
4026	200	แยกทางหลวงหมายเลข 402 - สนามบินภูเก็ต	ภูเก็ต	0.000	4.669	4.669	2	1	AC	2539
4038	100	แยกทางหลวงหมายเลข 4 (คลองท่อม) - ลำทับ	กระบี่	0.000	26.000	26.000	2	4	AC	2537
4151	201	แยกทางหลวงหมายเลข 41 (ควนหนองหงษ์) - กม.54+200 (ต่อเขตแขวงฯ ตรัง)	นครศรีธรรมราช	28.172	41.250	13.078	2	4	AC	2537
4151	202	กม.54+200(ต่อเขตแขวงฯ นครศรีธรรมราชที่ 2) - กม.41+250 (ต่อเขตแขวงฯ นครศรีธรรมราชที่ 2)	นครศรีธรรมราช	41.250	54.200	12.950	2	4	AC	2537
4206	100	แยกทางหลวงหมายเลข 4 (ห้วยน้ำขาว) - เกาะกลาง	กระบี่	1.000	27.094	26.094	2	4	AC	2539
1	202	ประตูน้ำพระอินทร์ - วังน้อย	อยุธยา	61.000	71.000	10.000	10	พิเศษ	PCC	2537
1	301	อ.วังน้อย - อ.หนองแค	อยุธยา	71.000	79.000	8.000	10	พิเศษ	PCC	2537
1	302	หนองแค - สระบุรี	สระบุรี	79.000	87.000	8.000	10	พิเศษ	PCC	2537

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลทั่วไปของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชื่อตอน	จังหวัด	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปี พ.ศ. ที่ก่อสร้างเสร็จ
1	302	หนองแค - สระบุรี	สระบุรี	87.000	97.500	10.500	10	พิเศษ	PCC	2537
1	3101	อ.แม่สรวย - เชียงราย	เชียงราย	806.000	824.200	18.200	4	พิเศษ	PCC	2539
2	901	อ.บ้านไผ่ - อ.ท่าพระ	ขอนแก่น	399.570	430.870	31.300	4	พิเศษ	PCC	2539
2	902	ท่าพระ - ขอนแก่น	ขอนแก่น	31.250	44.145	12.895	4	พิเศษ	PCC	2538
11	1500	ลำปาง - เชียงใหม่	ลำปาง	63.000	78.000	15.000	4	พิเศษ	PCC	2538
11	1600	กม.77+975 (ต่อเขตแขวงฯ ลำพูน) - เชียงใหม่	เชียงใหม่	78.000	85.455	7.455	4	พิเศษ	PCC	2538
303	100	ดาวคะนอง - ป้อมพระจุล	สมุทรปราการ	6.711	11.916	5.205	8	พิเศษ	PCC	2539
340	100	บางบัวทอง - อ.ลาดบัวหลวง	นนทบุรี	37.400	54.100	16.700	4	พิเศษ	PCC	2538
340	200	ลาดบัวหลวง (ต่อเขตสน.บท.นนทบุรี) - สาลี (ต่อเขตแขวงฯ สุพรรณบุรีที่ 1)	สุพรรณบุรี	54.100	74.500	20.400	4	พิเศษ	PCC	2538
340	301	สาลี (ต่อเขตแขวงฯ กาญจนบุรี - สุพรรณบุรี (ที่ 2)) - สุพรรณบุรี	สุพรรณบุรี	74.500	97.150	22.650	4	พิเศษ	PCC	2538
2023	100	แยกทางหลวงหมายเลข 2 (น้ำม้อง) - ศรีธาตุ	อุดรธานี	0.000	9.806	9.806	2	พิเศษ	PCC	2538
3113	100	แยกทางหลวงหมายเลข 3 (สำโรง) - ต่อทางของเทศบาลตำบลสำโรงใต้	สมุทรปราการ	0.000	6.397	6.397	6	พิเศษ	PCC	2538
3344	100	ต่อทางกรุงเทพ - บรรจบทางหลวงหมายเลข 3 (สมุทรปราการ)	สมุทรปราการ	10.500	20.211	9.711	6	พิเศษ	PCC	2537
4016	200	บ้านตาล – นบพิตำ (นาเหรง)	นครศรีธรรมราช	8.760	13.500	4.740	4	พิเศษ	PCC	2539

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลปริมาณเพลามาตรฐานของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปริมาณเพลามาตรฐาน, YE4 (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	เฉลี่ย
1	803	พิเศษ	AC	0.626	0.448	0.321	0.540	0.235	0.276	0.170	0.291	0.327	0.356	0.361	0.376	0.391	0.407	0.423	0.440	0.458	0.379
1	2801	พิเศษ	AC	0.470	1.032	0.498	0.706	0.465	0.448	0.608	0.492	0.542	0.628	0.623	0.586	0.547	0.367	0.381	0.308	-	0.544
3	701	พิเศษ	AC	0.458	0.390	0.292	0.364	0.320	0.420	0.898	0.775	0.980	1.112	1.178	0.998	1.048	0.834	1.201	0.856	-	0.758
3	900	พิเศษ	AC	0.496	0.438	0.375	0.280	0.393	0.381	0.358	0.444	0.436	0.455	0.428	0.524	0.325	0.397	0.404	-	-	0.409
3	1202	พิเศษ	AC	0.323	0.330	0.381	0.320	0.353	0.431	0.448	0.466	0.485	0.505	0.525	0.547	0.569	0.592	0.616	-	-	0.459
4	900	พิเศษ	AC	0.529	2.154	0.922	0.624	0.277	0.249	0.214	0.626	0.447	1.812	0.830	0.376	0.935	1.473	1.527	-	-	0.866
4	1000	พิเศษ	AC	1.859	1.035	1.333	1.481	1.444	1.171	1.316	1.514	1.566	2.619	1.686	1.470	1.715	1.077	1.664	-	-	1.530
4	3400	3	AC	0.562	0.535	0.317	0.342	0.558	0.629	0.710	0.439	0.535	0.513	0.297	0.462	0.537	0.363	0.481	0.370	-	0.478
43	101	พิเศษ	AC	1.581	0.311	0.324	0.337	0.350	0.365	0.379	0.395	0.411	0.427	0.444	0.462	0.481	0.552	0.503	-	-	0.488
103	100	2	AC	0.385	0.256	0.343	0.333	0.271	0.268	0.261	0.365	0.341	0.315	0.299	0.336	0.339	0.353	0.367	0.382	0.397	0.330
202	401	3	AC	0.167	0.208	0.152	0.131	0.197	0.189	0.320	0.366	0.315	0.131	0.189	0.168	0.136	0.147	0.156	0.162	-	0.196
202	902	3	AC	0.387	0.452	0.264	0.301	0.467	0.405	0.587	0.656	0.656	0.252	0.224	0.236	0.344	0.366	0.239	0.217	-	0.378
202	1000	3	AC	0.228	0.221	0.248	0.345	0.314	0.340	0.422	0.556	0.573	0.635	0.360	0.583	0.680	0.614	0.342	0.332	-	0.425
212	1100	พิเศษ	AC	0.232	0.124	0.075	0.154	0.163	0.138	0.339	0.259	0.155	0.294	0.424	0.605	0.585	0.910	0.557	0.410	-	0.339
219	100	3	AC	0.122	0.128	0.080	0.113	0.112	0.116	0.106	0.202	0.210	0.219	0.121	0.179	0.099	0.109	0.128	0.169	-	0.138
221	101	3	AC	0.423	0.457	0.344	0.304	0.300	0.226	0.368	0.244	0.287	0.372	0.316	0.296	0.318	0.231	0.341	0.288	0.410	0.325
225	101	2	AC	0.238	0.248	0.258	0.268	0.279	0.291	0.302	0.315	0.327	0.340	0.305	0.302	0.325	0.306	0.244	0.359	0.343	0.297
225	102	2	AC	0.190	0.198	0.206	0.215	0.223	0.232	0.242	0.251	0.262	0.272	0.283	0.295	0.291	0.218	0.161	0.229	0.241	0.236

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลปริมาณเพลามาตรฐานของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปริมาณเพลามาตรฐาน, YE4 (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	เฉลี่ย
226	700	3	AC	0.461	0.318	0.765	0.283	0.363	0.691	0.714	1.049	0.390	0.461	0.324	0.326	0.429	0.599	0.649	-	-	0.522
304	300	พิเศษ	AC	2.238	1.855	1.248	1.558	1.453	1.371	1.577	1.849	2.257	2.216	1.948	2.060	1.599	1.440	1.473	1.527	-	1.729
323	204	1	AC	1.085	0.244	0.326	0.271	0.210	0.218	0.227	0.236	0.246	0.249	0.257	0.304	0.369	0.610	0.469	-	-	0.355
332	101	1	AC	0.241	0.186	0.225	0.172	0.167	0.729	0.943	1.038	1.172	0.381	0.115	0.105	0.128	0.116	0.179	0.221	0.244	0.374
332	102	1	AC	0.241	0.186	0.225	0.172	0.167	0.729	0.943	1.038	1.172	0.381	0.118	0.156	0.162	0.163	0.140	0.153	0.181	0.372
333	200	1	AC	0.222	0.227	0.198	0.278	0.227	0.166	0.286	0.453	0.197	0.280	0.674	0.393	0.487	0.189	0.206	0.246	-	0.296
348	101	2	AC	0.415	0.403	0.268	0.221	0.243	0.289	0.170	0.184	0.131	0.211	0.276	0.370	0.211	0.136	0.234	0.309	-	0.255
1013	200	4	AC	0.305	0.189	0.176	0.249	0.233	0.333	0.230	0.058	0.122	0.126	0.132	0.137	0.142	0.148	0.154	-	-	0.182
1092	100	4	AC	0.065	0.068	0.077	0.156	0.223	0.261	0.291	0.054	0.070	0.050	0.102	0.054	0.039	0.057	0.067	0.048	-	0.105
2025	100	4	AC	0.101	0.103	0.122	0.111	0.067	0.088	0.174	0.191	0.126	0.088	0.109	0.108	0.083	0.116	0.171	0.188	-	0.122
2045	100	2	AC	0.429	0.409	0.319	0.310	0.384	0.366	0.603	0.222	0.231	0.324	0.260	0.183	0.151	0.146	0.189	-	-	0.302
2062	102	3	AC	0.220	0.216	0.194	0.127	0.132	0.138	0.143	0.149	0.155	0.161	0.168	0.174	0.182	0.189	0.189	0.261	0.396	0.188
2074	100	4	AC	0.174	0.241	0.183	0.150	0.201	0.160	0.168	0.166	0.197	0.169	0.170	0.141	0.220	0.222	0.299	0.236	0.269	0.198
2074	200	3	AC	0.441	0.459	0.477	0.497	0.517	0.538	0.559	0.299	0.382	0.494	0.140	0.215	0.164	0.169	0.162	0.181	0.174	0.345
2089	102	4	AC	0.117	0.077	0.103	0.081	0.060	0.083	0.070	0.065	0.071	0.274	0.088	0.104	0.097	0.146	0.152	0.158	0.170	0.113
2089	103	4	AC	0.158	0.082	0.145	0.088	0.123	0.135	0.149	0.259	0.290	0.089	0.092	0.096	0.100	0.104	0.073	0.134	0.168	0.134
2089	201	4	AC	0.070	0.073	0.076	0.079	0.082	0.088	0.087	0.073	0.137	0.074	0.049	0.076	0.057	0.108	0.128	0.078	0.085	0.084
2095	100	4	AC	0.062	0.037	0.051	0.037	0.028	0.041	0.063	0.034	0.040	0.055	0.134	0.115	0.137	0.055	0.100	0.148	-	0.071

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลปริมาณเพลามาตรฐานของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปริมาณเพลามาตรฐาน, YE4 (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	เฉลี่ย
2160	101	4	AC	0.165	0.139	0.103	0.133	0.120	0.074	0.077	0.089	0.067	0.060	0.064	0.160	0.151	0.094	0.104	0.125	-	0.108
2175	100	3	AC	0.318	0.390	0.238	0.223	0.172	0.184	0.217	0.297	0.230	0.223	0.221	0.206	0.197	0.214	0.215	0.246	-	0.237
2255	100	4	AC	0.068	0.089	0.062	0.068	0.083	0.089	0.071	0.068	0.093	0.083	0.100	0.074	0.067	0.111	0.308	-	-	0.096
2270	100	4	AC	0.019	0.024	0.026	0.015	0.048	0.020	0.041	0.042	0.071	0.196	0.109	0.087	0.089	0.151	0.121	0.184	0.163	0.083
3041	100	2	AC	0.666	0.586	0.540	0.605	0.574	0.528	0.354	0.666	0.509	0.428	0.423	0.503	0.220	0.706	0.395	0.290	-	0.500
3076	102	4	AC	0.203	0.129	0.088	0.084	0.092	0.096	0.146	0.167	0.199	0.286	0.175	0.139	0.147	0.177	0.234	-	-	0.157
3087	101	2	AC	0.236	0.221	0.307	0.216	0.158	0.149	0.158	0.183	0.181	0.185	0.185	0.195	0.185	0.181	0.165	0.215	0.239	0.198
3134	100	1	AC	0.340	0.344	0.189	0.289	0.244	0.238	0.270	0.225	0.164	0.380	0.315	0.275	0.257	0.355	0.418	-	-	0.287
3145	101	1	AC	0.128	0.121	0.191	0.101	0.096	0.166	0.135	0.147	0.157	0.118	0.178	0.102	0.198	0.109	0.135	0.096	-	0.136
3196	300	2	AC	0.195	0.206	0.150	0.189	0.428	0.204	0.772	1.051	1.455	0.579	0.373	0.320	0.262	0.354	0.370	0.517	-	0.464
3224	100	4	AC	0.121	0.163	0.203	0.210	0.166	0.093	0.120	0.160	0.157	0.100	0.134	0.220	0.126	0.121	0.116	0.213	0.200	0.154
3245	402	4	AC	0.070	0.111	0.131	0.127	0.060	0.106	0.071	0.160	0.189	0.182	0.201	0.175	0.208	0.234	0.219	0.290	0.502	0.179
3246	100	2	AC	0.697	0.579	0.586	0.655	0.513	0.261	0.281	0.254	0.435	0.676	0.441	0.403	0.422	0.373	0.450	-	-	0.468
3264	101	1	AC	0.213	0.283	0.213	0.169	0.153	0.138	0.113	0.160	0.192	0.167	0.172	0.121	0.088	0.140	0.160	0.106	-	0.162
3318	101	3	AC	0.131	0.061	0.040	0.034	0.033	0.056	0.080	0.076	0.084	0.105	0.045	0.051	0.049	0.044	0.051	-	-	0.063
3318	102	3	AC	0.227	0.232	0.159	0.135	0.176	0.132	0.109	0.101	0.077	0.071	0.067	0.094	0.099	0.116	0.162	-	-	0.131
3351	101	3	AC	0.253	0.451	0.331	0.331	0.606	0.649	0.181	0.256	0.064	0.120	0.171	0.077	0.245	0.173	0.185	-	-	0.273
3390	100	4	AC	0.137	0.092	0.061	0.065	0.027	0.044	0.052	0.092	0.050	0.049	0.028	0.027	0.033	0.044	0.043	0.048	0.051	0.055

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลปริมาณเพลามาตรฐานของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปริมาณเพลามาตรฐาน, YE4 (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	เฉลี่ย
3481	201	3	AC	0.182	0.189	0.197	0.209	0.133	0.134	0.128	0.230	0.199	0.207	0.265	0.398	0.457	0.349	0.397	0.472	-	0.259
4016	200	พิเศษ	AC	0.432	0.292	0.339	0.624	0.525	0.384	0.476	0.479	0.308	0.318	0.325	0.246	0.397	0.323	0.609	-	-	0.405
4026	200	1	AC	0.143	0.148	0.154	0.161	0.139	0.566	0.375	0.197	0.133	0.119	0.122	0.279	0.075	0.101	0.170	-	-	0.192
4038	100	4	AC	0.046	0.053	0.061	0.046	0.063	0.061	0.062	0.057	0.049	0.080	0.069	0.059	0.114	0.158	0.119	0.413	0.432	0.114
4151	201	4	AC	0.047	0.049	0.050	0.053	0.055	0.057	0.059	0.062	0.064	0.067	0.069	0.072	0.075	0.027	0.044	0.054	0.105	0.059
4151	202	4	AC	0.035	0.036	0.038	0.039	0.041	0.042	0.044	0.046	0.048	0.050	0.052	0.054	0.056	0.115	0.065	0.139	0.085	0.058
4206	100	4	AC	0.045	0.037	0.054	0.040	0.054	0.069	0.048	0.104	0.084	0.098	0.148	0.085	0.066	0.086	0.174	-	-	0.079
1	202	พิเศษ	PCC	4.497	6.448	7.772	5.487	5.031	5.067	4.234	5.605	7.944	8.410	5.436	6.195	7.044	5.804	5.998	5.180	6.142	6.017
1	301	พิเศษ	PCC	4.498	6.254	7.069	6.071	7.334	7.503	4.965	5.919	8.882	9.393	8.794	6.393	8.725	5.602	7.276	5.524	5.903	6.830
1	302	พิเศษ	PCC	3.712	3.895	3.895	2.795	2.591	2.882	3.144	6.856	8.289	9.445	13.335	11.331	7.571	6.423	6.755	5.773	4.898	6.093
1	302	พิเศษ	PCC	3.712	3.895	3.895	2.795	2.591	2.882	3.144	6.856	8.289	9.445	13.335	11.331	7.571	6.423	6.755	5.773	4.898	6.093
1	3101	พิเศษ	PCC	0.689	0.568	0.503	0.384	0.395	0.492	0.429	0.447	0.490	0.482	0.569	0.419	0.436	0.454	0.472	-	-	0.482
2	901	พิเศษ	PCC	1.034	1.073	1.052	0.787	0.828	1.063	1.285	1.592	1.962	1.624	1.010	1.153	0.747	1.002	1.621	-	-	1.189
2	902	พิเศษ	PCC	2.397	3.782	2.648	3.988	2.960	2.069	3.500	3.307	2.416	2.549	3.090	1.947	1.156	1.074	1.423	1.404	-	2.482
11	1500	พิเศษ	PCC	1.427	1.453	0.886	0.636	0.837	0.768	0.911	1.049	1.419	1.131	1.177	1.224	1.274	1.291	1.359	1.368	-	1.138
11	1600	พิเศษ	PCC	2.139	1.264	0.874	0.831	0.765	0.803	1.090	1.316	1.367	1.620	0.876	0.950	1.929	2.249	2.574	2.715	-	1.460
303	100	พิเศษ	PCC	2.778	2.343	2.183	2.446	1.950	2.505	2.246	2.007	2.081	2.433	3.220	1.498	1.300	1.328	1.258	-	-	2.105
340	100	พิเศษ	PCC	2.071	2.057	4.318	2.181	1.930	1.575	1.652	1.327	1.341	1.600	1.665	1.720	1.904	2.302	2.429	2.237	-	2.019

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลปริมาณเพลามาตรฐานของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ปริมาณเพลามาตรฐานรายปี, YE4 (ล้านเพลา/ช่องจราจร/ปี)																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	เฉลี่ย
340	200	พิเศษ	PCC	0.710	0.739	0.768	0.945	0.812	0.745	0.819	0.768	0.953	0.731	0.921	0.913	0.828	0.853	0.887	1.131	-	0.845
340	301	พิเศษ	PCC	0.598	0.623	0.648	0.691	0.700	1.004	1.451	1.083	1.070	0.917	0.996	0.894	0.688	0.833	0.598	0.736	-	0.846
2023	100	พิเศษ	PCC	0.317	0.203	0.110	0.130	0.138	0.118	0.240	0.654	0.382	0.493	0.233	0.238	0.273	0.426	0.283	0.703	-	0.309
3113	100	พิเศษ	PCC	7.303	5.091	5.454	2.465	3.343	3.722	4.948	1.623	1.962	1.699	2.447	3.198	2.198	2.338	2.395	2.472	-	3.291
3344	100	พิเศษ	PCC	1.365	1.915	1.496	2.220	3.155	2.327	3.104	3.412	4.370	8.844	8.854	9.104	3.172	4.893	5.074	2.374	4.124	4.106
4016	200	พิเศษ	PCC	0.389	0.263	0.305	0.562	0.473	0.345	0.429	0.431	0.277	0.287	0.292	0.221	0.357	0.290	0.548	-	-	0.365

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ค่าใช้จ่ายรายปี (บาทต่อตารางเมตร)																			
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	NPV	EUAC
1	803	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	355	3	3	89	52	3	47	3	181	104	3	3	1077	151
1	2801	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	3	3	3	257	278	3	3	3	3	3	3	-	966	138
3	701	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	3	3	3	3	97	3	3	40	3	3	3	-	825	118
3	900	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	57	49	6	3	19	3	39	55	180	138	-	-	922	135
3	1202	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	3	3	3	3	38	3	3	50	35	3	-	-	814	119
4	900	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	155	157	3	3	3	3	3	3	61	3	14	-	-	965	142
4	1000	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	516	3	138	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-	1137	167
4	3400	3	AC	531	33	3	3	3	192	3	101	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	730	105
43	101	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	438	3	3	3	3	3	3	102	105	3	-	-	1049	154
103	100	2	AC	735	3	3	3	3	3	639	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1079	151
202	401	3	AC	531	3	3	3	3	3	3	3	232	337	3	90	3	3	138	3	3	-	817	117
202	902	3	AC	531	3	3	3	3	3	3	3	38	96	3	3	3	3	3	3	3	-	599	86
202	1000	3	AC	531	3	3	3	3	3	3	3	80	61	3	3	3	3	3	3	3	-	604	87
212	1100	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	376	3	3	3	3	3	3	3	3	401	3	-	1048	150
219	100	3	AC	531	3	3	3	59	50	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	614	88
221	101	3	AC	531	3	3	362	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	102	822	116
225	101	2	AC	735	3	270	3	3	3	3	3	3	634	3	3	3	3	3	3	3	3	1197	168
225	102	2	AC	735	3	83	53	3	24	3	348	3	3	3	3	3	3	3	3	70	3	1034	145

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ค่าใช้จ่ายรายปี (บาทต่อตารางเมตร)																		
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	NPV	EUAC
226	700	3	AC	531	3	79	82	95	3	3	3	3	3	3	3	3	3	64	3	-	-	740	109
304	300	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	3	81	540	30	58	3	3	3	3	3	3	-	1065	153
323	204	1	AC	750	3	3	3	3	3	3	240	3	3	3	3	3	3	220	3	-	-	922	135
332	101	1	AC	750	3	3	3	3	3	3	3	3	138	3	3	3	3	3	215	3	3	859	121
332	102	1	AC	750	3	3	3	3	3	3	3	634	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1026	144
333	200	1	AC	750	3	3	3	3	3	169	3	12	21	3	41	3	3	141	55	3	-	913	131
348	101	2	AC	735	3	3	3	3	3	3	3	3	71	3	3	5	3	3	100	19	-	801	115
1013	200	4	AC	444	3	267	3	3	269	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-	825	121
1092	100	4	AC	444	42	3	3	3	3	3	534	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	739	106
2025	100	4	AC	444	3	105	3	3	269	3	3	3	3	3	270	3	3	263	3	3	-	827	119
2045	100	2	AC	735	3	3	3	3	3	3	20	172	505	3	28	3	3	3	3	-	-	1019	150
2062	102	3	AC	531	3	103	3	3	3	3	3	3	3	114	126	10	90	3	3	3	3	725	102
2074	100	4	AC	444	3	3	3	3	3	3	122	110	77	3	3	3	3	95	169	3	9	638	90
2074	200	3	AC	531	3	3	3	3	3	107	3	3	3	114	90	3	3	179	3	17	76	714	100
2089	102	4	AC	444	3	3	26	45	3	534	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	777	109
2089	103	4	AC	444	3	3	3	70	3	534	3	3	3	3	3	3	3	534	3	3	3	885	124
2089	201	4	AC	444	3	175	3	3	3	269	3	3	3	265	3	3	3	3	3	3	3	821	115
2095	100	4	AC	444	3	3	3	3	3	3	235	48	3	34	3	86	3	90	3	3	-	637	91

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ค่าใช้จ่ายรายปี (บาทต่อตารางเมตร)																		
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	NPV	EUAC
2160	101	4	AC	444	3	3	138	105	3	3	3	3	3	430	3	3	3	3	3	3	-	763	109
2175	100	3	AC	531	3	3	50	81	140	3	12	47	255	65	3	3	89	3	3	3	-	865	124
2255	100	4	AC	444	3	3	160	430	3	3	3	3	3	337	3	3	3	3	3	-	-	955	140
2270	100	4	AC	444	3	3	3	3	3	3	233	3	3	29	50	3	3	3	3	3	3	591	83
3041	100	2	AC	735	3	3	3	3	460	3	3	3	768	3	3	3	3	3	143	3	-	1317	189
3076	102	4	AC	444	3	3	3	78	3	3	3	80	3	3	3	3	210	3	3	-	-	590	87
3087	101	2	AC	735	3	3	3	3	3	3	3	3	3	382	250	3	3	3	3	359	3	1007	141
3134	100	1	AC	750	3	3	3	3	634	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-	1128	166
3145	101	1	AC	750	3	3	3	8	3	3	3	3	3	3	186	3	3	3	3	169	-	853	122
3196	300	2	AC	735	3	80	3	3	3	536	3	3	3	3	3	3	3	3	53	47	-	1103	158
3224	100	4	AC	444	3	3	79	3	3	220	215	3	3	3	148	3	3	3	128	143	3	813	114
3245	402	4	AC	444	3	3	3	3	3	3	137	3	3	3	94	3	3	3	3	3	3	552	78
3246	100	2	AC	735	3	3	3	3	3	3	3	214	3	3	3	3	3	265	3	-	-	894	131
3264	101	1	AC	750	3	3	3	3	3	3	3	3	3	38	3	3	42	3	3	54	-	799	115
3318	101	3	AC	531	3	3	3	3	3	3	3	101	3	3	3	3	3	3	3	-	-	591	87
3318	102	3	AC	531	3	3	3	3	3	3	3	44	35	65	3	32	3	3	3	-	-	607	89
3351	101	3	AC	531	3	3	3	3	248	3	3	3	3	3	3	3	3	430	3	-	-	778	114
3390	100	4	AC	444	3	3	54	3	3	223	155	3	3	3	3	3	3	3	3	24	3	685	96

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ค่าใช้จ่ายรายปี (บาทต่อตารางเมตร)																		
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	NPV	EUAC
3481	201	3	AC	531	3	3	3	23	47	148	3	126	3	54	92	3	3	3	93	3	-	771	111
4016	200	พิเศษ	AC	765	3	3	3	3	3	3	3	3	143	3	3	3	3	3	3	-	-	836	123
4026	200	1	AC	750	3	3	3	3	3	3	3	3	630	3	3	3	3	3	3	-	-	996	146
4038	100	4	AC	444	3	3	70	196	3	37	221	3	3	3	3	3	3	3	3	147	92	787	111
4151	201	4	AC	444	3	3	3	88	93	3	3	3	3	94	3	425	3	3	3	3	3	707	99
4151	202	4	AC	444	3	3	3	3	3	3	3	3	3	81	3	3	3	3	3	3	3	490	69
4206	100	4	AC	444	75	3	3	3	3	269	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-	663	97
1	202	พิเศษ	PCC	883	3	3	403	58	3	5	3	3	3	3	331	3	3	3	3	445	241	1426	200
1	301	พิเศษ	PCC	883	3	3	230	261	10	5	886	239	3	3	270	22	3	3	3	886	3	1956	275
1	302	พิเศษ	PCC	883	3	3	47	43	180	3	297	6	3	3	108	164	3	104	3	323	62	1349	189
1	302	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	9	4	306	585	86	3	3	63	175	3	26	68	3	198	1465	206
1	3101	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	384	3	-	-	981	144
2	901	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	3	4	3	3	208	3	54	45	3	3	662	3	-	-	1150	169
2	902	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	7	3	236	3	3	14	3	3	3	3	3	3	3	-	1028	147
11	1500	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	3	3	215	3	3	34	5	3	3	3	3	3	528	-	1109	159
11	1600	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	3	3	48	3	3	70	349	3	3	200	482	3	3	-	1206	173
303	100	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	3	7	3	3	5	3	3	3	3	3	13	3	-	-	909	133
340	100	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	3	3	3	384	3	3	21	5	3	3	3	828	3	-	1233	177

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของสายทางตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (ต่อ)

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชั้นทาง	ผิวทาง	ค่าใช้จ่ายรายปี (บาทต่อตารางเมตร)																		
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	NPV	EUAC
340	200	พิเศษ	PCC	883	3	3	4	3	3	3	6	17	3	32	15	3	3	3	3	345	-	980	141
340	301	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	5	3	6	3	3	4	17	3	3	3	3	3	313	-	962	138
2023	100	พิเศษ	PCC	883	3	12	3	3	3	3	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	914	131
3113	100	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	3	3	3	14	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	909	130
3344	100	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	11	9	3	8	3	3	3	6	3	3	3	3	17	47	924	130
4016	200	พิเศษ	PCC	883	3	3	3	3	3	3	31	3	3	17	3	3	3	3	3	-	-	921	135

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายยุทธนา ปัญจธนศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2553 ระหว่างการศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอนและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University