การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์โดยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

นาย กชกร โง้วศิริ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974 – 13 – 0331 – 9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DECISION FRAMEWORK FOR ASPHALT OVERLAY INTERVENTION PERIOD BASED ON LIFE-CYCLE COST APPROACH

Mr. Kotchakorn Ngowsiri

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974 – 13 – 0331 – 9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์โดยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน
โดย	นายกชกร โง้วศิริ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศณุ ทรัพย์สมพล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….…… คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์)

……อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบูรณ์ ลุวีระ)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กชกร โง้วศิริ : การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์โดยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน (DECISION FRAMEWORK FOR ASPHALT OVERLAY INTERVENTION PERIOD BASED ON LIFE - CYCLE COST APPROACH) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. วิศณุ ทรัพย์สมพล, 196 หน้า. ISBN 974 – 13 – 0331 – 9

การกำหนดเกณฑ์สำหรับงานเสริมผิวแอสฟัลท์ในปัจจุบันของกรมทางหลวง พิจารณาจากระยะเวลาและสภาพบริการของสายทางเป็นหลัก ซึ่งที่มาของเกณฑ์การกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงดังกล่าวมาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเสื่อมสภาพของวัสดุผิวทางกับระยะเวลาภายใต้น้ำหนักบรรทุกสะสมที่กระทำต่อสายทางดังกล่าว โดยไม่ได้พิจารณาถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่มีต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์แบบจำลองที่เกี่ยวข้องสำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน เพื่อนำมากำหนดคาบการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม. โดยการกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงที่เหมาะสม พิจารณาจากคาบเวลาที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทางในแต่ละลักษณะต่ำสุดเป็นเกณฑ์

แบบจำลองที่เกี่ยวข้องสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ประกอบด้วย แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ และแบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน โดยแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติและผู้ใช้ถนน อ้างอิงมาจากงานวิจัยของ JICA และ THAI-RUE ตามลำดับ ในส่วนแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ พัฒนาโดยใช้ข้อมูลสายทางลาดยางที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง และข้อมูลดัชนีราคาที่เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงค่าวัสดุและค่าแรงที่เกี่ยวข้อง สำหรับนำมาคาดการณ์แนวโน้มของระดับราคางานในอนาคต จากนั้นจึงนำแบบจำลองดังกล่าวมาคำนวณค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำสุดตลอดอายุการใช้งานของสายทาง สำหรับจัดทำเกณฑ์การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์ต่อไป

ผลการวิเคราะห์พบว่า คาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาที่เหมาะสมขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความลาดชันของภูมิประเทศ ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน และสัดส่วนของรถหนัก เมื่อพิจารณาในภาพรวมโดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ซ่อมบำรุงเดิม ได้ข้อสรุปว่า สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า 2,000 คันต่อวัน จะมีคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ระหว่าง 5-14 ปี ขึ้นกับสัดส่วนรถหนักและสภาพความลาดชันของสายทาง โดยคาบเวลาที่ได้มีระยะเวลานานกว่าเกณฑ์เดิมโดยเฉลี่ยประมาณ 4 ปี ในขณะที่สายทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 20,000 คันต่อวัน จะมีคาบเวลาระหว่าง 1-3 ปี ซึ่งสั้นกว่าเกณฑ์เดิมโดยเฉลี่ยประมาณ 3 ปี แต่สำหรับกลุ่มสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 2,000-20,000 คันต่อวัน จะมีคาบเวลาแตกต่างจากเกณฑ์เดิมขึ้นกับลักษณะของสายทาง ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างมาจาก ผลกระทบของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเทียบกับค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงทางมีสัดส่วนสูงขึ้นเมื่อสายทางมีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น อันส่งผลให้คาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำซึ่งวิเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้มีคาบเวลานานกว่าเกณฑ์ซ่อมบำรุงเดิม ในทางตรงข้ามสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรสูง ผลกระทบจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจะสูงมาก โดยสภาพความเสียหายของผิวทางที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนทั้งสายทางเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้คาบเวลาการซ่อมบำรุงที่วิเคราะห์ได้สั้นกว่าเกณฑ์เดิม

เนื่องจากเกณฑ์ที่วิเคราะห์ได้จากงานวิจัยฉบับนี้คำนึงถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก ทำให้ความเหมาะสมในการใช้งานขึ้นกับแนวทางการกำหนดนโยบายของหน่วยงานเพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด โดยควรคำนึงถึงความจำเป็นทางด้านวิศวกรรมและสังคมร่วมด้วย ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในเชิงปฏิบัติจึงควรพิจารณาปัจจัยสำคัญประการอื่นที่เกี่ยวข้องในการวางแผนซ่อมบำรุง สำหรับนำมาประกอบการตัดสินใจให้เหมาะสมกับสถานการณ์

ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

4170201521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD : LIFE-CYCLE COSTS / ASPHALT OVERLAY / PERIODIC MAINTENANCE

KOTCHAKORN NGOWSIRI : DECISION FRAMEWORK FOR ASPHALT OVERLAY INTERVENTION PERIOD BASED ON LIFE - CYCLE COST APPROACH. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. WISANU SUBSOMPON, Ph.D., 196 pp. ISBN 974 – 13 – 0331 – 9

Current practice of the Department of Highways' criterion of asphalt overlay significantly lacks contemplation of economic impact on the total life-cycle costs of pavement age. The conceptual analysis of regular basis of road maintenance activities referring to service-life period and serviceability condition merely derives from correlation between pavement material deterioration rate and service life according to accumulative traffic loading. In this research, relevant life-cycle cost models are therefore developed in order to stipulate the intervention period of 50 mm. asphalt overlay. The optimal periodic maintenance periods are determined from the interval giving the minimum life-cycle cost in each of highway characteristics.

Relevant models for life-cycle cost analysis consist of pavement deterioration, routine maintenance cost, asphalt overlay and rehabilitation cost, and road user cost models. Routine maintenance and road user cost models are primarily based on JICA's and THAI-RUE's researches respectively. Road inventory data from the Department of Highways is collected to develop the asphalt overlay and rehabilitation cost models. Price indices are used to predict data acting as reliable indicators of any future variations in material prices and a labor wage. Considering all these models, the asphalt overlay interval criterion can be effectively arranged on the basis of the minimum total life-cycle costs of highway.

The results indicate that the appropriate level of asphalt overlay period depends on the gradient of topography (% gradient), average annual daily traffic (AADT), and percentage of heavy vehicle (%HV). In comparison with the existing maintenance criterion, it is recommended that highways having less AADT than 2,000 vehicles per day be overlaid at 5-14 interval years (longer than the existing standard about 4 years) depending on %HV and % gradient. While highways having more AADT than 20,000 vehicles per day should be overlaid at 1-3 interval years (shorter than the existing standard about 3 years). The difference between the overlay interval of highways having AADT in range of 2,000-20,000 vehicles per day and the existing standard relies on road characteristics. The difference in interval is because the portion of road user costs comparing with the total road maintenance costs, including routine and periodic maintenance, would rapidly increase, when the traffic volume has risen. This is the main reason why analyzed periods of low-traffic roads in this research are longer than the existing plan. On the contrary, a large number of extreme increasing effect of road user costs on high-traffic roads contributes the overlay period shorter than the existing plan, even though the tiny deterioration has occurred.

According to this research's final analytical criterion, laid emphasis on economic aspect, all relevant staffs whose aims at culmination of organizational effectiveness are supposed to encompass engineering and social factors through policy-making process. In practice, maintenance engineers have to pay great attention to entire relatively pivotal parameters in order to decide the most suitable maintenance policy.

Department	Civil Engineering	Student's signature ……..
Field of study	Civil Engineering	
Academic year	2000	Advisor's signature ……..…

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศณุ ทรัพย์สมพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษาและความคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยอย่างสูง อีกทั้งให้ความเอาใจใส่ดูแล และติดตามการทำวิจัยอย่างใกล้ชิดและสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบทำให้ผลการวิจัยเกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ ลุวีระ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานราชการต่างๆ ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านข้อมูลและประสบการณ์ ตลอดจนความคิดเห็นที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย ได้แก่ กรมทางหลวง กรมโยธาธิการ และสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมการค้าภายในกระทรวงพาณิชย์

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งสนับสนุนทางด้านการเงินและให้กำลังใจมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 6

1.4 วิธีการศึกษา 7

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

2 การสำรวจเชิงเอกสาร 9

2.1 วิธีการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงในปัจจุบัน 9

2.1.1 เกณฑ์การใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดในการบำรุงทาง 11

2.1.2 เกณฑ์การใช้ระดับของความเรียบผิวทางเป็นตัวกำหนด ในการบำรุงทาง 14

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

2.2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองพฤติกรรมทาง 16

2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองค่าใช้จ่าย 24

2.2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุ การใช้งานของถนน 27

2.3 บทสรุป 33

3 แนวทางการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 34

3.1 แนวทางการเลือกแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง 34

3.1.1 การเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง 34

3.1.2 การเลือกวิธีพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสม 38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3.2 แนวทางการพัฒนาแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย 40
3.2.1 ค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง 41
3.2.2 ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน 45
3.2.3 แนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจต่อแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย 50
3.3 บทสรุป 51
4 การพัฒนาแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย 53
4.1 การอ้างอิงแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย 54
4.1.1 แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ 54
4.1.2 แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน 56
4.1.3 หลักการวิเคราะห์ดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน 57
4.2 การพัฒนาแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ 58
4.2.1 แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ 59
4.2.2 แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์ 60
4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย 61
4.3.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง 61
4.3.2 การเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน 63
4.3.3 การเก็บข้อมูลดัชนีราคาที่มีผลต่อค่าใช้จ่าย 71
4.4 บทสรุป 75
5 การวิเคราะห์ข้อมูล 77
5.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง 77
5.1.1 แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง 77
5.1.2 แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง 79
5.1.3 แบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน 89
5.1.4 การจัดทำดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน 91

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน 95
5.2.1 แบบจำลองการคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภท 96
5.2.2 รายละเอียดและขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย ตลอดอายุการใช้งานของถนน 98
5.2.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน 100
5.3 ปัญหาและข้อจำกัดของข้อมูล 109
5.4 บทสรุป 110
6 ผลการวิจัย 112
6.1 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน 112
6.2 การปรับปรุงเกณฑ์ซ่อมบำรุงสำหรับการใช้งาน 117
6.3 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว 123
6.4 ความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการใช้งาน 128
6.5 บทสรุป 131
7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 132
7.1 สรุปผลการวิจัย 132
7.2 ข้อเสนอแนะ 135
รายการอ้างอิง 138
ภาคผนวก 141
ภาคผนวก ก. เกณฑ์การกำหนดสภาพความเสียหายและมาตรฐานชั้นทาง สำหรับทางหลวงทั่วประเทศ 142
ภาคผนวก ข. แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน 146
ภาคผนวก ค. แบบจำลองการคำนวณความเร็วดุลยภาพ 168
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ของถนนอย่างละเอียด 172
ภาคผนวก จ. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EUAC กับคาบเวลาซ่อมบำรุง ตามกำหนดเวลา 180
ประวัติผู้เขียน 196

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 สายทางบำรุงและก่อสร้างในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง ระหว่างปี 2538-2542 1

ตารางที่ 1.2 งบประมาณรายจ่ายระหว่างปี 2538-2542 ของกรมทางหลวง 2

ตารางที่ 1.3 งบประมาณงานซ่อมบำรุงที่ต้องการและที่ได้รับอนุมัติ ระหว่างปี 2541-2543 2

ตารางที่ 1.4 เกณฑ์การซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ หนา 50 มม. ของกรมทางหลวง 4

ตารางที่ 1.5 ปริมาณงานบำรุงตามกำหนดเวลาแยกตามประเภทงาน ระหว่างปี 2538-2542 6

ตารางที่ 1.6 ปริมาณงานบูรณะของกรมทางหลวงแยกตามประเภทผิวทาง ระหว่างปี 2538-2542 7

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การเสริมผิวโดยใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดในงานบำรุงทาง 12

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การใช้ระดับของ Roughness เป็นตัวกำหนดในงานบำรุงทาง 15

ตารางที่ 3.1 สภาพทางในแต่ละช่วงของค่า IRI 35

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์กำหนดสภาพภูมิประเทศ 37

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรสำหรับคำนวณค่าดัชนี K_a 55

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลราคายานพาหนะในประเทศ 66

ตารางที่ 4.3 ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของยานพาหนะไม่รวมยางรถ 67

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลราคายางรถในประเทศแยกตามชนิดยานพาหนะ 68

ตารางที่ 4.5 ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของยางรถ 68

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ 69

ตารางที่ 4.7 ราคาทางเศรษฐศาสตร์เฉลี่ยของน้ำมันเชื้อเพลิงแยกตามชนิดยานพาหนะ 69

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลค่าแรงพนักงานขับรถและผู้ช่วย 70

ตารางที่ 4.9 ค่าแรงพนักงานประจำรถ และมูลค่าเวลาของผู้โดยสาร 71

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างงานบำรุงทางเฉลี่ยตลอดปี รวมทั้งราคากลางอ้างอิงหรับงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ ระหว่างปี 2532-2542 72

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลดัชนีราคา CPA และ CPI สำหรับการคำนวณ K_{RUC} ระหว่างปี 2538-2542 75

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง แบ่งตามความลาดชันของภูมิประเทศ 78

ตารางที่ 5.2 จำนวนข้อมูลที่วิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง (K_m) แบ่งตามภาคต่างๆของประเทศ 80

ตารางที่ 5.3 ค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรภาค 81

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อน ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระแต่ละตัว สำหรับแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ 82

ตารางที่ 5.5 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์กับตัวแปรดัชนีราคาที่เกี่ยวข้อง โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนด้วยวิธี Stepwise 84

ตารางที่ 5.6 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์กับตัวแปรดัชนีราคาที่เกี่ยวข้อง โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนด้วยวิธี Stepwise 86

ตารางที่ 5.7 สัดส่วนเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายแต่ละชนิด และสัดส่วนเฉลี่ยรวมที่กระทบต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน แยกตามประเภทยานพาหนะ 93

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนตั้งแต่ปี 2538-2542 94

ตารางที่ 5.9 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน เมื่อดำเนินการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 1 ปี 104

ตารางที่ 5.10 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน เมื่อดำเนินการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 2 ปี 105

ตารางที่ 5.11 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน เมื่อดำเนินการบูรณะผิวแอสฟัลท์ทุก 12 ปี 106

ตารางที่ 5.12 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน เมื่อดำเนินการบูรณะผิวแอสฟัลท์ทุก 13 ปี 107

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทางที่มีความลาดชัน 3-5% มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน และสัดส่วนของรถหนัก 15 % ในรูปของค่า EUAC (บาทต่อ กม. ต่อความกว้าง 7.00 เมตร) 108

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 6.1 คาบเวลาการบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม. สำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี Life-Cycle Cost 113

ตารางที่ 6.2 คาบเวลาการบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม. สำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี Life-Cycle Cost 114

ตารางที่ 6.3 คาบเวลาการบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม. สำหรับภูมิประเทศเป็นเนินสลับภูเขาจนถึงเป็นภูเขาสูง เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี Life- Cycle Cost 115

ตารางที่ 6.4 สัดส่วนค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทตลอดอายุการใช้งาน แบ่งตามกลุ่มปริมาณจราจร สำหรับสายทางที่มีสัดส่วนรถหนัก 15 เปอร์เซ็นต์ 117

ตารางที่ 6.5 เกณฑ์การซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม. สำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบ ภายหลังการปรับปรุง 120

ตารางที่ 6.6 เกณฑ์การซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม. สำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน ภายหลังการปรับปรุง 121

ตารางที่ 6.7 เกณฑ์การซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม. สำหรับภูมิประเทศเป็นเนินสลับภูเขาจนถึงเป็นภูเขาสูง ภายหลังการปรับปรุง 122

ตารางที่ 6.8 การเปลี่ยนแปลงคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา ณ ระดับอัตราคิดลดระหว่าง 4-20 % เทียบกับอัตรา 12 % สำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบ และมีสัดส่วนรถหนักน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ 125

ตารางที่ 6.9 การเปลี่ยนแปลงคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา ณ ระดับอัตราคิดลดระหว่าง 4-20 % เทียบกับอัตรา 12 % สำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบ และมีสัดส่วนรถหนักระหว่าง 30-60 เปอร์เซ็นต์ 126

ตารางที่ 6.10 การเปลี่ยนแปลงคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา ณ ระดับอัตราคิดลดระหว่าง 4-20 % เทียบกับอัตรา 12 % สำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบ และมีสัดส่วนรถหนักมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ 127

ตารางที่ 6.11 เปรียบเทียบคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ ระหว่างเกณฑ์เดิมและเกณฑ์ใหม่ที่มาจากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน 130

ตารางที่ ก-1 มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ 145

ตารางที่ ข-1 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 148

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ข-2	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น	149
ตารางที่ ข-3	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองอัตราการสิ้นเปลืองยางรถ	150
ตารางที่ ข-4	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองค่าใช้จ่ายอะไหล่ สำหรับยานพาหนะบรรทุกเบา	150
ตารางที่ ข-5	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองค่าใช้จ่ายอะไหล่ สำหรับยานพาหนะบรรทุกหนัก	151
ตารางที่ ข-6	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองชั่วโมงซ่อมบำรุง สำหรับยานพาหนะบรรทุกเบา	152
ตารางที่ ข-7	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองชั่วโมงซ่อมบำรุง สำหรับยานพาหนะบรรทุกหนัก	152
ตารางที่ ข-8	ระยะทางการใช้งานเฉลี่ยตลอดอายุยานพาหนะแต่ละประเภท	153
ตารางที่ ข-9	อัตราส่วนชั่วโมงการใช้งานของยานพาหนะแต่ละประเภท	154
ตารางที่ ข-10	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองค่าใช้จ่ายดอกเบี้ยยานพาหนะแต่ละประเภท	155
ตารางที่ ข-11	อัตราค่าแรงชั่วโมงทำงานเฉลี่ยของพนักงานประจำรถแต่ละประเภท	156
ตารางที่ ข-12	อัตราค่าแรงชั่วโมงทำงานเฉลี่ยของผู้โดยสารแบ่งตามประเภทยานพาหนะ	157
ตารางที่ ค-1	ค่าคงที่สำหรับตัวแปรในแบบจำลองการคำนวณความเร็วดุลยภาพ	170
ตารางที่ ค-2	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองการคำนวณความเร็วดุลยภาพ	170
ตารางที่ ง-1	ค่า NPV และ EUAC ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทางที่มีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน สัดส่วนรถหนัก 15 % และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา	178

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของผิวทางกับน้ำหนักกระทำสะสม แบ่งตามความหนาของผิวทาง	13
รูปที่ 3.1	สรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสภาพความเสียหายของผิวทางแอสฟัลท์ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง	42
รูปที่ 4.1	องค์ประกอบของค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost	53
รูปที่ 5.1	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ระหว่างราคากลางอ้างอิง ของกรมทางหลวง กับที่ประมาณได้จากแบบจำลอง	85
รูปที่ 5.2	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์ระหว่างราคากลางอ้างอิง ของกรมทางหลวง กับที่ประมาณได้จากแบบจำลอง	87
รูปที่ 5.3	รูปแบบทั่วไปของ Deterioration Curve สัมพันธ์กับอายุของสายทาง	99
รูปที่ 5.4	รูปแบบทั่วไปของ Cash-Flow Diagram สำหรับค่าใช้จ่ายตลอดอายุ ของสายทาง	100
รูปที่ 5.5	Flow Chart การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน	101
รูปที่ ข-1	ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับ IRI	158
รูปที่ ข-2	ค่าใช้จ่ายน้ำมันหล่อลื่นสัมพันธ์กับ IRI	159
รูปที่ ข-3	ค่าใช้จ่ายยางรถสัมพันธ์กับ IRI	160
รูปที่ ข-4	ค่าใช้จ่ายชิ้นส่วนอะไหล่ยานพาหนะสัมพันธ์กับ IRI	161
รูปที่ ข-5	ค่าใช้จ่ายพนักงานซ่อมบำรุงรถสัมพันธ์กับ IRI	162
รูปที่ ข-6	ค่าใช้จ่ายค่าเสื่อมราคายานพาหนะสัมพันธ์กับ IRI	163
รูปที่ ข-7	ค่าใช้จ่ายดอกเบี้ยยานพาหนะสัมพันธ์กับ IRI	164
รูปที่ ข-8	ค่าใช้จ่ายพนักงานประจำรถสัมพันธ์กับ IRI	165
รูปที่ ข-9	มูลค่าเวลาของผู้โดยสารที่สูญเสียในการเดินทางสัมพันธ์กับ IRI	166
รูปที่ ข-10	ค่าใช้จ่ายรวมของผู้ใช้ถนนสัมพันธ์กับ IRI	167
รูปที่ ค-1	ความเร็วดุลยภาพสัมพันธ์กับ IRI	171
รูปที่ ง-1	ค่า IRI ของผิวทางเมื่อมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี ตลอดอายุการใช้งาน สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน สัดส่วนรถหนัก 15 % และมีภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา	173

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ง-2 ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติในแต่ละปี เมื่อมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี ตลอดอายุการใช้งาน สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน สัดส่วนรถหนัก 15 % และมีภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา 174

รูปที่ ง-3 ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์เมื่อกำหนดให้ดำเนินการทุก 5 ปี 175

รูปที่ ง-4 ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในแต่ละปี เมื่อมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี ตลอดอายุการใช้งาน สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน สัดส่วนรถหนัก 15 % และมีภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา 177

รูปที่ ง-5 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของสายทางในแต่ละปี เมื่อมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี ตลอดอายุการใช้งาน สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน สัดส่วนรถหนัก 15 % และมีภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา 177

รูปที่ จ-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า 200 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 183

รูปที่ จ-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 201-500 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 184

รูปที่ จ-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 501-1,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 185

รูปที่ จ-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 1,001-2,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 186

รูปที่ จ-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 2,001-4,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 187

รูปที่ จ-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 4,001-6,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 188

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ จ-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 6,001-10,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 189

รูปที่ จ-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 10,001-20,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 190

รูปที่ จ-9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 20,001-30,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 191

รูปที่ จ-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 30,001-50,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 192

รูปที่ จ-11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 50,001-70,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 193

รูปที่ จ-12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 70,001-100,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 194

รูปที่ จ-13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 100,000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ 195

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ถนนเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ เนื่องจากเป็นระบบคมนาคมขนส่งที่ใกล้ชิดและสะดวกที่สุดสำหรับประชาชน จากข้อมูลปี 2542 ระบุว่าสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงมีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 55,641 กิโลเมตร ซึ่งรายละเอียดของสายทางแต่ละประเภทแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1: สายทางบำรุงและก่อสร้างในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงระหว่างปี 2538 – 2542

ประเภทผิวทาง	ระยะทางต่อ 2 ช่องจราจร (กิโลเมตร)									
	2542	%	2541	%	2540	%	2539	%	2538	%
แอสฟัลท์	49,766	89	48,688	90	46,700	90	43,388	89	43,143	88
คอนกรีต	4,685	9	4,281	8	3,533	7	3,212	7	3,188	7
ลูกรัง	1,190	2	1,421	2	1,933	3	2,206	4	2,574	5
รวม	55,641	100	54,390	100	52,166	100	48,806	100	48,905	100

ที่มา : รายงานประจำปี กรมทางหลวง (2538 - 2542)

ในอดีตที่ผ่านมางานก่อสร้าง ปรับปรุง และขยายช่องจราจรเพิ่มขึ้นทุกปี ยกเว้นในช่วงที่เกิดวิกฤติเศรษฐกิจทำให้งบประมาณในส่วนนี้ถูกปรับลด แต่ความจำเป็นที่ต้องมีการก่อสร้างโครงการใหม่เพื่อรองรับการขยายตัวของประเทศยังเป็นสิ่งจำเป็น เมื่อโครงข่ายถนนเพิ่มมากขึ้นผลที่ตามมาก็คือค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้นตาม แต่สถานการณ์ในปัจจุบันพบว่างบประมาณด้านงานบำรุงรักษาถูกจำกัด ณ ระดับสัดส่วนประมาณร้อยละ 20 ของงบประมาณทั้งหมดที่ได้รับในแต่ละปีดังแสดงในตารางที่ 1.2 อีกทั้งรัฐบาลยังให้ความสำคัญกับการก่อสร้างโครงข่ายทางหลวงค่อนข้างมาก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนสายทางที่ต้องดูแลซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากทำให้ไม่เพียงพอต่อการซ่อมแซมให้

ครบทุกสายทางได้ ดังสังเกตจากตารางที่ 1.3 ซึ่งงบประมาณที่ได้รับต่ำกว่าความต้องการประมาณ 2 เท่า ทำให้ในแต่ละปีจะมีสายทางจำนวนมากที่จำเป็นต้องชะลอการซ่อมแซมออกไป

ตารางที่ 1.2: งบประมาณรายจ่ายระหว่างปี 2538-2542 ของกรมทางหลวง

แผนงานจัดสรรงบประมาณ	งบประมาณรายจ่ายประจำปี (ล้านบาท)									
	2542	(%)	2541	(%)	2540	(%)	2539	(%)	2538	(%)
ก. แผนงานบริหารงานการคมนาคมขนส่งทางบก	9,855	20.44	13,184	21.67	14,448	21.48	16,886	27.94	14,085	28.92
ข. แผนงานก่อสร้างทางหลวงพิเศษ	4,111	8.53	5,722	9.40	9,446	14.04	7,005	11.59	5,561	11.42
ค. แผนงานก่อสร้างทางหลวงแผ่นดิน	22,665	47.01	28,441	46.74	29,426	43.76	22,236	36.80	18,843	38.69
ง. แผนงานก่อสร้างทางและสะพานในกรุงเทพมหานครและรอบนอก	1,675	3.47	4,429	7.28	343	0.51	1,223	2.03	160	0.33
จ. แผนงานบำรุงรักษาทางและสะพาน	9,743	20.21	8,833	14.52	13,209	19.64	12,638	20.92	9,397	19.30
งบประมาณรายจ่ายรวมทั้งสิ้น	48,209	100.00	60,850	100.00	67,253	100.00	60,427	100.00	48,700	100.00

ที่มา: รายงานประจำปี กรมทางหลวง (2538 – 2542)

ตารางที่ 1.3: งบประมาณงานซ่อมบำรุงที่ต้องการและที่ได้รับอนุมัติระหว่างปี 2541-2543

งบประมาณงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง	ปีงบประมาณ		
	2541	2542	2543
งบประมาณที่อนุมัติ (ล้านบาท)	8,833	9,743	11,322
งบประมาณที่ต้องการ (ล้านบาท)	17,000	18,000	20,000

ที่มา: ฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง กรมทางหลวง

จากที่กล่าวมาตอนต้นแสดงถึงความจำเป็นในการวางแผนและกำหนดนโยบายซ่อมบำรุงให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจุบันการกำหนดกรอบสำหรับจัดทำงบประมาณรายจ่ายประจำปีงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงจะดำเนินการล่วงหน้าประมาณ 3 ปี ดังนั้นการวางแผนจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบโดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่มีความสำคัญไม่ว่าจะเป็นทางด้านวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ สังคม

และการพัฒนาประเทศ เพื่อให้สายทางมีสภาพดีและเหมาะสมต่อการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ที่งบประมาณมีจำกัดก็ยิ่งต้องเพิ่มความรอบคอบในการจัดทำมากขึ้น

ในปัจจุบันแผนงานบำรุงรักษาทางประกอบด้วยกิจกรรมหลัก 2 ประเภท ได้แก่

1. งานบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ประกอบด้วย งานบำรุงปกติ และงานบำรุงตามกำหนดเวลา
2. งานบำรุงเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) ประกอบด้วย งานบำรุงพิเศษและบูรณะ รวมทั้งงานซ่อมบำรุงฉุกเฉิน

การวางแผนงานส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับงานบำรุงเชิงป้องกันมากกว่าเชิงแก้ไข สาเหตุเนื่องมาจากการกำหนดนโยบายที่ว่าสายทางต้องมีสภาพเหมาะสมต่อการใช้งานได้ตลอดเวลา ดังนั้นงานบำรุงเชิงป้องกันจึงเป็นกิจกรรมหลักที่นำมาใช้ซ่อมแซมความเสียหายของถนนไม่ให้ลุกลามมากขึ้นจนกระทั่งทำให้โครงสร้างชั้นทางชำรุด อีกทั้งยังช่วยในการปรับปรุงให้สายทางมีรูป ขนาด และความแข็งแรงใกล้เคียงกับตอนก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งจะส่งผลต่อความสะดวกสบายและประหยัดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในระยะยาว ดังนั้นสามารถสรุปในภาพรวมได้ว่าการวางแผนและบริหารจัดการที่ดีย่อมส่งผลต่อการใช้งบประมาณให้เกิดประโยชน์และลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียหายของถนนได้ในระดับหนึ่ง

สำหรับงานบำรุงเชิงป้องกันดังที่กล่าวมาแล้วว่า ประกอบด้วยงานบำรุงปกติและงานบำรุงตามกำหนดเวลา โดยงานบำรุงปกติจะดำเนินการทุกปีเพื่อให้สายทางมีสภาพใช้งานได้ดีตามสมควรและป้องกันไม่ให้ความเสียหายลุกลามเพิ่มขึ้น ซึ่งกรมทางหลวงสามารถจัดสรรได้อย่างเพียงพอเกือบทุกสายทาง ในขณะที่งานบำรุงตามกำหนดเวลาซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเสริมผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม. เป็นงานบำรุงเพื่อทำให้สายทางมีสภาพดีและแข็งแรงใกล้เคียงกับตอนก่อสร้างแล้วเสร็จ การซ่อมบำรุงจะดำเนินการเมื่อครบกำหนดเวลาโดยมีเกณฑ์กำหนดให้ควรทำทุกระยะ 5-7 ปีขึ้นกับลักษณะสายทาง ดังแสดงในตารางที่ 1.4 สังเกตว่าคาบเวลาการซ่อมบำรุงขึ้นกับปริมาณจราจรของสายทางเป็นหลัก ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวถูกนำมาใช้งานตลอดระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา แม้ในปัจจุบันก็ยังใช้เป็นแนวทางในการวางแผนงานบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์

เมื่อค้นคว้าความเป็นมาของเกณฑ์จากตารางที่ 1.4 (กรมทางหลวง, 2526) พบว่าการกำหนดเกณฑ์ซ่อมบำรุงได้พิจารณาผลกระทบจากปัจจัยเรื่องสภาพความเสียหายของผิวทางเป็นหลัก โดยได้ทำการทดลองในโครงการนำร่องเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุผิวทาง ซึ่งผลการทดสอบระบุว่าน้ำหนักบรรทุกสะสมส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการเกิดความ

เสียหายของผิวทาง โดยสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงจะมีน้ำหนักกระทำสะสมต่อผิวและโครงสร้างชั้นทางมากกว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ เมื่อน้ำหนักกระทำสะสมเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้ผิวทางสูญเสียคุณสมบัติความเป็นอีลาสติกก็จะส่งผลต่อการเกิด Fatigue Cracking บนรอยต่อระหว่างผิวทางและชั้นพื้นทาง จากนั้นจะลุกลามมาสู่ชั้นผิวและขยายใหญ่ขึ้นจนทำให้ผิวทางไม่สามารถกระจายน้ำหนักลงสู่โครงสร้างชั้นทางได้ ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างตามมา สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมอธิบายไว้ในบทที่ 2

ตารางที่ 1.4: เกณฑ์การซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม. ของกรมทางหลวง

ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT)	คาบเวลาซ่อมบำรุง (ปี)
> 1,500	5
750 – 1,500	6
< 750	7

ที่มา: กองบำรุง กรมทางหลวง

พฤติกรรมดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคาบเวลาที่เหมาะสมต่อการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาโดยทำการปรับปรุงให้สอดคล้องต่อการใช้งานในประเทศไทย ซึ่งเกณฑ์ทั่วไปของสภาพความเสียหายที่นำมาใช้พิจารณาซ่อมบำรุง ได้แก่ ความเสียหายหนักของสายทางไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และความเสียหายเบาไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่สำรวจ ซึ่งรายละเอียดของเกณฑ์กำหนดประเภทความเสียหายหนักและเบาแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันประเทศมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ปริมาณจราจรในแต่ละสายทางเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นการวางแผนและกำหนดนโยบายซ่อมบำรุงจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ถนนเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่ง นอกเหนือจากปัจจัยเรื่องความเสียหายที่ใช้กันมาในอดีต ซึ่งผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ถนนโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ ผลกระทบต่อความพึงพอใจของสภาพบริการและค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ซึ่งประเด็นเรื่องค่าใช้จ่ายจะเป็นปัจจัยทางเศรษฐ-ศาสตร์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการพิจารณาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุบริการของสายทาง นอกจากนี้งบประมาณซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงที่มีจำกัดก็เป็นเหตุผลสำคัญอีกประการหนึ่งที่

ทำให้ต้องคำนึงถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เพิ่มมากขึ้น แทนที่จะพิจารณาเฉพาะผลจากความเสียหายเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปความสำคัญของปัญหาได้ว่า

1. การกำหนดเกณฑ์ซ่อมบำรุงทางตามกำหนดเวลาด้วยวิธีการเสริมผิวแอสฟัลท์แบบเดิม พิจารณาเฉพาะผลกระทบจากปัจจัยเรื่องสภาพความเสียหายของผิวทางแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้คำนึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่มีต่อค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดตลอดอายุการใช้งาน
2. เกณฑ์ซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีการเสริมผิวแอสฟัลท์แบบเดิม ถูกใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน แต่ไม่มีการปรับปรุงให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน ซึ่งสังเกตได้จากตารางที่ 1.4 ที่มีการกำหนดระดับปริมาณจราจรในแต่ละกลุ่มที่ค่อนข้างต่ำ ตัวอย่างเช่น กำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงทุก 5 ปี สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 1,500 คันต่อวัน ซึ่งเป็นการกำหนดระดับปริมาณจราจรที่ต่ำเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในปัจจุบันที่มากกว่า 6,000 คันต่อวัน ทำให้เกณฑ์เดิมไม่เหมาะสมต่อการใช้งานสำหรับกลุ่มสายทางที่มีปริมาณจราจรสูง
3. ตัวแปรที่นำมาพิจารณาเพื่อกำหนดเกณฑ์ซ่อมบำรุง คำนึงถึงเฉพาะตัวแปรปริมาณจราจรเพียงอย่างเดียว ซึ่งในความเป็นจริงตัวแปรที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญอาจมีมากกว่า เช่น ตัวแปรสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ สัดส่วนของรถหนัก เป็นต้น
4. การวางแผนเพื่อกำหนดกรอบสำหรับจัดทำงบประมาณรายจ่ายซ่อมบำรุงประจำปีต้องดำเนินการล่วงหน้าประมาณ 3 ปี ซึ่งการใช้เกณฑ์เดิมมาพิจารณาเพื่อกำหนดสายทางที่ต้องซ่อมบำรุงแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์อาจทำให้การจัดสรรงบประมาณไม่สอดคล้องกับความจำเป็น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นมาตรฐานในการกำหนดคาบเวลางานซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน
2. เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง (Pavement Deterioration Model) จากข้อมูล Roughness ของกรมทางหลวง สำหรับใช้ในการติดตามและคาดการณ์สภาพความเสียหายของผิวทางในอนาคต
3. เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ข้อมูลที่ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นข้อมูลที่สามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ (Quantitative Data)
2. ใช้ข้อมูลสายทางที่เป็นถนนลาดยาง (Flexible Pavement) ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง ที่มีความกว้างต่อ 2 ช่องจราจร เท่ากับ 7.00 เมตร เนื่องจากเป็นมาตรฐานชั้นทางส่วนใหญ่ดังแสดงในภาคผนวก ก.
3. วิธีการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาพิจารณาเฉพาะการเสริมผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม. เนื่องจากเป็นวิธีการหลักที่ดำเนินการในปัจจุบันดังแสดงในตารางที่ 1.5 สำหรับวิธีการบูรณะจะพิจารณาเฉพาะการบูรณะผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม. โดยทำการปรับปรุงจนถึงชั้นพื้นทาง (Base) เท่านั้น

ตารางที่ 1.5: ปริมาณงานบำรุงตามกำหนดเวลาแยกตามประเภทงาน ระหว่างปี 2538 – 2542

ประเภทงานบำรุงตามกำหนดเวลา	ปริมาณงาน (กิโลเมตร ต่อ 2 ช่องจราจร)									
	2542	%	2541	%	2540	%	2539	%	2538	%
เสริมผิวแอสฟัลท์ หนา 50 มม. (Overlay)	1,600	68	1,282	76	2,647	71	2,205	70	1,795	73
ปรับระดับผิวแอสฟัลท์ (Serface Leveling)	756	32	405	24	1,064	29	926	30	664	27
รวม	2,356	100	1,687	100	3,711	100	3,131	100	2,459	100

ที่มา : ฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง กรมทางหลวง

4. การวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Costs) ที่สามารถแสดงได้อย่างชัดเจนเท่านั้น ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ งานบำรุงตามกำหนดเวลา งานบูรณะ และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน โดยไม่รวมค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect Costs) เช่น ค่าใช้จ่ายเรื่องสภาพแวดล้อม (Environmental Costs) ค่าใช้จ่ายการพัฒนา (Development Costs) หรือค่าใช้จ่ายด้านสังคม (Social Costs) ที่จะส่งผลต่อการยกระดับมาตรฐานการศึกษา สาธารณสุข การเพิ่มผลผลิต หรือการขยายตลาด เป็นต้น

5. การเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง พิจารณาจากข้อมูลงบประมาณซึ่งได้แก่ ข้อมูลราคากลางที่ประมาณราคาโดยกองบำรุงและสำนักทางหลวงเท่านั้น จะไม่ใช้ราคาที่มาจากการประมูลงาน

ตารางที่ 1.6: ปริมาณงานบูรณะของกรมทางหลวงแยกตามประเภทผิวทางระหว่างปี 2538 - 2542

ประเภทผิวทาง	ปริมาณงาน (กิโลเมตร ต่อ 2 ช่องจราจร)									
	2542	%	2541	%	2540	%	2539	%	2538	%
แอสฟัลท์หนา 50 มม.	625	81	435	75	920	73	502	77	344	79
Chip Seal	146	19	145	25	340	27	153	23	91	21
รวม	771	100	580	100	1,260	100	655	100	435	100

ที่มา: ฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง กรมทางหลวง

1.4 วิธีการศึกษา

1.4.1. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. สำรวจและรวบรวมข้อมูลเชิงเอกสารจากงานวิจัยในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการกำหนดปัจจัยต่างๆสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลอง โดยประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับเกณฑ์ปฏิบัติของกรมทางหลวง
2. รวบรวมข้อมูลและเอกสาร ประกอบด้วย ค่าดัชนีความเรียบสากล ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากกรมทางหลวงและหน่วยงานอื่น
3. การสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องจากกองบำรุง สำนักแผนและโครงการทางหลวง และสำนักวิเคราะห์วิจัยฯ กรมทางหลวง เพื่อขอรับคำแนะนำในการปรับปรุงแบบจำลองและผลการวิเคราะห์ ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิผล

1.4.2. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง
2. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย
3. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน (Life-Cycle Cost)

1.4.3. นำเสนอผลการวิจัยและสรุปผลการวิจัย

1. นำเสนอผลการวิเคราะห์ต่อผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง เพื่อขอรับคำแนะนำในการปรับปรุงแบบจำลอง วิธีการวิเคราะห์ และแนวทางการนำไปใช้งาน เพื่อให้สามารถนำเกณฑ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม
2. สรุปผลการวิจัยและจัดทำรายงานผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำเกณฑ์ซ่อมบำรุงทางดังกล่าวมาใช้สำหรับการวางแผนและกำหนดนโยบายงานบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยมองถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ยังนำมาประกอบการตัดสินใจร่วมกับเกณฑ์เดิมเพื่อประยุกต์ใช้ในการบริหารงานบำรุงทาง โดยสามารถพิจารณาให้ครอบคลุมทั้งปัจจัยด้านสังคมและเศรษฐศาสตร์ร่วมกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การสำรวจเชิงเอกสาร

การบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงทางเป็นกระบวนการที่นำทรัพยากรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในด้านวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และสังคม โดยหลักการที่นำมาพิจารณาประกอบด้วยเกณฑ์ที่สำคัญ 3 ประการได้แก่ เกณฑ์การกำหนดช่วงระยะเวลาซ่อมบำรุงที่เหมาะสม การกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงที่สอดคล้องกับสภาพความเสียหาย และการประเมินประสิทธิผลในงานซ่อมบำรุงดังกล่าว การปฏิบัติงานในปัจจุบันของกรมทางหลวงแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะได้รับนโยบายสำหรับการวางแผนและดำเนินการเพื่อให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ทั้ง 3 ข้อ วิธีการซ่อมบำรุงต่างๆได้ถูกปรับปรุงและพัฒนาให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น มีการวางระบบปฏิบัติงานที่ชัดเจน ลดความซ้ำซ้อนในหน้าที่ความรับผิดชอบเพื่อบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงหัวข้อที่สำคัญ 2 ส่วน ส่วนแรกอธิบายความเป็นมาและรายละเอียดของกิจกรรมงานซ่อมบำรุงที่กรมทางหลวงดำเนินการในปัจจุบันเพื่อให้ทราบภาพรวมและเข้าใจวิธีการบำรุงรักษาทั้งหมด สำหรับส่วนที่สองเป็นการสรุปการค้นคว้าเชิงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการอ้างอิงหลักเกณฑ์และแนวคิดในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยในอนาคต

2.1 วิธีการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงในปัจจุบัน

ในปัจจุบันแผนงานบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวง แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. งานบำรุงปกติ (Routine Maintenance)
2. งานบำรุงตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance)
3. งานบำรุงพิเศษและบูรณะ (Special Maintenance and Rehabilitation)
4. งานฉุกเฉิน (Emergencies)

1. งานบำรุงปกติ (Routine Maintenance) เป็นงานบำรุงที่กระทำทุกปี แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงขอบเขตการทำงานตามความเหมาะสม เพื่อให้ทางหลวงอยู่ในสภาพใช้งานได้ดีตามสมควร และป้องกันไม่ให้ความเสียหายลุกลามเพิ่มขึ้น ลักษณะงานบำรุงปกติ มีดังนี้

- งานอุดรอยแตก (Filling Cracks)
- งานฉาบผิวทาง (Surface Sealing)
- งานปรับระดับ (Surface Leveling)

- งานปะซ่อมผิวทาง (Skin Patching)
- งานขุดซ่อมผิวทาง (Deep Patching)
- งานปาดแต่งผิวทางแอสฟัลท์ (Surface Grinding)
- งานทำความสะอาดผิวทาง (Roadway Cleaning)

โดยให้แต่ละแขวงการทางและสำนักทางหลวงเป็นผู้รับผิดชอบในการซ่อมบำรุงตามพื้นที่ที่ได้รับมอบหมาย ทั้งนี้หน่วยงานอาจเป็นผู้ดำเนินการเองหรือจัดจ้างบุคคลหรือองค์กรภายนอกเข้ามาดำเนินการ โดยงบประมาณจะถูกจัดสรรจากส่วนกลางโดยให้กองบำรุงรับไปดำเนินการจัดสรรให้แต่ละส่วนต่อไป

2. **งานบำรุงตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance)** เป็นงานซ่อมบำรุงซึ่งต้องดำเนินการเมื่อถึงเวลาที่กำหนดเพื่อให้คงรูป ขนาด และความแข็งแรงใกล้เคียงกับตอนก่อสร้างแล้วเสร็จแบ่งออกเป็น

- งานฉาบผิวแอสฟัลท์ (Asphalt Seal-Coating) เป็นการฉาบผิวแอสฟัลท์ด้วย Fog Seal, Aggregate Seal หรือ Slurry Seal บนผิวทางเดิมเพื่ออุดรอยแตกและเพิ่มความฝืดของผิวทางการบำรุงประเภทนี้ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของผิวทางเดิม แต่อาจมีผลบ้างต่อความเรียบของผิวทาง เพียงแต่ผลกระทบจะน้อยมากจนไม่นำมาพิจารณาถึงข้อดีในส่วนนี้ แต่ประโยชน์โดยตรงคือ การป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านรอยแตกของผิวทางจนส่งผลต่อความเสื่อมสภาพของโครงสร้างชั้นพื้นทาง โดยปกติจะดำเนินการทุก 2-3 ปี ภายหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์
- การเสริมผิวแอสฟัลท์ (Asphalt Overlay) เป็นการซ่อมบำรุงผิวทางให้แข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักไว้เหมือนตอนก่อสร้างแล้วเสร็จด้วยวิธีการปูทับผิวทางเดิมโดยใช้วัสดุผสมแอสฟัลท์ (Cold mix หรือ Hotmix) การบำรุงประเภทนี้จะมีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของผิวทางและลด Roughness ของถนนอย่างทันทีทันใดจนมีสภาพใกล้เคียงกับตอนก่อสร้างแล้วเสร็จ

3. **งานบำรุงพิเศษและบูรณะ (Special Maintenance and Rehabilitation)** เป็นงานบำรุงและปรับปรุงทางหลวงที่ชำรุดเสียหายมากจนไม่สามารถทำการซ่อมบำรุงโดยวิธีการบำรุงปกติหรือตามกำหนดเวลาได้ สำหรับการซ่อมบำรุงประเภทนี้เป็นการแก้ไขความเสียหายถึงชั้นคันทาง (Subgrade) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) หรือชั้นพื้นทาง (Base) ตามแต่สภาพความเสียหาย ซึ่งสาเหตุที่มักพบบ่อย 3 ประการจากการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญด้านงานบำรุงทางของกรมทางหลวงสามารถเรียงตามลำดับได้ดังนี้

- ขาดการบำรุงรักษาที่ดีหรือไม่เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในแผน อันเนื่องมาจากขาดการเอาใจใส่ของบุคคลที่รับผิดชอบ หรือมาจากงบประมาณที่ไม่เพียงพอในการบำรุงให้ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้
- การเพิ่มปริมาณจราจรที่มากขึ้นอย่างผิดปกติ อันเนื่องมาจากบริเวณดังกล่าวมีโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งนอกเหนือจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรแล้ว น้ำหนักบรรทุกที่เกินพิกัดก็ส่งผลต่อความเสียหายอย่างมากเช่นกัน
- การก่อสร้างที่ไม่ได้คุณภาพของชั้นโครงสร้างทางและผิวทางก็เป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งที่ทำให้เกิดความชำรุดเสียหายรุนแรงก่อนเวลาอันสมควร

4. **งานฉุกเฉิน** (Emergencies) เป็นงานซ่อมบำรุงที่เป็นผลมาจากการชำรุดเสียหายของถนนในกรณีฉุกเฉิน ได้แก่

- งานซ่อมทางที่ถูกอุทกภัย (Flood Repairing)
- งานแก้สไลด์ทาง (Major Land Slides)
- งานซ่อมทางจากอุบัติเหตุร้ายแรง (Major Accidents)

จากรายละเอียดของงานบำรุงทั้ง 4 ประเภท พิจารณาได้ว่าความจำเป็นที่ต้องมีงานบำรุงเชิงแก้ไขซึ่งได้แก่งานบำรุงประเภทที่ 3 และ 4 มักเกิดจากสาเหตุปัจจัยภายนอกซึ่งยากต่อการทำนายและควบคุม แต่สำหรับงานบำรุงเชิงป้องกันซึ่งได้แก่งานบำรุงประเภทที่ 1 และ 2 ถ้ามีการวางแผนและการจัดการที่ดีแล้วก็จะส่งผลต่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากผลของความเสียหายต่อสายทางได้ สำหรับการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาซึ่งเป็นงานบำรุงเชิงป้องกันประเภทหนึ่งของกรมทางหลวง มีข้อกำหนดและแผนงานที่ใช้เป็นเกณฑ์อยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่การใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนด และการใช้ระดับของความเรียบถนน (Roughness) เป็นตัวกำหนด

2.1.1 เกณฑ์การใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดในการบำรุงทาง (Time Interval)

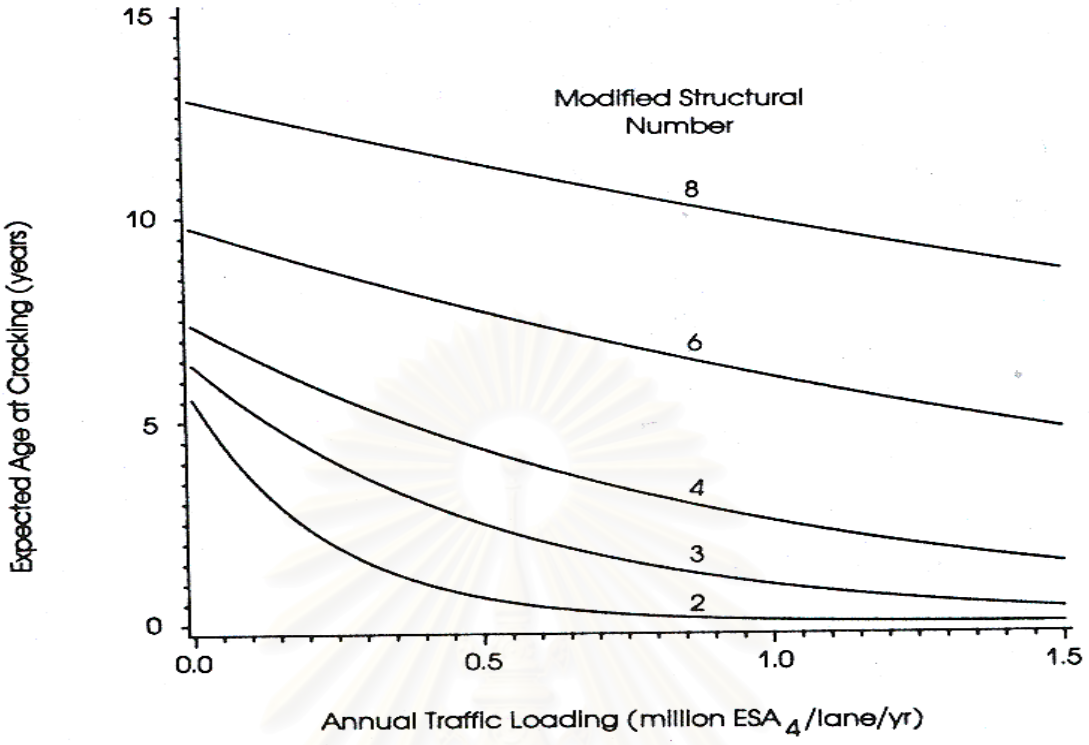
สำหรับเกณฑ์การใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนด กรมทางหลวงรับมาปฏิบัติเป็นระยะเวลานานกว่า 20 ปี แม้กระทั่งในปัจจุบันก็ยังใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการกำหนดกรอบการวางแผนในงานซ่อมบำรุงตั้งแต่การศึกษาความเหมาะสมโครงการ รวมไปถึงใช้เป็นกรอบสำหรับการวางแผนซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน โดยเกณฑ์ดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1: เกณฑ์การเสริมผิวโดยใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนด

ชนิดของผิวทาง	ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT)	คาบเวลาซ่อมบำรุง (ปี)
ลาดยาง	> 1,500	5
	750 – 1,500	6
	< 750	7
ลูกรัง	> 750	2
	400 – 750	4
	150 – 400	6
	< 150	7

ที่มา: กองบำรุง กรมทางหลวง

ตารางที่ 2.1 แสดงเกณฑ์การใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดสำหรับวิธีการเสริมผิวโดยแบ่งตามประเภทของผิวทาง และปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (Annual Average Daily Traffic: AADT) ซึ่งที่มาของเกณฑ์ซ่อมบำรุงสำหรับผิวทางลาดยาง มาจากการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุผิวทาง ณ ความหนาต่างๆภายใต้น้ำหนักบรรทุกสะสม (Raithby และ Sterling, 1972) เพื่อหาอัตราเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังการรับน้ำหนักกระทำ ผลการทดสอบจากรูปที่ 2.1 ระบุว่าน้ำหนักกระทำสะสมมีอิทธิพลต่อการเสื่อมสภาพของผิวทาง และเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยเรื่องความหนาของผิวก็ได้ผลสรุปว่าน้ำหนักบรรทุกมีผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของผิวทางชนิดบางมากกว่าชนิดหนา ตัวอย่างเช่น เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 2 เท่า จาก 0.15 เป็น 0.30 Million Equivalent Standard Axial Load (ESAL) จะทำให้ผิวทางที่มีค่าดัชนีโครงสร้าง (Structural Number: SN) ระหว่าง 2 ถึง 4 (หนา 30-60 มม.) มีอายุบริการลดลงประมาณ 16 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผิวทางที่มีค่า SN ระหว่าง 6 ถึง 8 (หนา 60-100 มม.) จะมีอายุบริการลดลงเพียง 4 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น สำหรับค่า SN ของผิวทางแอสฟัลท์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงมีค่าประมาณ 3-4 (หนา 50 มม.) ยกเว้นบางสายทางที่ไม่สามารถปูผิวที่ความหนาดังกล่าวได้ ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากข้อจำกัดเรื่องงบประมาณจึงมีความจำเป็นต้องลดความหนาลงมาแต่ยังเพียงพอต่อความสามารถในการรับน้ำหนัก ซึ่งโดยทั่วไปความหนาที่กำหนดจะมีค่าประมาณ 25-40 มม.



รูปที่ 2.1: ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของผิวทางกับน้ำหนักกระทำสะสมแบ่งตามความหนาของผิวทาง

เหตุผลที่ใช้ความเสียหายประเภทรอยแตก (Cracking) เป็นเกณฑ์ในการกำหนดความเสื่อมสภาพของผิวทางแอสฟัลท์ เนื่องจากอิทธิพลของรอยแตกบนผิวทางส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความล้า (Fatigue) ของวัสดุผิว และกระทบต่อกำลังของโครงสร้างชั้นทางในระยะเวลาต่อมา สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อผิวทางมีรอยแตกจะทำให้กำลังของวัสดุผิวลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อความเสียหายที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งความรุนแรงถึงระดับหนึ่งเมื่อผิวทางไม่สามารถกระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ชั้นโครงสร้างทางได้ ส่งผลให้บริเวณที่เกิดความเสียหายดังกล่าวมีพฤติกรรมการรับน้ำหนักแบบ Point Load รวมทั้งผลจากสภาพอากาศโดยเฉพาะปัจจัยจากน้ำฝนที่ซึมลงสู่โครงสร้างชั้นทาง ก็ยิ่งเร่งให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงจนอาจต้องมีการรื้อโครงสร้างเดิมเพื่อก่อสร้างใหม่ได้ สำหรับผลกระทบจากปัจจัยเรื่องน้ำหนักบรรทุกจะมีอิทธิพลอย่างสูง เมื่อพิจารณาในลักษณะของน้ำหนักกระทำสะสมโดยการคำนวณเทียบกับน้ำหนักเพลามาตรฐาน 18,000 lb (ESAL) ซึ่งการคำนวณค่า ESAL พิจารณาจาก Damaging Factor หรือ Truck Factor ของยานพาหนะแต่ละประเภท

2.1.2 เกณฑ์การใช้ระดับของความเรียบผิวทางเป็นตัวกำหนดในการบำรุงทาง (Roughness Intervention Level)

จากข้อกำหนดของ The American Association of State Highway Officials หรือ AASHO (1960) ระบุว่าแนวความคิดสำหรับการกำหนดสภาพบริการของสายทางควรมาจากความคิดเห็นและการยอมรับของผู้ใช้ทางเป็นสำคัญ โดยได้ตั้งกลุ่มผู้ประเมิน (Raters) จากผู้ใช้ทางทุกสาขาอาชีพรวมทั้งผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับงานทาง เพื่อกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนสภาพบริการของสายทางในแต่ละสภาพไว้ดังนี้

คะแนน 4 – 5 สภาพบริการดีมาก (Very Good)

คะแนน 3 – 4 สภาพบริการดี (Good)

คะแนน 2 – 3 สภาพบริการพอใช้ (Fair)

คะแนน 1 – 2 สภาพบริการเลว (Poor)

คะแนน 0 – 1 สภาพบริการเลวมาก (Very Poor)

ค่าคะแนน 0 กำหนดไว้สำหรับถนนที่รถไม่สามารถวิ่งผ่านได้เลย และคะแนน 5 สำหรับถนนที่มีสภาพในการขับขี่สมบูรณ์แบบ โดยคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มผู้ประเมินเรียกว่า “คะแนนสภาพบริการของสายทาง (Present Serviceability Rating: PSR)” ต่อมาภายหลังมีการพัฒนาการเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายประเภทต่างๆโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดสภาพความเสียหายเพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์จนได้ค่าดัชนีเรียกว่า “ดัชนีสภาพบริการของสายทาง (Present Serviceability Index: PSI)” และมีการเปรียบเทียบคะแนนให้สอดคล้องกับ PSR คือ 0-5 เท่ากัน ผลการวิเคราะห์ได้แบบจำลองการประเมินดัชนีสภาพบริการของถนนลาดยางดังสมการที่ 2.1

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1+SV) - 0.01\sqrt{C+P} - 1.38\,(RD)^2 \qquad (2.1)$$

เมื่อ PSI = Present Serviceability Index

SV = Slope Variance by Slope Profilometer

C = Major Cracking (ft^2/1000 ft^2 of area)

P = Patching (ft^2/1000 ft^2 of area)

RD = Average Rut Depth of both wheel Paths (in)

จากสมการความสัมพันธ์ที่ 2.1 พบว่าความเรียบของผิวทางมีผลกระทบต่อดัชนีสภาพบริการ (PSI) ของสายทางถึง 95-97 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังวิเคราะห์พบว่าผู้ใช้ถนนจะไม่ยอมรับสภาพบริการของสายทางที่มีคะแนนต่ำกว่า 2.5 สำหรับทางสายประธาน และต่ำกว่า 2.2 สำหรับทางสายรองประธาน ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้ AASHO ได้ใช้เป็นแนวทางอย่างหนึ่งในการออกแบบโครงสร้างทางให้มีสภาพอยู่ในช่วงบริการที่ผู้ใช้ถนนยอมรับได้

สำหรับกรมทางหลวงได้นำเอาหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสภาพผิวทางลาดยาง โดยจัดทำระบบบริหารงานบำรุงทาง (Thailand Pavement Management System: TPMS) ขึ้นมาใช้งานเป็นครั้งแรกในปี 2527 เรียกว่า “ระบบ Burrow and Snaith Management System (BSM)” ซึ่งเป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษแล้วนำมาปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพถนนและการจราจรในประเทศไทย สำหรับการตรวจสอบสภาพผิวทางพิจารณาจากปริมาณความเสียหาย ลักษณะความเสียหาย และปริมาณจราจร เพื่อมาจัดทำระดับค่าความเสียหาย (Defect Rating Value: DRV) ของแต่ละสายทาง แต่เนื่องจากการสำรวจสภาพความเสียหายโดยวิธีดังกล่าวทำได้ช้าและมักเสร็จไม่ทันในปีงบประมาณ ส่งผลให้ในปี 2532 กรมทางหลวงได้นำเครื่องมือที่เรียกว่า Bump Integrator มาใช้วัดค่า Roughness ของถนนโดยค่าที่วัดได้ต้องนำมาปรับเพื่อเทียบกับค่าความเรียบมาตรฐานในหน่วยของค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) โดยนำมาจัดทำเป็นเกณฑ์ซ่อมบำรุงสำหรับสายทางลาดยางดังตารางที่ 2.2 สำหรับตารางที่ 2.2 แสดงเกณฑ์การใช้ระดับของความเรียบถนนเป็นตัวกำหนดเวลาซ่อมบำรุง สำหรับดัชนีที่นำมาใช้กำหนดค่าความเรียบของผิวทาง ได้แก่ ค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) ซึ่งยึดถือตามมาตรฐานของธนาคารโลก โดยแบ่งประเภทของการซ่อมบำรุงออกเป็น งานบูรณะและเสริมผิวแอสฟัลท์

ตารางที่ 2.2: เกณฑ์การใช้ระดับของ Roughness เป็นตัวกำหนด

ประเภทของสายทาง	ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน (AADT)	การบูรณะ (Rehabilitation)		การบำรุงตามกำหนดเวลา (Overlay)		
		ระดับของ IRI ณ จุดปรับปรุง	ระดับของ IRI หลังปรับปรุง	ระดับของ IRI ณ จุดปรับปรุง	ระดับของ IRI หลังปรับปรุง	
					50 มม.	80 มม.
ทางหลวงสายประธาน		5.5	2.5	3.8	2.8	2.5
ทางหลวงสายรองประธาน		5.5	2.5	3.8	2.8	2.5
ทางหลวงจังหวัด	> 1,000	5.5	2.5	4.0	2.9	-**
	< 1,000	6.0	2.5	4.5	3.0	-**

ที่มา: กองบำรุง กรมทางหลวง

** จะไม่ใช้วิธีการ Overlay 80 มม. สำหรับทางหลวงจังหวัด

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดเรื่องการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการบำรุงทางในประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มมาตั้งแต่ปี 1980-86 เนื่องจากแนวทางเดิมได้กำหนดสภาพบริการต่ำสุดที่ยอมรับได้ (Minimum Acceptable Level of Service) โดยพิจารณาจากการประเมินของผู้ใช้ทางเป็นหลัก ซึ่งผู้ใช้ถนนทุกคนย่อมต้องการสายทางที่มีสภาพดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในทางกลับกันการจะคงไว้ซึ่งสภาพที่ดีตลอดอายุการใช้งานจำเป็นต้องมีมาตรฐานในการบำรุงรักษาที่สูงผลที่ตามมาก็คือ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงที่เพิ่มขึ้นซึ่งก็มาจากภาษีของประชาชน ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดไม่ว่าเป็นในส่วนของผู้ใช้ถนนหรือมาจากงบประมาณซ่อมบำรุงภาครัฐ ท้ายที่สุดแล้วก็มาจากประชาชนผู้เสียภาษีทั้งสิ้น จากข้อเท็จจริงดังกล่าวทำให้เกิดแนวความคิดในการกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดช่วงอายุการใช้งานของถนนต่ำสุด และแนวทางหนึ่งที่ยอมรับกันเป็นสากลก็คือการวิเคราะห์ด้วยวิธี Life-Cycle Cost

สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลักได้แก่

1. งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองพฤติกรรมทาง (Pavement Performance Model) หรือแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง (Pavement Deterioration Model)
2. งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองค่าใช้จ่าย (Cost Model) ประกอบด้วย แบบจำลองการคำนวณค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางและค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน
3. งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์โดยวิธี Life-Cycle Cost

2.2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองพฤติกรรมทาง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมทาง (Pavement Performance Model) ได้มีการวิจัยและทดลองกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศเมื่อ 20 กว่าปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา จุดประสงค์หลักเพื่อจะได้อาศัยแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ทำนายพฤติกรรมของผิวทางในอนาคตได้อย่างแม่นยำ รวมทั้งใช้ประโยชน์ในการจัดระบบและวางแผนการบำรุงรักษาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีงบประมาณจำกัดทำให้ทราบว่าควรจะจัดลำดับความสำคัญของสายทางที่ต้องซ่อมบำรุงอย่างไร นอกจากนี้การอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับสภาพผิวทางและการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองทำให้สามารถเลือกวิธีการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาพของสายทางนั้นได้ (Al-Suleiman, et al. 1992)

การพัฒนาแบบจำลองพฤติกรรมทางในช่วงเริ่มต้นมีปัญหาเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูลที่นำมาใช้พัฒนาแบบจำลอง กล่าวคือในงานวิจัยบางชิ้นประสบปัญหาเนื่องจากฐานข้อมูลที่ใช้มีข้อมูลไม่เพียงพอและข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนสูง นอกจากนี้ข้อมูลยังกระจัดกระจายในหลายหน่วยงานทำให้การรวบรวมเป็นไปอย่างลำบาก รวมทั้งการจัดเก็บมักอยู่ในรูปแบบที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์ (Lee, et al. 1993) ต่อมาเมื่อมีการจัดเก็บที่ดีขึ้น ข้อมูลอยู่ในรูปแบบของไฟล์คอมพิวเตอร์ที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ประกอบกับการจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์แบบจำลองได้กระทำอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ทำให้มีการพัฒนาแบบจำลองพฤติกรรมทางกันอย่างกว้างขวางในเวลาต่อมา

จากการค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีประเด็นในการศึกษาอยู่ 3 หัวข้อหลัก ได้แก่

- การวัดสภาพความเสียหายของผิวทาง
- ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อดัชนีสภาพความเสียหาย
- วิธีการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม

เมื่อแรกเริ่มที่มีความสนใจศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมและความเสียหายของถนนนั้น งานวิจัยทั้งหลายยังไม่ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพในการขับขี่ (Riding Quality) แต่มุ่งประเด็นความสนใจในเรื่องสภาพความเสียหายของโครงสร้างทางมากกว่า ต่อมาการวัดสภาพของถนนได้มีแนวคิดที่จะพิจารณาจากสภาพบริการของถนนตามระดับความพอใจของผู้ใช้ทางมากขึ้น แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องการประเมินที่ทำได้ค่อนข้างลำบากเนื่องจากความพึงพอใจของผู้ใช้ถนนแต่ละคนแตกต่างกัน

ความสนใจในการวัดคุณภาพการให้บริการออกมาเป็นคะแนนระดับการให้บริการนั้นเพิ่งเริ่มมีการศึกษาโดย Carey และ Irick (1960) ซึ่งพยายามวัดระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ถนนให้ออกมาเป็นค่าระดับของการให้บริการ โดยการให้คะแนนมีความสัมพันธ์กับสภาพความเสียหายของถนน ในขั้นแรกมีการกำหนดดัชนีที่ใช้เป็นตัววัดสภาพขึ้นมาได้แก่ Present Serviceability Rating (PSR) ซึ่งดัชนีดังกล่าวกำหนดคะแนนเป็น 5 ระดับ (0 ถึง 5) หลังจากนั้นก็ได้มีการคิดค้นและพัฒนาดัชนีตัวอื่นขึ้นมาอีกหลายชนิด จนกระทั่งปัจจุบันมีดัชนีชี้วัดสภาพความเสียหายของถนนอยู่หลายแบบด้วยกันและที่ได้รับความนิยมได้แก่ Present Serviceability Index (PSI), Pavement Condition Index (PCI), Pavement Condition Rating (PCR) และ International Roughness Index (IRI)

สำหรับการเลือกรูปแบบจำลองที่เหมาะสมนั้นได้มีการทำวิจัยและนำเสนอในหลายรูปแบบขึ้นกับสภาพพื้นที่และความสามารถในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ตามกับตัวแปรอิสระโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเป็นการวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการทางสถิติร่วมกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Martin,1996) สำหรับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองมีการนำเสนอไว้ดังนี้

Friedrich (1986) ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับพฤติกรรมของถนนลาดยางโดยเก็บข้อมูลในรัฐ Ontario ประเทศแคนนาดาระหว่างปี 1974-1976 จากการวิเคราะห์พบว่าฟังก์ชั่นที่เหมาะสมควรอยู่ในรูปแบบสมการที่ 2.2

$$N = At^{b} \qquad (2.2)$$

เมื่อ N = อายุการใช้งานของถนนใน 1 คาบ ก่อนทำการ Overlay (ปี)

t = ความหนาในการ Overlay (มม.)

A, b = ค่าคงที่ขึ้นกับสภาพบริการต่ำสุดที่ยอมรับได้ในที่นี้ใช้ Pavement Condition Index (PCI) เป็นตัวกำหนด

จากสมการที่ 2.2 พบว่าการวิจัยคำนึงถึงปัจจัยเรื่องความหนาของการ Overlay ที่ส่งผลต่ออายุของสายทางเป็นสำคัญ แต่ทั้งนี้สมการดังกล่าวก็มีข้อจำกัดเนื่องจากไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพบริการกับอายุของสายทางได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่นซึ่งถูกนำมาใช้ในรัฐ Ontario เรียกว่า PARS Model (Program and Financial Planning in Pavement Rehabilitation Model) ซึ่งใช้ค่า PCI เป็นตัวกำหนดสภาพบริการเช่นเดียวกับของ Jung แต่พิจารณาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมได้แก่ ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) โดยนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างสภาพบริการกับอายุของสายทาง ดังสมการที่ 2.3

$$PCI = 95 - Kx^{a} t^{-b'} T^{c} \qquad (2.3)$$

เมื่อ X = อายุของสายทางหลัง Overlay (ปี)

t = ความหนาในการ Overlay (มม.)

T = ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT)

K, a, b', c = ค่าคงที่

Ramaswamy และ Ben-Akiva (1990) ได้จัดกลุ่มปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมทางไว้ 4 ประเภทดังนี้

1. ลักษณะของผิวทาง (Pavement Characteristics) ได้แก่
    - ความแข็งแรงของผิวทาง (Pavement Strength)
    - ความหนาผิวทาง (Surface Thickness)
    - ชนิดของชั้นพื้นทาง (Base Type)
    - ชนิดของผิวทาง (Surface Type)
2. ประวัติการซ่อมบำรุง (Pavement History) ได้แก่
    - ระยะเวลานับจากการซ่อมบำรุงครั้งสุดท้าย (Time Since Last Rehabilitation)
    - อายุของถนน (Total Pavement Age)
3. ลักษณะการจราจร (Traffic Characteristics) ได้แก่
    - ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic: ADT)
    - ปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Traffic)
    - สัดส่วนรถบรรทุก (Percentage of Trucks)
4. ลักษณะสภาพแวดล้อม (Environmental Characteristics) ได้แก่
    - ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน (Average Monthly Precipitation)
    - อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในรอบปี (Average Annual Minimum Temperature)

การเลือกปัจจัยมาใช้เป็นตัวแปรอิสระในแบบจำลองพิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อสภาพความเสียหายของถนนอย่างมีนัยสำคัญและทำให้แบบจำลองสามารถทำนายผลได้ดีกว่าเดิมหรือไม่

Hajek, Phang, และ Prakash (1990) วิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมทางย้อนหลัง 40 ปีในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางมีมากกว่า 30 อย่าง โดยสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

- ปริมาณจราจร (Traffic)
- ลักษณะสภาพแวดล้อม (Environmental Characteristics)
- พฤติกรรมทางในช่วงแรกหลังก่อสร้างเสร็จ (Initial Pavement Performance)
- ความหนาในการ Overlay (Overlay Thickness)
- วิธีในการซ่อมบำรุง (Maintenance Policy)

- พฤติกรรมทางในช่วงหลัง Overlay และสภาพบริการ ณ เวลาซ่อมบำรุง (Overlay Performance and Terminal Serviceability)

นอกจากนี้ยังได้หาอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Pavement Condition Rating (PCR) ที่เกิดขึ้นในระยะ 5 ปี หลังจากการ Overlay โดยเก็บข้อมูลกว่า 50 โครงการในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าชนิดและสภาพความเสียหายเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า PCR ตัวอย่างเช่น ความเสียหายแบบ Surface Deformation และ Cracking รวมกันอาจส่งผลมากกว่าความ เสียหายประเภท Corrugations หรือ Shoring ดังนั้นถ้ามีการชะลอหรือไม่ซ่อมบำรุงตามกำหนดก็จะส่งผลให้อัตราการลดลงของ PCR เร็วขึ้น

Rajagopal และ George (1991) ได้ทำการเก็บข้อมูลทางหลวงกว่า 2,000 ไมล์ใน North Mississippi เพื่อมาสร้างแบบจำลองพฤติกรรมทางโดยใช้ค่า PCR เป็นเกณฑ์ในการกำหนดสภาพบริการ จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าโครงสร้างของชั้นทางเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทาง ซึ่งในที่นี้จะกำหนดโดยค่า MSN หรือ Modified Structural Number ของแต่ละสายทาง นอกจากนี้จากการศึกษาโครงการกว่า 30 โครงการ ระหว่างปี 1986-1989 ทำให้พบปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจ คือความสัมพันธ์ระหว่างค่า PCR ก่อนทำการ Overlay กับ PCR หลัง Overlay และได้สมการฟังก์ชั่นดังสมการที่ 2.4

$$PCR_{AOL} = 23.9984 \left(PCR_{BOL} \right)^{0.2883} \left(T \right)^{0.0389} \qquad (2.4)$$

เมื่อ PCR_{AOL} = PCR หลังการ Overlay

PCR_{BOL} = PCR ก่อนการ Overlay

T = ความหนาในการ Overlay (นิ้ว)

จากความสัมพันธ์พบว่า ความหนาในการ Overlay มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ PCR และจากแนวคิดนี้กรมทางหลวงได้นำหลักการมาประยุกต์เพื่อเป็นเกณฑ์ในการกำหนดความหนาที่เหมาะสมในแต่ละสภาพบริการของสายทางเพื่อที่จะทำให้ค่า IRI หลังการ Overlay ลดลงมาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

Essam, et al. (1991) ได้ศึกษาโครงการโดยใช้ฐานข้อมูลจาก U.S. Army Corps. of Engineers รวมทั้งสิ้น 2,517 โครงการ โดยนำเสนอแบบจำลองที่วิเคราะห์ไว้ดังนี้

$$PCI = 100 - bx^{1.5} \quad (2.5)$$

เมื่อ X = อายุของสายทาง (เดือน)

b = ค่าคงที่ขึ้นกับประเภทของวิธีการซ่อมบำรุง เช่น Thin Overlay จะให้ค่า b = 0.0158 หรือ Thick Overlay จะให้ค่า b = 0.0129

จากแบบจำลองดังกล่าวพิจารณาได้ว่าผู้ทำการวิจัยมุ่งเน้นไปที่ปัจจัยเรื่องวิธีการซ่อมบำรุงเป็นหลักเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการ Overlay ในแต่ละสภาพบริการที่กำหนดโดยค่า PCI

Collura, Spring และ Black (1993) กล่าวว่าการประมาณอายุและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่แม่นยำและน่าเชื่อถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับการบริหารจัดการงานทาง โดยการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบในหลายด้าน เช่น ปัจจัยทางด้านวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และที่มีความสำคัญเพิ่มขึ้นเรื่อยๆคือทางด้านสังคม ในการวางแผนงานบำรุงทางที่ดีจำเป็นต้องพิจารณาไม่เฉพาะการกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น แต่ควรเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิผลด้วย ดังนั้นการกำหนดคาบเวลาและวิธีซ่อมบำรุงที่เหมาะสม จำเป็นต้องมีแบบจำลองพฤติกรรมทางเพื่อนำมาใช้ในการทำนายสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งในงานวิจัยได้เก็บข้อมูลสภาพและอายุของถนนในมลรัฐ Massachusetts ภายใต้ปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ประเภทการซ่อมบำรุง สภาพความเสียหายของถนน สภาพโครงสร้างชั้นทาง และปริมาณจราจร โดยได้นำเสนอแบบจำลองพฤติกรรมทางในรูปแบบ Exponential ไว้ดังนี้

$$PCI = ae^{bt} + k \quad (2.6)$$

เมื่อ PCI = Pavement Condition Index

t = อายุบริการของถนน

a, b และ k = ค่าคงที่สัมพันธ์กับปัจจัยที่มีผลต่อแบบจำลอง

นอกจากนี้ยังได้ทำการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายของงานบำรุงแต่ละประเภทได้แก่ Sand และ Chip Seal รวมทั้งวิธี Bituminous Overlay เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการซ่อมบำรุง ซึ่งผลการวิเคราะห์สรุปว่าวิธีการบำรุงโดยการ Overlay สำหรับถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำถึงปานกลางจะทำให้ถนนมีอายุบริการเฉลี่ยนานกว่าการบำรุงด้วยวิธี Chip และ Sand Seal ประมาณ 4.8 ปี และ 5.6 ปี ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตัวแปรสภาพชั้นโครงสร้างทางและสภาพความเสียหายผิวทางพบ

ว่าปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลค่อนข้างสูงต่ออายุบริการของถนน นอกจากนี้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ถนนที่มีสภาพโครงสร้างชั้นทางดีกว่าจะมีอายุเฉลี่ยนานกว่าถนนที่มีโครงสร้างชั้นทางเลวกว่าประมาณ 6 ปี และเมื่อพิจารณารวมกับสภาพความเสียหายของผิวทางสามารถสรุปได้ว่า ถนนที่มีการดูแลรักษาให้มีสภาพดีทั้งผิวทางและโครงสร้างชั้นทางจะยืดอายุบริการให้นานกว่าถนนที่ไม่ได้รับการดูแลรักษาประมาณ 8.5-10 ปี ซึ่งเมื่อนำมาประกอบกับข้อมูลค่าใช้จ่ายและจำนวนประชากรในแต่ละพื้นที่ก็สามารถนำมาใช้ในการวางแผนและบริหารงานบำรุงทางให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวมสูงสุดได้

Abdullah, Mansour และ Kumares (1994) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจาก Indiana Department of Transportation (INDOT) ระหว่างปี 1984-1987 สำหรับจุดประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้เพื่อหาคาบเวลาและเกณฑ์ที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันด้วยวิธี Sand และ Chip Seal Coating โดยปัจจัยที่เลือกมาวิเคราะห์แบบจำลองพฤติกรรมทาง ประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

- ปัจจัยสภาพแวดล้อม แบ่งออกเป็น ภาคเหนือ และ ภาคใต้
- ปัจจัยปริมาณจราจร (AADT) แบ่งออกเป็น

  -ปริมาณจราจรสูง: AADT $>$ 2,000

  -ปริมาณจราจรต่ำ: AADT $\leq$ 2,000

สำหรับเกณฑ์ในการกำหนดสภาพบริการของสายทางจะใช้ Present Serviceability Index (PSI) โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่าสมการที่นำมาใช้สร้างแบบจำลองควรมีรูปแบบดังนี้

$$PSI = a + b\,Age \qquad (2.7)$$

เมื่อ Age = อายุของสายทาง (ปี)

a, b = ค่าคงที่ขึ้นกับวิธีการซ่อมบำรุง สภาพแวดล้อม และปริมาณจราจร

Martin (1996) ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองพฤติกรรมทางในรูปแบบ Deterministic Prediction Model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีผลต่อแบบจำลองโดยได้แบ่งประเภทของแบบจำลองไว้ดังนี้

1. **Mechanistic Model** ถูกพัฒนามาจากกระบวนการทดลองทางวิศวกรรมซึ่งดำเนินการในห้องปฏิบัติการหรือโครงการนำร่องต่างๆโดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเช่น ทฤษฎีอีลาสติก (Rauhut และ Gendell, 1987) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของถนนภายใต้น้ำหนักบรรทุกและ

สภาพแวดล้อมต่างๆ จากนั้นจึงนำมาสร้างเป็นแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปเช่น การแอ่นตัวของชั้นโครงสร้างและผิวทาง กำลังวัสดุ และลักษณะทางกายภาพอื่นๆของถนนกับตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองดังกล่าว

2. **Mechanistic-Empirical Model** เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาโดยอ้างอิงหลักฐานทางทฤษฎีที่มีการพิสูจน์ในอดีตเกี่ยวกับผลกระทบต่อแบบจำลองจากตัวแปรอิสระต่างๆ ทฤษฎีส่วนใหญ่มาจากการทดลองแบบจำลอง Mechanistic แต่ได้มีการปรับแก้โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหารูปแบบสมการที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยโดยข้อมูลต่างๆมาจากการสำรวจภาคสนามและค้นคว้าจากฐานข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองดังกล่าวต้องมีการกำหนดขอบเขตและข้อจำกัดการนำไปใช้งานซึ่งเหมาะสมเฉพาะในบางสถานะการณ์เท่านั้น นอกจากนี้แบบจำลองยังสามารถเชื่อมโยงรูปแบบความสัมพันธ์ที่มีปฏิกิริยาต่อกันระหว่างความเสียหายแต่ละชนิดเช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง Rutting กับ Cracking เป็นต้น ดังนั้นเมื่อสามารถทราบถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวประกอบกับการปรับแก้แบบจำลองอย่างถูกต้องตามทฤษฎีก็อาจนำมาประยุกต์ใช้ในงานที่นอกเหนือจากขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่ได้

3. **Empirical Model** ถูกวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการทางสถิติเป็นหลัก ส่วนใหญ่จะใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยจากข้อมูลที่รวบรวมมาจากภาคสนามจริง แบบจำลองดังกล่าวมีประโยชน์อย่างมากเมื่อไม่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมโดยวิธี Mechanistic ได้ อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่ได้มีขอบเขตการใช้งานและไม่เหมาะสมที่จะนำมาคาดการณ์ในส่วนที่นอกเหนือจากขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่

จากที่กล่าวมาตอนต้นทำให้ทราบว่าลักษณะของแบบจำลองที่มีการใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ 2 และ 3 (PIAR, 1995) แต่การเข้าใจลักษณะพื้นฐานที่แตกต่างกันของแบบจำลองแต่ละประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ สำหรับในงานวิจัยฉบับนี้จะวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองลักษณะที่ 2 เป็นเกณฑ์ เนื่องจากปัจจัยบางตัวได้นำมาจากการค้นคว้าในงานวิจัยที่ผ่านมาและนำมาปรับปรุงให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์แบบจำลองดังกล่าวมีข้อจำกัดที่สำคัญ 2 ลักษณะได้แก่

1. **Multicolinearity** แบบจำลองประเภท Mechanistic-Empirical และ Empirical จะมีปัญหาในเรื่องการมีปฏิสัมพันธ์เชิงซ้อน โดยตัวแปรอิสระบางกลุ่มที่นำมาวิเคราะห์จะมีความสัมพันธ์กันเองและบางครั้งก็มีนัยสำคัญ ซึ่งที่ทราบกันโดยทั่วไปก็ได้แก่ ตัวแปรอายุถนนกับตัวแปรปริมาณ

จราจรโดยเฉพาะเมื่อแปลงปริมาณจราจรให้มาอยู่ในรูปของ Cumulative Equivalent Standard Axles (CESA) จะทำให้มีความสัมพันธ์กันสูงมาก

2. **Model Fit** ในอดีตแบบจำลองที่พัฒนาได้จะมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ตัวอย่างเช่น Cracking และ Rutting Model ของธนาคารโลกมีค่า R^2 เพียง 0.37 หรือ ARRB Roughness Progression ที่มีการพัฒนาขึ้นภายหลังก็ให้ค่า R^2 เพียง 0.5 เท่านั้น แต่ในปัจจุบันมีแบบจำลองหลายลักษณะที่มีการใช้ดัชนีพฤติกรรมทางเช่น PCI หรือ PSI เป็นตัวแปรตามซึ่งทำให้ค่า R^2 สูงขึ้น

ดังนั้นจากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมทางสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. สภาพแวดล้อม (Environmental Characteristics)
2. ปริมาณจราจร (Traffic)
3. ความหนาในการ Overlay (Overlay Thickness)
4. ชนิดและสภาพความเสียหาย (Distress Type and Density)
5. โครงสร้างชั้นทาง (Structural of Pavement)
6. สภาพบริการก่อนการ Overlay (Serviceability before Overlay)
7. วิธีการซ่อมบำรุง (Treatment Policy)

นอกจากนี้อาจสังเกตได้ว่าลักษณะของแบบจำลองพฤติกรรมทางมีความแตกต่างกันตามสภาพของแหล่งข้อมูลและความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน โดยคำนึงถึงกลุ่มปัจจัยอิสระที่มีความสำคัญกับการพัฒนาแบบจำลองเป็นหลัก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมควรคำนึงถึงสภาพพื้นที่ ความสมบูรณ์และความสามารถในการเก็บข้อมูล และที่สำคัญที่สุดควรสอดคล้องต่อการนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิผล

2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองค่าใช้จ่าย

Friedrich (1986) ได้นำเสนอผลการวิจัยเฉพาะในส่วนการบำรุงทางตามกำหนดเวลาเท่านั้น (Periodic Maintenance) สำหรับค่าใช้จ่ายประเภทอื่นจะไม่นำมาพิจารณา จากการวิเคราะห์พบว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ ค่าใช้จ่ายคงที่หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เกิดขึ้น และค่าใช้จ่ายแปรผันอันเนื่องมาจากขนาดโครงการและสภาพพื้นที่ ซึ่งได้แก่ ส่วนลดในกรณีที่มีการใช้งานในปริมาณที่สูง ผลกระทบจากระยะทางในการขนส่ง ราคาท้องถิ่นที่แตกต่างกันและความยากลำบากในการทำงาน สำหรับแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่นำเสนอมีดังนี้

$$TC = C_c + C_v t \quad (2.8)$$

เมื่อ TC = ค่าใช้จ่ายรวมในการ Overlay ($/กม. - 2lanes)

C_c = ค่าใช้จ่ายคงที่ ($/กม. – 2lanes)

C_v = ค่าใช้จ่ายแปรผันเนื่องจากขนาดโครงการและสภาพพื้นที่ ($/กม.–2lanes) ต่อ มม.

t = ความหนาในการ Overlay (มม.)

Essam, et al. (1991) ได้ทำการศึกษาค่าใช้จ่าย 2 ประเภทได้แก่ ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา และค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ ได้ผลการวิจัยดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญได้แก่ ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายแปรผัน
   ก.ค่าใช้จ่ายคงที่หรือค่าใช้จ่ายในการ Overlay ขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการได้แก่ วิธีการซ่อมบำรุง (Treatment Policy) ราคาท้องถิ่น (Local Prices) และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ (Physical Layout)
   ข. ค่าใช้จ่ายแปรผันหรือค่าใช้จ่ายการเตรียมผิว (Surface Preparation Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซ่อมแซมความเสียหายของผิวทางเดิมก่อนที่จะทำการ Overlay ขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการได้แก่ สภาพของผิวทางเดิมก่อนทำการซ่อมบำรุง ราคาท้องถิ่น (Local Prices) และหลักเกณฑ์ในการซ่อมแซมผิวตามสภาพพื้นที่ (Local Repair Policy)
2. ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติ มีลักษณะแบบเดียวกับค่าใช้จ่ายการเตรียมผิวในหัวข้อ 1(ข) สำหรับงานบำรุงตามกำหนดเวลาของกรมทางหลวงได้จัดสรรค่าใช้จ่ายการเตรียมผิวรวมอยู่ในงานบำรุงปกติ ซึ่งก่อนทำการ Overlay แขวงการทางที่รับผิดชอบจะทำการซ่อมแซมผิวทางเดิมให้เสร็จเรียบร้อยก่อนการปูผิว ดังนั้นผู้รับเหมาจะคิดราคาเฉพาะงานเสริมผิวเท่านั้นโดยราคางานเตรียมผิวจะรวมอยู่ในงานบำรุงปกติในแต่ละปี

Abdullah, et al. (1994) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงาน Indiana Department of Transportation (INDOT) ระหว่างปี 1984-1987 เพื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่าย โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติและงานบำรุงตามกำหนดเวลา

การวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติได้กำหนดให้ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน (AADT) และดัชนีสภาพบริการ (PSI) เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมมีลักษณะความสัมพันธ์ในรูปแบบ Exponential สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลาได้แบ่งประเภทวิธีการซ่อมบำรุงเป็น 2 ประเภทได้แก่ วิธี Sand และ Chip Seal Coating ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงจะสูงขึ้นเมื่อสภาพบริการแย่ลง อันเป็นผลมาจากจำนวนชั่วโมงทำงานและปริมาณวัสดุที่ต้องใช้ในการซ่อมบำรุงเพิ่มขึ้น โดยแบบจำลองที่นำเสนอมีลักษณะความสัมพันธ์เช่นเดียวกับงานบำรุงปกติ แต่ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบจากวิธีซ่อมบำรุงเท่านั้น

Reno, Hyman และ Shaw (1994) ได้รวบรวมข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาใน 50 รัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยสามารถสรุปในภาพรวมได้ว่า ในระยะเวลาประมาณ 75% แรกของอายุการใช้งานของสายทาง สภาพบริการจะลดลงประมาณ 40% หลังจากนั้นในระยะที่ 2 สภาพบริการจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลการวิจัยระบุว่าหลังจากเวลาผ่านไป 12% ของอายุสายทางในระยะที่ 2 สภาพบริการจะลดลงถึง 40% หรืออาจกล่าวได้ว่าในระยะที่ 2 มีอัตราการเสื่อมสภาพของสายทางคิดเป็น 6 เท่าของระยะแรก และเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงพบว่า ค่าใช้จ่ายในระยะที่ 2 จะสูงกว่าในระยะแรกประมาณ 4-6 เท่าเช่นเดียวกัน

จากการทบทวนผลงานวิจัยที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.2.2 สามารถสรุปได้ว่าค่าใช้จ่ายงานบำรุงรักษาที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย 2 ประเภทหลักได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเตรียมผิวหรืองานบำรุงปกติ และค่าใช้จ่ายในการ Overlay หรือบูรณะ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายสามารถแบ่งออกเป็น 4 ปัจจัยหลักได้แก่

- ราคาวัสดุท้องถิ่น ซึ่งแปรผันตามสภาพพื้นที่และลักษณะทางกายภาพของโครงการ
- วิธีการซ่อมบำรุงและเตรียมผิวทาง
- สภาพของผิวทางเดิมก่อนทำการซ่อมบำรุง ซึ่งส่งผลต่อการแปรผันของค่าใช้จ่ายในการเตรียมผิว เนื่องจากสภาพทางที่เสียหายมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น
- ขนาดโครงการ มีผลกับส่วนลดค่าวัสดุที่จัดซื้อจากผู้จำหน่าย

สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายในงานวิจัยฉบับนี้จะกำหนดสภาพความเสียหายของผิวทางจากค่า IRI โดยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่มีผลกระทบ ในส่วนการคัดเลือกตัวแปรอิสระจะพิจารณาความเหมาะสมจากลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่เก็บรวบรวมในประเทศ ซึ่งอาจทำให้ตัวแปรบางตัวที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.2.2 ไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ในแบบ

จำลองได้เนื่องจากไม่มีการเก็บรวบรวมหรืออาจเป็นผลมาจากคุณภาพของข้อมูลไม่สมบูรณ์เพียงพอ ซึ่งจะได้ทำการพิจารณาอย่างละเอียดในบทต่อไป

2.2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

กรมทางหลวงร่วมกับ Australian Development Assistance Bureau (1983) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของสายทางบางส่วนในประเทศไทยได้ผลสรุปว่า สายทางที่ได้รับการปรับปรุงหรือยกระดับมาตรฐานมักทำให้ค่าบำรุงรักษาของทางสายนั้นเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างเช่น ค่าบำรุงรักษาสำหรับสายทางที่มีผิวจราจรเป็นกรวดจะแตกต่างอย่างมากกับสายทางที่มีผิวจราจรลาดยาง หากค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสำหรับสายทางที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีค่าต่ำกว่าก่อนการปรับปรุง การประหยัดค่าซ่อมบำรุงถือได้ว่าเป็นผลประโยชน์ที่ได้รับ แต่ถ้าหากค่าใช้จ่ายดังกล่าวสูงกว่าก่อนการปรับปรุง ผลประโยชน์จะมีค่าเป็นลบซึ่งค่าเหล่านี้จะปรากฏในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ต่อไปโดยปกติผลประโยชน์จากการประหยัดค่าบำรุงรักษาจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับผลประโยชน์ที่ได้รับจากการประหยัดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน (Road User Cost Savings) และจากการพัฒนา (Development Benefit)

Friedrich (1986) ได้ทำการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของสายทางในรัฐ Ontario ประเทศแคนาดาระหว่างปี 1974-1976 พบว่าการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Thin Overlay ให้ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์มากกว่าวิธี Thick Overlay ก็ต่อเมื่อไม่ได้พิจารณาผลกระทบเนื่องจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน แต่สำหรับการเสริมผิวทางแอสฟัลท์ (Asphalt Overlay) ที่ความหนามากกว่า 60 มม. จะให้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ก็ต่อเมื่อนำผลกระทบจากค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเข้ามาพิจารณา

Markow (1990) กล่าวว่าการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost เป็นวิธีทางเศรษฐศาสตร์ที่มีความเหมาะสมอย่างหนึ่งสำหรับใช้ในการตัดสินใจด้านงานบำรุงทาง โดยช่วยให้ผู้บริหารสามารถพิจารณาแผนการซ่อมบำรุงและประเมินข้อดีข้อเสียในแต่ละทางเลือก แล้วนำมาประกอบการตัดสินใจร่วมกับประเด็นอื่นเพื่อความเหมาะสมกับสถานะการณ์ ประโยชน์ที่ได้รับจากการซ่อมบำรุงส่วนใหญ่มุ่งเน้นในเรื่องความสามารถในการลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนเป็นสำคัญ นอกจากนี้การนำเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณาประกอบ

เมื่อกล่าวถึงการกำหนดนโยบายการซ่อมบำรุง ผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่มักให้ความสำคัญกับความสามารถและระดับการบำรุงรักษา ทั้งนี้เพื่อให้ผู้บริหารสามารถประเมินศักยภาพและความ

เหมาะสมในการกำหนดนโยบายที่สอดคล้องกับความจำเป็นในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งในงานวิจัยได้แบ่งเกณฑ์ที่นำมาใช้กำหนดนโยบายการบำรุงทางไว้ดังนี้

- ประสิทธิผลของการบำรุงที่สามารถลดความเสียหายของถนน
- ระดับของการบำรุงรักษาที่ต้องดำเนินการ
- วิธีการและระยะเวลา รวมทั้งแนวทางต่างๆที่นำมาใช้ซ่อมบำรุง

ประสิทธิผลของการบำรุงพิจารณาจากคุณภาพและความสามารถในการซ่อมแซมและรักษาสภาพสายทางโดยวิธีการซ่อมบำรุงประเภท Intensive Activity เช่น การบูรณะหรือซ่อมใหญ่ เนื่องจากการบำรุงทั่วไป เช่น Slurry Seal หรือ Surface Treatment ไม่สามารถซ่อมแซมให้กลับมามีสภาพเดิมตามต้องการได้ จากประสบการณ์ที่ผ่านมาระบุว่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุงอาจไม่เท่ากันตลอดอายุของถนน ตัวอย่างเช่น สายทางที่เพิ่งก่อสร้างเสร็จอาจได้รับประโยชน์น้อยเนื่องจากมีความเสียหายไม่มาก จากเหตุผลดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางโดยพิจารณาถึงผลกระทบจากสภาพความเสียหายของสายทางที่มีต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น รวมทั้งตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุสายทางโดยกำหนดระยะเวลาโครงการ 20 ปีและอัตราผลตอบแทน 7 เปอร์เซ็นต์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลประโยชน์ที่ได้รับจากงานบำรุงปกติตลอดอายุบริการมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับจำนวนค่าใช้จ่ายที่ใช้ดำเนินการ
2. ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์มีความสัมพันธ์กับการปรับปรุงวิธีการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาวิธีการใหม่ๆสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพงานซ่อมบำรุง ตัวอย่างเช่น การปรับปรุงวิธีตรวจสอบสภาพความเสียหาย คุณภาพวัสดุ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุง กระบวนการ และการควบคุมคุณภาพ
3. ผลประโยชน์ที่ได้จากการซ่อมบำรุงในระยะแรกเมื่อเกิดความเสียหายและกระทำอย่างต่อเนื่องจะให้ผลตอบแทนสูง การชะลอการซ่อมบำรุงทำให้ความเสียหายเพิ่มมากขึ้นและมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นอย่างมากในเวลาต่อมา
4. ผลประโยชน์ที่มาจากการบริหารที่ดีในเรื่องการตรวจสอบสภาพและอัตราความเสียหายอย่างสม่ำเสมอ การปรับปรุงเกณฑ์กำหนดระดับการบำรุงรักษา และการประเมินผลโครงการ ทำให้ได้รับผลตอบแทนที่สูงตลอดอายุการใช้งานของถนน

Essam, et al. (1991) ได้ทำการศึกษาโครงการโดยใช้ฐานข้อมูลจากหน่วยงาน Construction Engineering Research Laboratory (CERL) ของ U.S. Army Corps. of Engineers ซึ่งเป็นสายทาง

ที่อยู่ในความรับผิดชอบของกองทัพกว่า 2,517 โครงการ โดยภายหลังการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost สามารถสรุปได้ว่า

การซ่อมบำรุงโดยวิธี	Reconstruction	เหมาะสมกับช่วง PCI ระหว่าง 0 – 20
	Thick Overlay	เหมาะสมกับช่วง PCI ระหว่าง 41 – 60
	Surface Treatment	เหมาะสมกับช่วง PCI ระหว่าง 61 – 80
	Thin Overlay	เหมาะสมกับช่วง PCI ระหว่าง 81 – 100

การวิเคราะห์ดังกล่าวไม่คิดผลกระทบจากค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเนื่องจากปริมาณจราจรอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งผลดังกล่าวได้ให้แนวคิดที่ว่าการวางแผนและเลือกวิธีซ่อมบำรุงที่สอดคล้องกับระดับความเสียหายของสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำสามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานได้ในระดับหนึ่ง

Martin (1994) สรุปวิธีการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost ของถนนที่มีการใช้งานในปัจจุบันไว้ดังนี้

- Net Present Value (NPV)
- Internal Rate of Return (IRR)
- Benefit-Cost Ratio (BCR)
- Pay Back Period

โดยทั่วไปเกณฑ์การใช้ NPV เป็นที่นิยมมากที่สุดเนื่องจากสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานและแสดงผลลัพธ์ในรูปมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งทำให้ทราบค่าใช้จ่ายที่แท้จริงโดยพิจารณาผลอันเนื่องมาจากมูลค่าของเวลาแล้ว นอกจากนี้ยังเหมาะสมในกรณีที่ต้องวิเคราะห์ในระดับโครงการ และจำเป็นต้องกำหนดอัตราผลตอบแทนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของอายุบริการ สำหรับวิธี IRR เป็นเกณฑ์สำหรับประยุกต์ใช้เพื่อการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธโครงการโดยพิจารณาจากผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ ซึ่งวิธีดังกล่าวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคัดเลือกโครงการ ส่วนวิธี BCR เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในระดับโครงข่ายและมีปัจจัยเรื่องงบประมาณมาเกี่ยวข้อง โดยอาจนำมาใช้ในการจัดลำดับสายทางที่ต้องซ่อมบำรุงให้เหมาะสมกับงบประมาณที่ได้รับ

จากการค้นคว้าเชิงเอกสารที่ผ่านมาพบว่าการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost เป็นทฤษฎีที่เหมาะสมอย่างมากสำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาระดับและระยะเวลาซ่อมบำรุงเมื่อจำเป็นต้องคำนึงถึงผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก สำหรับการกำหนดผลตอบแทนโครงการต้องพิจารณาถึงผลตอบแทนที่แท้จริงหรือต้นทุนค่าใช้จ่าย รวมทั้งอัตราเงินเฟ้อซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$(1 + n) = (r + 1)(1 + i) \quad (2.9)$$

เมื่อ n = ผลตอบแทนโครงการ

r = ผลตอบแทนที่แท้จริงหรือต้นทุนค่าใช้จ่าย

i = อัตราเงินเฟ้อ

ระยะเวลาการวิเคราะห์สำหรับโครงสร้างพื้นฐานประเภทระบบขนส่งโดยทั่วไปกำหนดไว้ระหว่าง 20 ถึง 40 ปี แล้วแต่ข้อกำหนดของแต่ละพื้นที่ แต่สำหรับงานถนนมักกำหนดไว้ระหว่าง 20-25 ปีขึ้นกับมาตรฐานการออกแบบที่นำมาใช้งาน และนอกเหนือจากการใช้เกณฑ์ NPV แล้วการวิเคราะห์ยังสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของ Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) เพื่อลดปัญหาในเรื่องของระยะเวลาโครงการที่ไม่เท่ากัน

Abdullah, et al. (1994) ทำการรวบรวมข้อมูลจาก Indiana Department of Transportation (INDOT) ระหว่างปี 1984-1987 ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าการเสริมผิวโดยวิธี Chip Sealing ณ ระดับ PSI เท่ากับ 3.0 ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียวพบว่าค่า PSI ที่เหมาะสมจะอยู่ ณ ระดับ 3.25 หรือประมาณ 8 ปี สำหรับภาคเหนือ และ 11 ปี สำหรับภาคใต้ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ทราบว่าสภาพความเสียหายและวิธีการซ่อมบำรุง รวมทั้งลักษณะสภาพแวดล้อม มีผลต่อการกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาอย่างมีนัยสำคัญ

Robert และ Roper (1998) กล่าวว่าการกำหนดเกณฑ์สำหรับงานบำรุงโดยพิจารณาถึงผลกระทบในระยะยาวมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการวางแผนงานบำรุงทาง ซึ่งการพิจารณาจำเป็นต้องศึกษาถึงพฤติกรรมตลอดอายุการใช้งานของถนน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการทำนายผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นการวิเคราะห์พฤติกรรมดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

1. การวิเคราะห์พฤติกรรมทางด้านวิศวกรรม (Technical Performance) เป็นการพิจารณาลักษณะและสภาพทางกายภาพของถนนตลอดอายุการใช้งาน
2. การวิเคราะห์พฤติกรรมทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Performance) เป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งรวมถึงผลกระทบที่มีต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนด้วย

จากที่กล่าวมาตอนต้นระบุว่า การวิเคราะห์พฤติกรรมทางเทคนิคของถนนจำเป็นต้องมีแบบจำลองพฤติกรรมสำหรับสายทางในลักษณะต่างๆ ในส่วนการวิเคราะห์พฤติกรรมทางเศรษฐศาสตร์จำเป็นต้องมีแบบจำลองการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปีตามประเภทและวิธีซ่อมบำรุง ซึ่งลักษณะทั่วไปของตัวแปรอิสระประกอบด้วยกลุ่มปัจจัย 4 กลุ่มได้แก่ ปัจจัยเรื่องการก่อสร้าง ผลกระทบจากปริมาณจราจรและสภาพแวดล้อม วิธีการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ในส่วนตัวแปรตามแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มปัจจัยพฤติกรรมทางเทคนิค ประกอบด้วย สภาพโครงสร้างทาง สภาพรอยแตกผิว สภาพความเรียบผิว และสภาพร่องล้อ อีกกลุ่มคือ ปัจจัยพฤติกรรมทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายภาครัฐและผู้ใช้ถนน สำหรับประเภทของแบบจำลองที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระได้แก่ แบบจำลองพฤติกรรมความเสียหายของโครงสร้างชั้นทาง รอยแตกผิว รอยร่องล้อ สภาพความเรียบผิวทาง และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

ในอดีตที่ผ่านมาการวางแผนงานซ่อมบำรุงจะพิจารณาเฉพาะพฤติกรรมทางเทคนิคเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น การพิจารณาลักษณะและสภาพความแข็งแรงของผิวหรือโครงสร้างชั้นทาง สาเหตุเนื่องมาจากสายทางส่วนใหญ่มีปริมาณจราจรไม่มาก จึงไม่มีความจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ แต่เนื่องจากในปัจจุบันจำนวนปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้การวางแผนงานซ่อมบำรุงจำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วย เนื่องจากส่งผลต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในระยะยาว

Mamlouk, Zaniewski และ He (2000) เสนอผลการวิจัยเพื่อหาแนวทางการออกแบบและบำรุงถนนลาดยางที่เหมาะสม โดยการวิจัยได้พิจารณาผลกระทบจากปัจจัยสองกลุ่มได้แก่ ปัจจัยสภาพปริมาณจราจรและคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้งาน สำหรับปัจจัยสภาพจราจรได้แบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มปริมาณจราจรสูง กลาง และต่ำ ในส่วนปัจจัยคุณสมบัติวัสดุถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Weak และ Strong Material โดยพิจารณาจากค่า Modulus ของวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างในแต่ละชั้นโครงสร้างถนน

การวิเคราะห์ใช้วิธี Dynamic Programming Optimization เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำสุดตลอดอายุการใช้งานของถนนภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ โดยนำเสนอรูปแบบ Objective Function ดังนี้

$$\text{Minimize } C[T_a] = w_a C_a[T_a] + w_u C_u[T_a] \qquad (2.10)$$

เมื่อ $C\ [T_a]$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายรวม

$C_a\ [T_a]$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายภาครัฐ

$C_u\ [T_a]$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

T_a = ระยะเวลาที่วิเคราะห์ โดยกำหนดไว้ 20 ปี

w_a, w_u = Weight Factor ของค่าใช้จ่ายภาครัฐและผู้ใช้ถนนมีค่า 0.9 และ 0.1 ตามลำดับ

สาเหตุที่กำหนดให้ w_u มีค่าน้อยกว่า w_a มาก เนื่องจากสัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อสายทางมีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น ดังนั้นการกำหนดให้ w_u มีค่าต่ำก็เพื่อต้องการลดอิทธิพลที่มากเกินไปของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบที่มาจากปัจจัยปริมาณจราจร ในส่วนแบบจำลองสภาพความเสียหายของถนนอ้างอิงมาจากข้อกำหนดและแบบจำลองของ AASHTO โดยพิจารณาความเสียหายหลัก 3 ชนิดได้แก่ Roughness, Fatigue Cracking และ Rutting สำหรับผลการวิเคราะห์ระบุว่า ทั้งปัจจัยสภาพปริมาณจราจรและคุณสมบัติวัสดุมีผลต่ออายุของถนนในช่วงเริ่มต้นภายหลังก่อสร้างเสร็จ หลังจากนั้นผลจากการเสริมผิวทางจะมีผลกระทบอย่างมากต่อค่าใช้จ่ายรวมของโครงการ โดยให้ค่าต่ำสุดเมื่อทำการเสริมผิวในช่วงระยะเวลาประมาณไม่เกิน 10 ปี ภายหลังก่อสร้างเสร็จ นอกจากนี้คาบเวลาของการเสริมผิวยังมีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ซึ่งผลการวิเคราะห์ในเบื้องต้นสรุปว่าควรมีคาบระยะเวลาประมาณ 5-7 ปีขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และมีจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงประมาณ 2-3 ครั้งตลอดอายุบริการ สำหรับรายละเอียดการวิเคราะห์และผลวิจัยเพิ่มเติมสามารถศึกษาได้ในบทความวิจัยที่นำเสนอไว้ในรายการอ้างอิง

จากการค้นคว้าเชิงเอกสารทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า เหตุผลสำคัญในการกำหนดเกณฑ์ซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่มีต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของถนน มาจากปัญหาที่ว่า เกณฑ์ซ่อมบำรุงทางแบบเดิมซึ่งคำนึงถึงเฉพาะผลกระทบจากปัจจัยด้านวิศวกรรมและสังคมเป็นหลัก ยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้บริหารจัดการงบประมาณซ่อมบำรุงที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากแนวถนนในปัจจุบันมีลักษณะเป็นระบบโครงข่าย ทำให้มีความจำเป็นต้องบำรุงรักษาโดยพิจารณาในภาพรวมทั้งหมดของระบบโครงข่าย ดังนั้นหลักการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost จึงเป็นวิธีการสำหรับใช้พัฒนาเกณฑ์ซ่อมบำรุงอีกระดับหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในการบริหารงบประมาณซ่อมบำรุงทางในปัจจุบัน เพื่อทำให้การกำหนดนโยบายสามารถพิจารณาครอบคลุมทั้งโครงข่ายไม่ว่าจะเป็นผลกระทบทางด้านวิศวกรรม สังคม และเศรษฐศาสตร์ สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน จำเป็นต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ผลกระทบที่มาจากค่าใช้จ่ายของภาครัฐและผู้ใช้ถนนภายใต้

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่ ปัจจัยสภาพแวดล้อมของพื้นที่ สภาพและปริมาณจราจร รวมทั้งมาตรฐานชั้นทางซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง นอกจากนี้ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องมีแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง เพื่อนำมาใช้สำหรับทำนายสภาพความเสียหายและคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในอนาคต ซึ่งประเด็นดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ โดยการคัดเลือกตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง ควรมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงในประเทศไทย

2.3 บทสรุป

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถพิจารณาได้ว่า การวิเคราะห์โดยวิธี Life-Cycle Cost จำเป็นต้องประกอบด้วยงานวิจัยที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ แบบจำลองสภาพความเสียหายของสายทาง ค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน นอกจากนี้ปัจจัยแต่ละประเภทที่นำมาวิเคราะห์ควรคำนึงถึงการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ให้ตรงกับความต้องการเป็นหลัก โดยไม่จำเป็นต้องนำทุกปัจจัยเข้ามาพิจารณาโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยที่มีผลกระทบน้อยหรือไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ได้มุ่งประเด็นการวิเคราะห์สำหรับการนำไปใช้งานโดยกรมทางหลวงเป็นหลัก ซึ่งปัจจัยต่างๆจะสอดคล้องกับเกณฑ์หรือข้อกำหนดที่ใช้ปฏิบัติในปัจจุบัน นอกจากนี้ความละเอียดและความสมบูรณ์ของข้อมูลที่เก็บรวบรวมก็เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ ในบทต่อไปจะกล่าวถึงแนวทางการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน รวมทั้งนำเสนอปัจจัยและหลักการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง ซึ่งจะทำให้เข้าใจในรายละเอียดของประเด็นทั้งหมดในภาพรวมที่ใช้สำหรับการวิจัยในบทถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
แนวทางการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนเป็นการคำนวณเพื่อหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานภายหลังการก่อสร้างเสร็จ โดยคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present Value) ณ ปีฐานที่กำหนดไว้ องค์ประกอบสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ การวิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย และวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ในบทนี้ได้กล่าวถึงแนวคิดและวิธีการพัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงมากที่สุด

3.1 แนวทางการเลือกแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง

แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการบริหารงานบำรุงทาง เนื่องจากเป็นเครื่องมือสำหรับติดตามและทำนายสภาพของผิวทางหลังการก่อสร้าง ทำให้ผู้ที่รับผิดชอบสามารถนำผลและข้อมูลมาใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการบำรุงรักษาและจัดลำดับความสำคัญของสายทางที่ต้องซ่อมบำรุง การวิเคราะห์เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพความเสียหายของผิวทางกับตัวแปรอิสระจากปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อสภาพความเสียหาย สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญได้แก่ ขั้นตอนการเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง และขั้นตอนการเลือกวิธีพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสม

3.1.1 การเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง

ตัวแปรที่นำมาใช้วิเคราะห์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ

ก. ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่ สภาพความเสียหายของผิวทาง สำหรับดัชนีที่นำมาใช้กำหนดสภาพผิวทางในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น Present Serviceability Index (PSI), Pavement Condition Index (PCI) หรือ Present Serviceability Rating (PSR) เป็นต้น แต่สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะใช้ดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) เป็นเกณฑ์กำหนดสภาพความเสียหายของผิวทาง เนื่องจากเป็นดัชนีเพียงอย่างเดียวในประเทศไทยที่มีการจัดเก็บข้อมูลมาจนถึงปัจจุบัน

ดัชนี IRI เริ่มพัฒนาขึ้นในปี 1982 เมื่อธนาคารโลกได้จัดการทดลอง International Road Roughness Experiment (IRRE) ขึ้นที่ประเทศบราซิลเพื่อกำหนดมาตรฐานวิธีการวัดสภาพความ

เสียหายของผิวทางสำหรับถนนที่ได้รับเงินกู้จากธนาคารโลก ซึ่งค่า IRI สามารถวัดได้โดยอาศัยรถยนต์วัดค่าที่เรียกว่า Quarter-Car โดยการติดตั้งเครื่องมือที่เรียกว่า Bump Integrator ที่สามารถวัดความขรุขระของผิวทางจากระยะการสั่นสะเทือนขึ้น-ลงทั้งหมดของเพลาล้อรถต่อระยะทางที่เคลื่อนที่โดยความเร็วที่ใช้ในการตรวจวัดอยู่ที่ประมาณ 80 กม./ชม. จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้มาปรับเป็นค่า IRI ต่อไป โดยทั่วไปค่า IRI มีหน่วยเป็น เมตร/กิโลเมตร หรือ มิลลิเมตร/เมตร สำหรับการใช้ค่า IRI เป็นดัชนีวัดสภาพผิวทางมีข้อดีคือ สามารถวัดและบันทึกค่าได้รวดเร็ว อีกทั้งสามารถแสดงระดับความเสียหายของผิวทางในภาพรวมได้ดีและมีความแปรปรวนของค่าที่วัดได้ต่ำ การกำหนดสภาพทางในแต่ละช่วงของค่า IRI เพื่อนำมาประเมินความเสียหายในเบื้องต้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1: สภาพทางในแต่ละช่วงของค่า IRI

สภาพทาง (Road Condition)	International Roughness Index (m./km.)
RC1 : ดี (Good)	< 3.00
RC2 : ดี/พอใช้ (Good/Fair)	3.01 – 3.75
RC3 : พอใช้ (Fair)	3.76 – 4.75
RC4 : พอใช้/เลว (Fair/Poor)	4.76 – 5.50
RC5 : เลว (Poor)	> 5.50

ที่มา: กรมทางหลวง (2538)

ข. ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ตัวแปรอิสระที่นำมาใช้วิเคราะห์เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสภาพความเสียหายของผิวทาง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) ณ ช่วงระยะเวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งตามทฤษฎีปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อสภาพผิวทางนั้นสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มได้แก่

1. ลักษณะของผิวทาง (Pavement Characteristics)
2. ประวัติของการซ่อมบำรุง (Treatment History)
3. ลักษณะการจราจร (Traffic Characteristics)
4. ลักษณะสภาพแวดล้อม (Environmental Characteristics)

โดยปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความเสียหายของผิวทาง ซึ่งในแต่ละกลุ่มปัจจัยยังสามารถแบ่งออกเป็นองค์ประกอบย่อยเพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มได้ดังนี้

1. **ลักษณะของผิวทาง**

ในการวิจัยจะทำการศึกษาเฉพาะถนนลาดยาง (Flexible Pavement) ที่บำรุงรักษาและบูรณะด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ (Asphalt Overlay) เท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีการหลักที่กรมทางหลวงใช้ในปัจจุบัน และทางหลวงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นผิวทางลาดยาง (ฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง, 2542) สำหรับความหนาที่ใช้ในการเสริมผิวแอสฟัลท์โดยทั่วไปสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ คือ

Thin Overlay	ความหนา 25 mm.
Standard Overlay	ความหนา 50 mm.
Thick Overlay	ความหนา 80 mm.

มาตรฐานดังกล่าวกรมทางหลวงอ้างอิงจาก AASHTO และนำมาปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศไทย แต่ในทางปฏิบัติการเสริมผิวแบบ Standard Overlay จะเป็นวิธีการหลักในการบำรุงเนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมทั้งในด้านเทคนิคและงบประมาณ สำหรับวิธีที่เหลือจะใช้เฉพาะในบางโครงการเท่านั้น เช่น โครงการที่ไม่สามารถจัดสรรงบประมาณได้เพียงพออาจจำเป็นต้องใช้วิธี Thin Overlay เพื่อรักษาสภาพผิวจราจรและป้องกันโครงสร้างชั้นทางไม่ให้เสียหายมากขึ้น ซึ่งสายทางส่วนใหญ่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จะซ่อมบำรุงโดยวิธี Standard Overlay (ฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง, 2542) ดังนั้นในการวิจัยฉบับนี้จะศึกษาทางหลวงที่มีการซ่อมบำรุงโดยวิธี Standard Overlay เท่านั้น

2. **ประวัติของการซ่อมบำรุง**

ปัจจัยเรื่องประวัติของการบำรุงจะเริ่มนับอายุของผิวถนน ณ เวลาที่ทำการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์จนถึงการซ่อมบำรุงในครั้งต่อไปคิดเป็น 1 รอบการซ่อมบำรุง โดยตั้งสมมุติฐานว่าการซ่อมบำรุงโดยวิธีเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์จะทำให้ผิวทางกลับมามีสภาพใกล้เคียงกับถนนที่เพิ่งสร้างเสร็จใหม่ ดังนั้นตลอดอายุการใช้งานของถนน (Service Life) อาจมีจำนวนการซ่อมบำรุงมากกว่า 1 ครั้ง โดยทั่วไปอายุบริการของถนนที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงจะมีระยะเวลาประมาณ 20-25 ปี และเมื่อครบกำหนดก็จะทำการรื้อทิ้งเพื่อก่อสร้างใหม่ (Reconstruction) ซึ่งอาจเป็นการยกระดับมาตรฐานชั้นทาง ขยายช่องจราจร หรือเพิ่มช่องจราจรตามความเหมาะสม

3. **ลักษณะการจราจร**

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าลักษณะการจราจรเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างสูงต่อสภาพความเสียหายของผิวทาง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะจะส่งผลโดยตรงต่อการเสื่อม

สภาพผิวและโครงสร้างชั้นทาง ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้กำหนดตัวแปรเพื่อใช้แทนกลุ่มปัจจัยลักษณะการจราจรไว้ดังนี้

- ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic: AADT)
- ปริมาณจราจรเฉลี่ยสะสม (Average Cumulative Traffic: ACT)
- สัดส่วนของรถหนักต่อ AADT (Percentage of Heavy Vehicle per AADT)

สำหรับคำนิยามของยานพาหนะประเภทรถหนัก ซึ่งกำหนดโดยกรมทางหลวงประกอบด้วยรถ 3 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุกขนาดกลาง (Medium Truck) รถบรรทุกขนาดใหญ่ (Heavy Truck) และรถโดยสารขนาดใหญ่ (Heavy Bus)

4. ลักษณะสภาพแวดล้อม

สำหรับลักษณะสภาพแวดล้อมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะสำคัญได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะภูมิอากาศ จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยมีลักษณะสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของสภาพแวดล้อมที่มีต่อแบบจำลอง ทำให้การวิจัยจะพิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศเป็นเกณฑ์ ในงานวิจัยที่ผ่านมา (Paterson, 1987) ลักษณะภูมิประเทศถูกกำหนดโดยระดับความสูงต่ำจากระดับน้ำทะเลหรือความลาดชันของพื้นที่ แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาจากระดับความลาดชันของพื้นที่เป็นเกณฑ์ เนื่องจากมีการจัดเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์และเพียงพอต่อการวิเคราะห์ การพิจารณาระดับความลาดชันของพื้นที่ถูกกำหนดโดยเปอร์เซ็นต์ความลาดชัน (% Gradient) ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2: เกณฑ์กำหนดสภาพภูมิประเทศ

ความลาดชัน (% Gradient)	ลักษณะภูมิประเทศ
0 – 3	เป็นที่ราบ
3 – 5	เป็นที่ราบสลับเนิน
> 5	เป็นเนินสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง

ที่มา: กรมทางหลวง (2541)

สำหรับตัวแปรที่กำหนดลักษณะภูมิอากาศในการวิจัยที่ผ่านมามักถูกกำหนดโดย อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในรอบปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน ปริมาณความชื้นในอากาศ และในบางประเทศที่มีฤดูหนาวก็จำเป็นต้องนำผลกระทบจากสภาพอากาศหนาวจัดมาพิจารณาร่วมด้วย แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือนเป็นเกณฑ์

จากที่กล่าวมาทั้งหมดพบว่าการเลือกปัจจัยที่นำมาใช้พัฒนาแบบจำลองพิจารณาจากตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อสภาพความเสียหายของผิวทางอย่างมีนัยสำคัญเป็นหลัก เพราะจะทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำในการทำนายผลสูง แต่ทั้งนี้ตัวแปรที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในแบบจำลองหนึ่งอาจไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความแปรปรวนสูงเมื่อวิเคราะห์ในสภาพพื้นที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น งานวิจัยในประเทศบราซิลกับเคนยา (Paterson, 1987) ซึ่งต่างก็ใช้ความลาดชันของภูมิประเทศเป็นปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในการวิเคราะห์ แต่ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในบราซิลกลับไม่พิจารณาปัจจัยเรื่องปริมาณน้ำฝนเป็นตัวแปรในแบบจำลองเนื่องจากข้อมูลมีความแปรปรวนสูง สำหรับคุณภาพและจำนวนของข้อมูลก็เป็นเหตุผลสำคัญอย่างหนึ่งต่อการเลือกตัวแปรมาวิเคราะห์ ถ้าข้อมูลไม่สมบูรณ์หรือไม่ถูกต้องเพียงพอ ก็ไม่ควรนำมาวิเคราะห์เนื่องจากอาจทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนสูง ดังเช่น ในงานวิจัยของ Ramaswamy และ Ben-Akiva (1990) ได้ผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนจากสมมุติฐานเดิมที่ตั้งไว้คือ สายทางที่มีปริมาณจราจรสูงกลับทำให้ผิวทางมีสภาพความเสียหายน้อยกว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ ซึ่งความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นผลมาจากการไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยด้านการบำรุงรักษา เนื่องจากสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงมักได้รับการดูแลเป็นอย่างดีมากกว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ เป็นเหตุให้สายทางมีอัตราการเกิดความเสียหายช้ากว่าที่คาดไว้

3.1.2 การเลือกวิธีพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสม

วิธีการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองสำหรับงานวิจัยที่ผ่านมามีหลายแนวทาง ตั้งแต่การวิเคราะห์โดยใช้คณิตศาสตร์พื้นฐานหรือวิธีการทางสถิติอย่างง่ายไปจนถึงวิธีที่ซับซ้อนและใช้ความรู้ขั้นสูง แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเภทของการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของถนนได้ 2 วิธี คือ วิธี Mechanistic และ Empirical (Paterson, 1987) สำหรับวิธี Mechanistic นั้นจะเน้นไปที่การทำวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของผิวทางภายใต้น้ำหนักกระทำ โดยมุ่งประเด็นไปที่ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของวัสดุกับพฤติกรรมของถนนว่ามีลักษณะอย่างไรภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ แต่เนื่องจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ต้องนำไปใช้งานในภาคสนามทำให้มีความจำเป็นต้องเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากวิธี Mechanistic กับ

พฤติกรรมของสายทางเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมและใช้งานจริง ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์ในปัจจุบันส่วนใหญ่กระทำโดยวิธี Empirical

สำหรับวิธี Empirical นั้นประกอบด้วย 2 แนวทางหลัก ได้แก่ วิธี Accelerated Deterioration และ Deterioration In-Service

วิธี Accelerated Deterioration เป็นวิธีการศึกษาที่เร่งให้ Life Cycle ของถนนสั้นลง โดยการออกแบบถนนให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้ต่ำกว่ามาตรฐาน (Underdesign) เพื่อให้สามารถสังเกตพฤติกรรมของสายทางตลอดอายุการใช้งานในระยะเวลาที่กำหนด แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อเสียคือ การเร่งรัดสภาพความเสียหายของสายทางทำให้มีระยะเวลาการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมไม่เพียงพอ สำหรับวิธี Deterioration In-service จะวิเคราะห์โดยอาศัยการตรวจสอบและติดตามสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงภายใต้สภาพบริการของถนน โดยการคัดเลือกตัวอย่างสายทางที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันมาทำการศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของถนนกับปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาด้วยวิธีดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือสูงมากหากมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มากและสมบูรณ์เพียงพอเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ภายใต้สภาพบริการจริงและพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในระยะยาว

ปัจจัยที่ทำให้แบบจำลองดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือและสามารถทำนายผลได้ดีมาจาก

- คุณภาพและความเที่ยงตรงของข้อมูล
- จำนวนปัจจัยที่นำมาศึกษาและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
- การกระจายของข้อมูลในกลุ่มสภาพแวดล้อมต่างๆ

การใช้ Empirical Model แม้จะมีข้อดีอยู่มากแต่ก็มีข้อด้อย เนื่องจากการใช้วิธีทางสถิติสำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความเสียหายกับตัวแปรที่มีผลกระทบนั้นมีข้อเสียคือ ผลที่ได้จะแสดงเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระโดยรวมทั้งหมดที่ส่งผลต่อตัวแปรตามในแบบจำลอง แต่ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระแต่ละตัวเป็นอย่างไร ตัวอย่างเช่น เราสามารถคาดการณ์สภาพความเสียหายของผิวทางในอณาคตได้ถ้ามีข้อมูลของค่าตัวแปรในแบบจำลองครบทุกตัว แต่ในกรณีที่ขาดข้อมูลบางตัวก็อาจทำให้ไม่สามารถใช้แบบจำลองดังกล่าวมาทำนายได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากไม่ทราบความสัมพันธ์ที่แท้จริงของตัวแปรแต่ละตัวกับตัวแปรตาม ข้อเสียอีกประการหนึ่งก็คือ ถ้านำแบบจำลองไปใช้กับสายทางลักษณะอื่นที่ไม่ได้นำมาเป็นกลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ ผลจากเงื่อนไขและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันอาจทำให้

การทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากสภาพความเป็นจริงได้มาก เช่น การใช้แบบจำลองที่พัฒนาจากฐานข้อมูลในประเทศหนึ่งอาจไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับอีกประเทศหนึ่ง

จากการค้นคว้าเชิงเอกสารในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แบบจำลองชนิด Empirical Model ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Deterioration In-service เป็นที่แพร่หลายและยอมรับในเกือบทุกประเทศไม่ว่าจะเป็นประเทศพัฒนาแล้วอย่าง สหรัฐอเมริกา ยุโรปตะวันตก ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น หรือประเทศกำลังพัฒนาที่ได้รับการสนับสนุนเงินช่วยเหลือจากหน่วยงานหรือองค์กรระหว่างประเทศ เช่น ธนาคารโลก (World Bank) หรือธนาคารเพื่อการพัฒนาเอเชีย (ADB) ก็มีการพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีดังกล่าวรวมทั้งประเทศไทย เหตุผลสำคัญที่ได้รับความนิยมเนื่องจากแบบจำลองถูกพัฒนาโดยใช้ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมและการใช้งานจริงตลอดอายุการใช้งานของถนนทำให้มีความน่าเชื่อถือมาก อีกทั้งยังสะดวกต่อการปรับปรุงให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้นถ้ากำหนดตัวแปรที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดและการสำรวจข้อมูลในประเทศพบว่า ข้อมูลที่มีการจัดเก็บในกรมทางหลวงเอื้ออำนวยต่อการพัฒนาแบบจำลองประเภท Empirical Model โดยวิธี Deterioration In-service อย่างมาก เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลและคุณภาพเพียงพอ อีกทั้งยังเหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์ Life-Cycle Cost ของสายทางอีกด้วย สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถค้นคว้าได้จากบทความวิจัยเรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยางโดยวิธีใช้ค่า IRI ในประเทศไทย” (วิศณุ ทรัพย์สมพล และคณะ, 2543)

3.2 แนวทางการพัฒนาแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย

การวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในกระบวนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน เนื่องจากภายหลังที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดให้ใช้บริการจะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นมา 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อภาครัฐ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงทาง และส่วนที่สองเป็นค่าใช้จ่ายของประชาชนผู้ใช้ถนน เมื่อรวมค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันเรียกว่าค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานของถนน

รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสภาพความเสียหายของผิวทางแอสฟัลท์ โดยเรียงลำดับจากปัจจัยกลุ่มใหญ่จนถึงกลุ่มปัจจัยย่อยที่แสดงลักษณะเฉพาะของแต่ละสายทาง เริ่มจากลักษณะสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพถือเป็นกลุ่มปัจจัยใหญ่ที่สุด เนื่องจากแสดงลักษณะสายทางของทั้งภูมิภาคที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ สำหรับปัจจัยส่วนที่เหลือเป็นตัวแปรเชิงปริมาณที่สามารถเก็บข้อมูลเฉพาะของแต่ละสายทางได้ ประกอบด้วย

ข้อมูลลักษณะของผิวทางที่นำมาวิจัย โดยกำหนดเฉพาะสายทางลาดยางที่มีความกว้าง 7.00 เมตรต่อ 2 ช่องจราจรเท่านั้นเนื่องจากเป็นมาตรฐานชั้นทางส่วนใหญ่ของกรมทางหลวงทำให้มีข้อมูลที่มีจำนวนและคุณภาพเพียงพอต่อการวิเคราะห์ สำหรับประวัติการซ่อมบำรุงจะพิจารณาเฉพาะวิธีการเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ 50 มม.เท่านั้นเนื่องจากเป็นวิธีการซ่อมบำรุงหลักของกรมทางหลวง ในส่วนลักษณะการจราจรจะเป็นกลุ่มปัจจัยเล็กที่สุดเนื่องจากมีลักษณะเฉพาะของปริมาณจราจรแต่ละสายทาง ตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยปริมาณจราจรเฉลี่ยและสะสม รวมทั้งสัดส่วนรถหนักเพื่อใช้แสดงผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อสภาพความเสียหายของผิวและโครงสร้างชั้นทาง

3.2.1 **ค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง** (Highway Maintenance Costs)

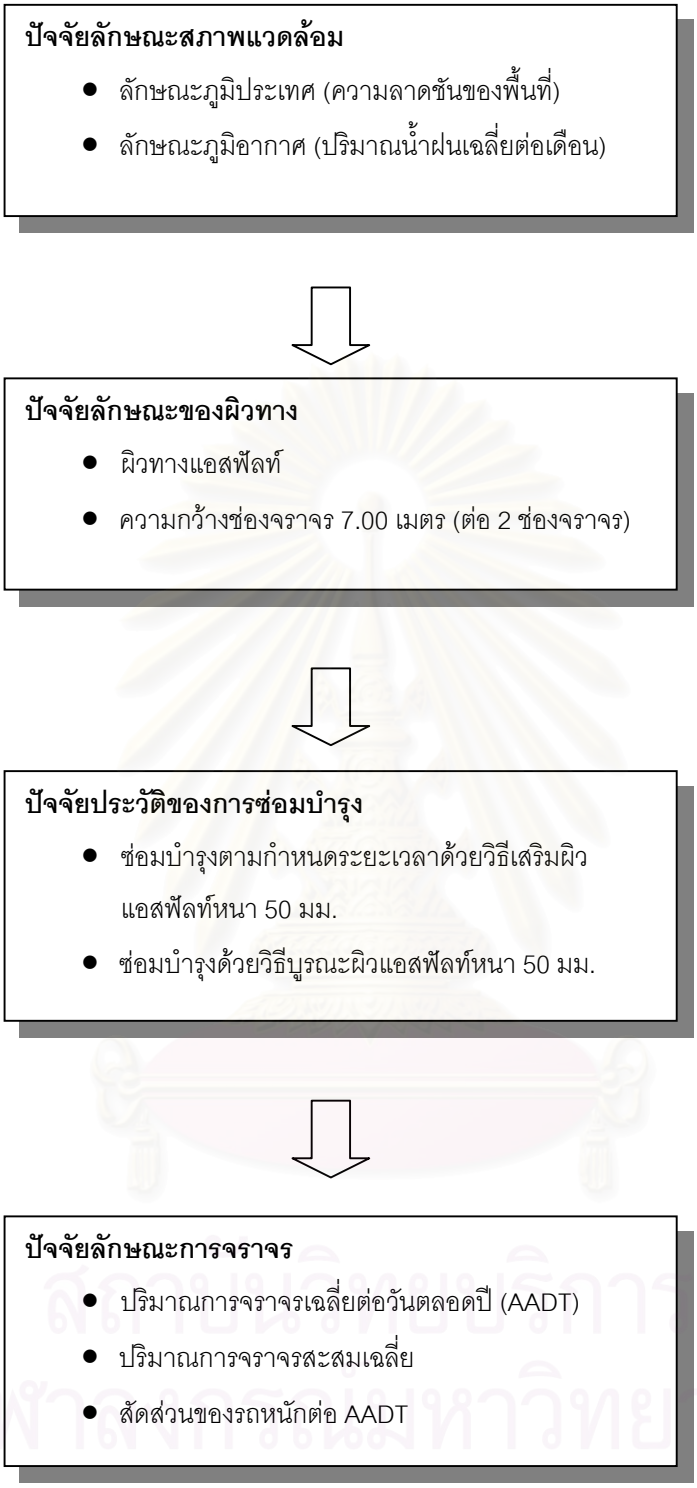
ในปัจจุบันการวางแผนงานบำรุงทางจะเริ่มกำหนดตั้งแต่ขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสมโครงการ จนกระทั่งเมื่อทางก่อสร้างแล้วเสร็จจะมีการจัดสรรงบประมาณในแต่ละส่วนตามความเหมาะสม สำหรับแบบจำลองงานบำรุงทางที่ดำเนินการศึกษาประกอบด้วย 3 ประเภทหลักได้แก่ งานบำรุงปกติ งานบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ และงานบูรณะผิวทางแอสฟัลท์ ซึ่งถือเป็นงานบำรุงที่ต้องดำเนินการตลอดอายุการใช้งานของสายทาง

ก. **ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ** (Routine Maintenance Costs: RMC)

งานบำรุงปกติจะดำเนินการเป็นประจำทุกปี ซึ่งภายหลังที่แขวงการทางทั่วประเทศได้รับงบประมาณซ่อมบำรุงก็จะดำเนินการซ่อมแซมในส่วนที่ชำรุดเสียหายตลอดทั้งปี สภาพส่วนใหญ่เป็นความเสียหายที่ไม่รุนแรง แต่จำเป็นต้องซ่อมบำรุงก่อนที่จะลุกลามจนสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างชั้นทาง ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติมีดังนี้

- **สภาพความเสียหายของผิวทาง** (Deterioration Condition)

จากข้อมูลเชิงเอกสารในรายงานเรื่อง ค่างานบำรุงปกติต่อหน่วยตามลักษณะงาน (กรมทางหลวง, 2539) พบว่าสายทางที่มีสภาพความเสียหายสูงกว่าจะเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงมากกว่า และเมื่อพิจารณาอย่างละเอียดพบว่าภายหลังที่ทำการก่อสร้างหรือซ่อมบำรุงใหญ่ และเปิดใช้งานแล้วผิวทางจะเสื่อมสภาพและเสียหายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่อัตราการเกิดความเสียหายในแต่ละสายทางอาจไม่เท่ากัน สาเหตุเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพของแต่ละสายทางนั้นแตกต่างกัน โดยสายทางที่มีอัตราการเกิดความเสียหายสูงก็จะมีค่าใช้จ่ายสูงตาม



รูปที่ 3.1: สรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสภาพความเสียหายของผิวทางแอสฟัลท์ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง

● **สภาพพื้นที่** (Location)

จากการสำรวจข้อมูล (ฝ่ายสถิติงานบำรุง กรมทางหลวง, 2541) พบว่าแต่ละแขวงการทางจะมีราคาวัสดุท้องถิ่น ซึ่งในงานวิจัยนี้หมายถึงราคาวัสดุหินคลุกและลูกรังในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของแต่ละแขวงอาจไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงอาจสรุปในเบื้องต้นได้ว่าสภาพพื้นที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง ซึ่งลักษณะแบบจำลองที่นำมาวิเคราะห์สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติกับปัจจัยที่มีผลกระทบได้ดังนี้

$$RMC \propto f(DC, L)$$

เมื่อ RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (บาทต่อกม.ต่อ 2 ช่องจราจร)

DC = สภาพความเสียหายของผิวทาง (Deterioration Condition) อันเป็นผลมาจาก อายุบริการ สภาพแวดล้อม และลักษณะทางกายภาพของสายทางนั้นๆ เช่น สภาพปริมาณจราจร

L = สภาพพื้นที่ที่มีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่น แบ่งเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้

สำหรับราคางานบำรุงปกติที่ใช้งานในปัจจุบัน กรมทางหลวงได้คำนวณเป็นราคาต่อหน่วยโดยกำหนดให้คิดราคาต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจรที่ความกว้าง 7.00 เมตร เพื่อความสะดวกในการจัดสรรงบประมาณให้แต่ละแขวงการทางทั่วประเทศ ในส่วนความสัมพันธ์ที่นำเสนอไว้ตอนต้นเป็นรูปแบบเบื้องต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อกำหนดตัวแปรสำหรับใช้ในแบบจำลอง โดยอาศัยวิธีการทางสถิติในการพิจารณาเลือกตัวแปรที่เหมาะสม ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์จะอธิบายไว้ในบทที่ 5

ข. ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance Costs: PMC)

งานบำรุงตามกำหนดเวลาจะดำเนินการเป็นช่วงๆตามที่ได้วางแผนไว้ โดยทั่วไปกำหนดให้ซ่อมบำรุงทุก 5-7 ปีตามสภาพปริมาณจราจร ซึ่งภายหลังที่มีการซ่อมบำรุงจะทำให้ผิวทางมีสภาพใกล้เคียงกับตอนก่อสร้างเสร็จใหม่ สำหรับประเภทของงานซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักได้แก่ งานฉาบและเสริมผิวแอสฟัลท์ สำหรับงานฉาบผิวแอสฟัลท์จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านรอยแตกบนผิวทางเดิมโดยการใช้ Slurry หรือ Fog Seal มาฉาบทับไว้ ซึ่งในบางโครงการอาจรวมอยู่ในงานบำรุงปกติถ้าปริมาณงานไม่มาก สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาผลกระทบที่เกิดจาก

การบำรุงโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ (Asphalt Overlay) เท่านั้น ส่วนงานฉาบผิวจะพิจารณารวมกับงานบำรุงปกติ จากการสำรวจข้อมูล (ฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง, 2542) พบว่าวิธีการเสริมผิวที่มีการใช้งานในปัจจุบันได้แก่ การเสริมผิวหนา 50 มม. ซึ่งทำการจ้างเหมาให้เอกชนเข้ามาดำเนินงานโดยวิธีการประมูล โดยส่วนใหญ่มักจะให้เอกชนเข้ามาดำเนินการปูผิวแต่เพียงอย่างเดียว สำหรับขั้นตอนการเตรียมผิว (Surface Preparation) และแก้ไขบริเวณที่ชำรุดก่อนการเสริมผิวจะดำเนินการโดยแขวงการทางที่รับผิดชอบ ซึ่งงบประมาณที่ใช้ในงานเตรียมผิวจะรวมอยู่ในงบบำรุงปกติ จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่าสภาพความเสียหายของสายทางไม่ได้เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา เนื่องจากได้รวมค่าใช้จ่ายการเตรียมผิวไว้ในงานบำรุงปกติแต่ละปีแล้ว ในส่วนปัจจัยเรื่องสภาพพื้นที่ที่คาดว่าอาจมีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่น จะได้ทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้ทราบว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลาหรือไม่ โดยจะอธิบายรายละเอียดในบทที่ 5 ต่อไป ส่วนปัจจัยเรื่องวิธีการบำรุงรักษา (Treatment Activities) เนื่องจากการวิจัยมุ่งประเด็นการศึกษาเฉพาะวิธี Standard Overlay (หนา 50 mm.) เท่านั้น ส่งผลให้แบบจำลองที่พัฒนาได้เป็นแบบจำลองสำหรับการทำนายค่าใช้จ่ายงาน Standard Overlay ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับสายทางที่ซ่อมบำรุงด้วยวิธีอื่น สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลากับปัจจัยที่มีผลกระทบสามารถแสดงได้ดังรูปแบบข้างล่าง โดยกำหนดให้ราคางานคิดเป็นราคาต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจร เนื่องจากวิธีการเสริมผิวแอสฟัลท์ในปัจจุบันของกรมทางหลวงดำเนินการเสริมผิวพร้อมกันตลอดความกว้างสายทางซึ่งส่วนใหญ่กระทำต่อ 2 ช่องจราจร

$$PMC \propto f(L)$$

เมื่อ PMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธี Standard Overlay (บาทต่อกม.ต่อ 2 ช่องจราจร)

L = สภาพพื้นที่ที่มีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่น แบ่งเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้

ค. ค่าใช้จ่ายงานบูรณะ (Rehabilitation Costs: RHC)

งานบูรณะถนนแตกต่างจากงานบำรุงตามกำหนดเวลาตรงที่งานบูรณะไม่มีการกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงไว้ชัดเจน นอกจากนี้งานบูรณะยังเป็นการซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขโดยทำการซ่อมแซมจนถึงโครงสร้างชั้นทาง สาเหตุที่ต้องมีวิธีดังกล่าวเนื่องจากสายทางมีสภาพความเสียหายรุนแรงเกินกว่าที่จะซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวแอสฟัลท์ได้ แต่สำหรับในขั้นตอนการปูผิวแอสฟัลท์ใหม่จะ

ดำเนินการเช่นเดียวกับการเสริมผิว โดยส่วนใหญ่โครงการบูรณะถนนกว่า 90 เปอร์เซ็นต์จะปรับปรุงเฉพาะส่วนโครงสร้างชั้นพื้นทาง (Base) เท่านั้น (ฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง, 2542) เว้นแต่ในสายทางที่เสียหายมากอาจต้องปรับปรุงจนถึงชั้น Subbase แต่ก็มีจำนวนน้อยมาก

สำหรับการดำเนินงานจะให้เอกชนเข้ามาประมูลและรับผิดชอบตั้งแต่การปรับปรุงชั้นพื้นทาง (Base) จนกระทั่งถึงงานปูผิวแอสฟัสท์ใหม่ ส่งผลให้ปัจจัยเรื่องสภาพความเสียหายของผิวทางไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบูรณะเนื่องจากการดำเนินงานจะใช้วิธีแบบเดียวกันไม่ว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวทางจะมากหรือน้อยเพียงใด ในส่วนปัจจัยเรื่องสภาพพื้นที่ที่อาจมีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่นจนทำให้กระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบูรณะ จะได้ทำการวิเคราะห์ในแนวทางเดียวกันกับการพัฒนาแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ สำหรับราคาต่อหน่วยของงานบูรณะได้กำหนดเช่นเดียวกับงานบำรุงตามกำหนดเวลา เนื่องจากการดำเนินงานจะทำการปรับปรุงพร้อมกันทั้งสองช่องจราจร ดังนั้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานบูรณะกับปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบได้ดังนี้

$$RHC \propto f(L)$$

เมื่อ RHC = ค่าใช้จ่ายงานบูรณะ (บาทต่อกม.ต่อ 2 ช่องจราจร)

L = สภาพพื้นที่ที่มีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่น แบ่งเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้

3.2.2 **ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน** (Road User Costs)

ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่กล่าวถึงในงานวิจัยฉบับนี้หมายถึง ค่าใช้จ่ายทางตรงทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อผู้ใช้ถนน สำหรับค่าใช้จ่ายทางอ้อม เช่น ค่าใช้จ่ายจากอุบัติเหตุ ค่าใช้จ่ายทางสังคม เศรษฐกิจและชุมชน รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากค่าใช้จ่ายเหล่านี้ประเมินมูลค่าเป็นตัวเงินได้ยาก ซึ่งอาจส่งผลให้แบบจำลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน สำหรับค่าใช้จ่ายทางตรงของผู้ใช้ถนนประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการใช้รถ (Vehicle Operating Costs) และ ค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง (Travel Time Costs)

ก. ค่าใช้จ่ายการใช้รถ (Vehicle Operating Costs: VOC)

ในรายงานการศึกษาแบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ถนนสำหรับประเทศไทย หรือแบบจำลอง THAI-RUE (Department of Highways, 1998) ได้นำเสนอข้อมูลและผลการวิจัยเกี่ยวกับแนวทางการคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้รถซึ่งพัฒนามาจากโปรแกรม HDM-III ของธนาคารโลกที่ทำการศึกษาไว้ในประเทศบราซิลและอินเดีย โดยปรับปรุงให้ สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ได้อ้างอิงข้อมูลและแบบจำลองค่าใช้จ่ายการใช้รถจากแบบจำลอง THAI-RUE ของกรมทางหลวงเป็นหลัก เนื่องจากเป็นรายงานการศึกษาฉบับล่าสุดและสอดคล้องกับการนำมาใช้งานในประเทศไทย สำหรับส่วนประกอบของค่าใช้จ่ายการใช้รถประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายผันแปรและค่าใช้จ่ายคงที่

1. ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Costs) ประกอบด้วย
   - ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Costs)
   - ค่าน้ำมันหล่อลื่น (Lubricant Costs) ได้แก่ น้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ น้ำมันเฟืองท้าย น้ำมันเบรก รวมทั้งสารหล่อลื่นอื่นๆ
   - ค่ายางรถ (Tyre Costs)
   - ค่าอะไหล่ (Maintenance Part Costs)
   - ค่าแรงบำรุงรักษา (Maintenance Labour Costs)
   - ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Costs)
2. ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Costs)
   - ค่าใช้จ่ายของดอกเบี้ยยานพาหนะ (Interest on Capital Costs)
   - ค่าจ้างพนักงานประจำรถ (Crew Costs)
   - ค่าใช้จ่ายสำนักงาน (Overhead Costs)

สำหรับค่าใช้จ่ายสำนักงานจะไม่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ เนื่องจากในแบบจำลอง THAI-RUE ระบุว่าค่าใช้จ่ายดังกล่าวมีสัดส่วนน้อยมาก (ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ของ VOC) นอกจากนี้ยังมีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับนำมาใช้วิเคราะห์แบบจำลองทำให้ไม่สามารถพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากค่าใช้จ่ายดังกล่าวได้อย่างถูกต้องเพียงพอ จากการศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมา (Watanatada, et al., 1987) พบว่าอิทธิพลที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายการใช้รถขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ

- **ปัจจัยสภาพถนน** (Roadway Factors) **ได้แก่**
  - สภาพความขรุขระของผิวทาง (Roughness of Surface)
  - ชนิดของผิวทาง (Type of Pavement)
  - ลักษณะทางกายภาพของถนน (Physical Characteristics) เช่น ความโค้งราบและโค้งดิ่ง ความกว้างผิวจราจร ชนิดและสภาพไหล่ทาง เป็นต้น
  - สถานที่ตั้งโครงการในเมืองหรือชนบท (Urban or Rural Location)

- **ปัจจัยชนิดของยานพาหนะ** (Vehicle Type Factors)

  กรมทางหลวงได้จัดประเภทของยานพาหนะเป็น 6 ประเภท ตามลักษณะทางกายภาพและการใช้งานไว้ดังนี้

  - รถยนต์นั่ง (Passenger Car: PC) ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล
  - รถบรรทุกขนาดเล็ก (Light Truck: LT) ได้แก่ รถบรรทุก 4 ล้อ
  - รถบรรทุกขนาดกลาง (Medium Truck: MT) ได้แก่ รถบรรทุก 6 ล้อ
  - รถบรรทุกขนาดใหญ่ (Heavy Truck: HT) ได้แก่ รถบรรทุก 10 ล้อและรถพ่วง
  - รถโดยสารขนาดเล็ก (Light Bus: LB) ได้แก่ รถโดยสาร 4 ล้อ
  - รถโดยสารขนาดใหญ่ (Heavy Bus: HB) ได้แก่ รถโดยสาร 6 ล้อขึ้นไป

- **ปัจจัยการจราจร** (Traffic Factors) **ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่**
  - **ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง** (Average Speed)

    คำนวณได้จากโปรแกรม HDM-III ซึ่งกรมทางหลวงได้ปรับแก้สำหรับนำมาใช้งานในประเทศไทย สำหรับความเร็วเฉลี่ยที่ใช้อาจเรียกอีกอย่างว่า “ความเร็วดุลยภาพ (Steady–State Speed)” เนื่องจากเป็นความเร็วเฉลี่ยที่ไม่คำนึงถึงผลกระทบจากความแออัดของการจราจร (Congestion) ทำให้ยานพาหนะสามารถรักษาระดับความเร็วเฉลี่ยได้อย่างสม่ำเสมอตลอดการเดินทาง
  - **ปริมาณจราจร** (Traffic Volume) **และความหนาแน่น** (Density)

    สำหรับความหนาแน่นคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่อความจุถนน (V/C Ratio) ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากสำหรับถนนที่อยู่ในเขตชุมชนเมือง เช่น กรุงเทพมหานครและตามเมืองใหญ่ แต่สำหรับสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงส่วนใหญ่เป็นเส้นทางขนส่งระหว่างเมืองและอยู่ในเขตชนบททำให้ V/C Ratio มีค่าต่ำมากจนไม่ส่งผลกระทบต่อความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

จากรายงาน THAI-RUE ได้นำเสนอแบบจำลองสำหรับการคำนวณความเร็วดุลยภาพไว้ดังนี้

$$V_{SS} = \frac{K_O}{\left[\left[\frac{1}{V_{DESIR}}\right]^{1/\beta} + \left[\frac{1}{V_{DRIVE}}\right]^{1/\beta} + \left[\frac{1}{V_{BRAKE}}\right]^{1/\beta} + \left[\frac{1}{V_{CURVE}}\right]^{1/\beta} + \left[\frac{1}{V_{ROUGH}}\right]^{1/\beta}\right]^{\beta}} \quad (3.1)$$

เมื่อ V_{SS} = ความเร็วดุลยภาพ (Steady-State Speed) (เมตร/วินาที)

V_{DRIVE} = ความเร็วภายใต้ข้อจำกัดของสภาพความลาดชันขึ้น (เมตร/วินาที)

V_{BRAKE} = ความเร็วภายใต้ข้อจำกัดของสภาพความลาดชันลง (เมตร/วินาที)

V_{CURVE} = ความเร็วภายใต้ข้อจำกัดของสภาพความโค้งแนวราบ (เมตร/วินาที)

V_{ROUGH} = ความเร็วภายใต้ข้อจำกัดของสภาพความเรียบถนน (เมตร/วินาที)

V_{DESIR} = ความเร็วในสภาพอุดมคติ ซึ่งยานพาหนะสามารถวิ่งได้โดยสะดวกปลอดภัย ถนนมีสภาพดีเยี่ยมและมีปริมาณจราจรต่ำ โดยคนขับรถไม่มีความเครียดที่เกิดจากยานพาหนะคันอื่น หรือจากสัญญาณไฟจราจร (เมตร/วินาที)

K_O = Model Parameter สัมพันธ์กับประเภทยานพาหนะ

β = Weibull Shape Parameter สัมพันธ์กับประเภทยานพาหนะ

จากสมการที่ 3.1 สามารถพิจารณาได้ว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่เข้ามาเกี่ยวข้องในการคำนวณความเร็วแต่ขอบเขตในการคำนวณถูกกำหนดไว้สูงสุด ณ ระดับ V_{DESIR} และจะลดลงตามสภาพทางกายภาพของแต่ละสายทาง สำหรับงานวิจัยฉบับนี้มุ่งประเด็นไปยังปัจจัยเรื่องสภาพความเรียบของผิวทางเป็นหลัก ดังนั้นแบบจำลองการคำนวณความเร็วที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จึงมีรูปแบบดังนี้

$$V_{SS} = \frac{K_O}{\left[\left[\frac{1}{V_{DESIR}}\right]^{1/\beta} + \left[\frac{1}{V_{ROUGH}}\right]^{1/\beta}\right]^{\beta}} \quad (3.2)$$

จากสมการที่ 3.2 V_{SS} จะมีความสัมพันธ์เฉพาะกับ V_{ROUGH} เนื่องจากได้ควบคุมตัวแปรอื่นในสมการให้คงที่ ได้แก่ ระดับความลาดเอียงของถนนไม่เกิน 1-2 % ความกว้างช่องจราจร 7.00 เมตร

และกำหนดให้ลักษณะของแนวถนนเป็นทางตรง ทำให้มีเฉพาะ V_{ROUGH} เท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับ V_{DESIR} กำหนดเป็นค่าคงที่ขึ้นกับประเภทยานพาหนะ ซึ่งการวิเคราะห์ขั้นต่อไปจะสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) ซึ่งเป็นตัวกำหนดสภาพความเรียบของผิวทางกับ V_{ROUGH} ได้ดังนี้

$$V_{ROUGH} = \frac{ARV_{max}}{b_0 IRI} \qquad (3.3)$$

เมื่อ ARV_{max} = Max. Average Rectified Velocity (มม.ต่อวินาที)

b_o = สัมประสิทธิ์ความถดถอย

IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม.ต่อกม.)

ดังนั้นสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้รถกับปัจจัยที่มีผลกระทบได้ดังนี้

$$VOC \propto f(RF, VF, TF)$$

เมื่อ VOC = ค่าใช้จ่ายการใช้รถ (บาทต่อกม.-คัน)

RF = ปัจจัยสภาพผิวทาง

VF = ปัจจัยประเภทของยานพาหนะ

TF = ปัจจัยการจราจร

ข. ค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง (Travel Time Costs: TTC)

ค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทางเป็นมูลค่าของเวลาที่สูญเสียในระหว่างการเดินทางของผู้โดยสารโดยคำนวณจากรายได้เฉลี่ยของประชากรแยกตามประเภทยานพาหนะ สำหรับประเภทของยานพาหนะที่ใช้ศึกษามี 4 ประเภทได้แก่ รถยนต์นั่ง รถบรรทุกขนาดเล็ก รถโดยสารขนาดเล็ก และรถโดยสารใหญ่ เนื่องจากเป็นยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งผู้โดยสารเป็นหลัก สำหรับยานพาหนะประเภทอื่นได้แก่ รถบรรทุกขนาดกลางและใหญ่ จะเน้นในเรื่องการขนส่งสินค้าเป็นหลักจึงไม่นำมาพิจารณาในแบบจำลอง นอกจากนี้เมื่อสายทางมีการใช้งานย่อมส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของผิวทางและเกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น อันส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยตลอดการเดินทางลดลงและต้องใช้เวลาเดินทางนานขึ้น จากเหตุผลที่กล่าวมาพิจารณาได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทางมี 2 ปัจจัยหลักได้แก่ ประเภทของยานพาหนะและสภาพผิวทาง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$TTC \propto f(PC, TV)$$

เมื่อ TTC = ค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง (บาทต่อกม.-คัน)

PC = สภาพผิวทางซึ่งกำหนดโดยค่า IRI

TV = ประเภทของยานพาหนะ

3.2.3 แนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจต่อแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย

จากรายละเอียดที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 พิจารณาได้ว่าปัจจัยต่างๆที่นำมาวิเคราะห์แบบจำลองการคำนวณค่าใช้จ่ายเป็นปัจจัยทางวิศวกรรม หรือเรียกอีกอย่างว่า "ปัจจัยทางเทคนิค (Technical Factors)" ซึ่งหมายถึงปัจจัยพื้นฐานที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้กระบวนการทางวิศวกรรม ปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามอย่างเด่นชัดและมีความแปรปรวนต่ำเมื่อมีการวิเคราะห์ในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมปัจจัยภายนอกไว้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปัจจัยทางเทคนิคสามารถจำกัดขอบเขตในการวิเคราะห์ให้อยู่ในกรอบที่ต้องการได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการวิเคราะห์ว่าประเภทของยานพาหนะมีผลต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนหรือไม่ ก็เพียงแต่กำหนดประเภทของยานพาหนะที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้นก็ใช้กระบวนการทางวิศวกรรมเพื่อคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราสิ้นเปลืองยางรถ หรือตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยอาจศึกษาเป็นโครงการนำร่องจากนั้นจึงพัฒนาเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง หรือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพผิวทางกับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะเพื่อใช้คำนวณเวลาเดินทางในแต่ละสภาพผิวก็สามารถทำได้โดยใช้การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

นอกเหนือจากปัจจัยทางเทคนิคดังที่ได้กล่าวมาแล้วยังพบว่า ปัจจัยทางเศรษฐกิจ (Economic Factors) ก็มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์แบบจำลองเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับราคาวัสดุและค่าแรง และแปรผันตามภาวะเศรษฐกิจของประเทศ ส่งผลให้แบบจำลองค่าใช้จ่ายที่พัฒนาขึ้นมาใช้งาน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด อาจไม่สามารถนำมาใช้งานได้เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากค่าวัสดุและค่าแรงมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องใช้แนวคิดทางเศรษฐศาสตร์เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแบบจำลอง เนื่องจากปัจจัยทางเศรษฐกิจเป็นปัจจัยที่มีความแปรปรวนสูงและคาดการณ์ผลกระทบในระยะยาวได้ยาก

จากข้อเท็จจริงดังกล่าวทำให้มีปัจจัยทางเศรษฐกิจมากมายที่ส่งผลกระทบต่อแบบจำลอง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคัดเลือกตัวแปรที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานจาก สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมการค้าภายใน รวมถึงการวิเคราะห์สูตรและวิธีการคำนวณที่ใช้กับสัญญาแบบปรับราคาได้ในหมวดงานดินและงานทางทำให้ทราบว่า ดัชนีราคาเป็นเครื่องมือชี้วัดสำคัญที่สามารถแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของราคาวัสดุและค่าแรงในประเทศ ดังนั้นการใช้ดัชนีราคาเพื่อติดตามความเคลื่อนไหวของราคาที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มของระดับราคาในอนาคตได้ ซึ่งแนวคิดดังกล่าวได้นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายสำหรับการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ระดับราคาวัสดุและค่าแรงในอนาคตมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสำหรับใช้ในการทำนายแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดัชนีราคาที่เกี่ยวข้อง โดยอาศัยข้อมูลในอดีตสำหรับการวิเคราะห์

จากที่กล่าวมาทั้งหมดพิจารณาได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับราคาวัสดุและค่าแรงตามประเภทของแบบจำลอง แต่เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้ยากต่อการคาดการณ์ได้ชัดเจน ซึ่งแบบจำลองที่นำเสนอเป็นเพียงค่าประมาณการณ์ของแนวโน้มที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระยะยาว โดยตั้งสมมุติฐานว่าข้อมูลและแนวโน้มในอดีตสามารถนำมาพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตได้ในระดับหนึ่ง

3.3 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน เนื่องจากถนนเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีอายุการใช้งานยาวนาน โดยปกติสำหรับประเทศไทยจะมีอายุบริการประมาณ 20-25 ปี ซึ่งภายหลังที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดให้ใช้งานจะส่งผลให้สภาพผิวทางเกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆผลที่ตามมาทำให้เกิดค่าใช้จ่ายขึ้นสองส่วน ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน จากข้อเท็จจริงดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องสร้างวิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของถนน ซึ่งหมายถึงการคิดค่าใช้จ่ายโดยอาศัยข้อมูลจากแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง สำหรับแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพความเสียหายของผิวทางโดยเลือกใช้ค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) เป็นเกณฑ์ชี้วัด กับตัวแปรอิสระ ซึ่งได้แก่ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดความเสียหายของผิวทาง ประกอบด้วย ปัจจัยลักษณะของผิวทาง ประวัติการซ่อมบำรุง ลักษณะการจราจร และลักษณะสภาพแวดล้อม สำหรับแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายประกอบ

ด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางซึ่งประกอบด้วย งานบำรุงปกติ งานบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ และงานบูรณะ อีกส่วนคือ แบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายการใช้รถและค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง

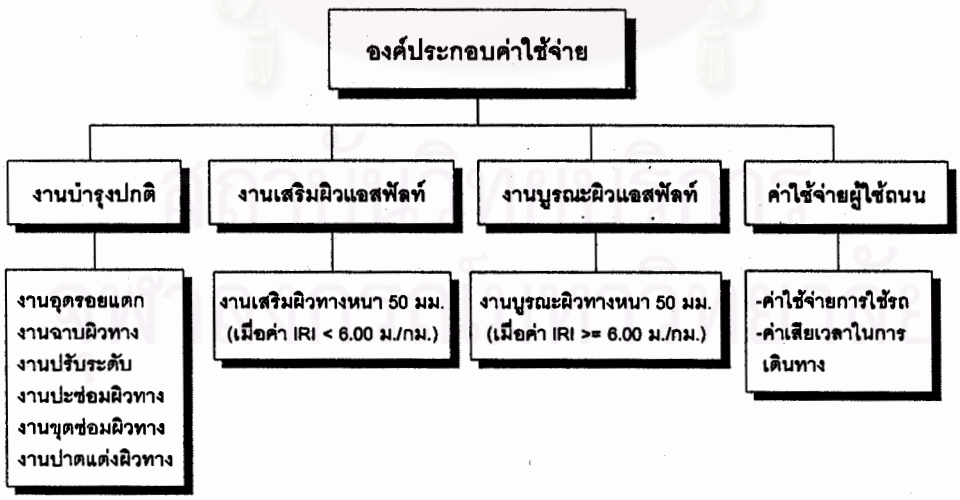
สำหรับแนวทางการพัฒนาแบบจำลองค่าใช้จ่ายมีลักษณะคล้ายคลึงกับการพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง คือมีการเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัยสภาพความเสียหายของผิวทาง ประเภทของยานพาหนะ และลักษณะการจราจร จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้กระบวนการทางสถิติเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ สำหรับในบทต่อไปจะกล่าวถึง วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน (Life-Cycle Cost Analysis) รวมทั้งตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การพัฒนาแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงแนวทางและหลักการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางและแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการพัฒนาและเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับนำมาวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

แบบจำลองค่าใช้จ่ายที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ งานเสริมผิวแอสฟัลท์ งานบูรณะผิวแอสฟัลท์ และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน สำหรับแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติได้อ้างอิงมาจากงานวิจัยขององค์กรเพื่อการร่วมมือระหว่างประเทศแห่งญี่ปุ่นหรือ JICA และแบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนอ้างอิงมาจากแบบจำลองผลกระทบค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในประเทศไทย (THAI-RUE) ในส่วนของแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ ได้ทำการพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ โดยอาศัยข้อมูลในประเทศย้อนหลัง 10 ปี ซึ่งองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost ของสายทาง แสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1: องค์ประกอบของค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost

4.1 การอ้างอิงแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

ดังที่กล่าวไว้ตอนต้นแล้วว่า แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติและผู้ใช้ถนนอ้างอิงมาจากงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งสาเหตุที่ไม่สามารถทำการพัฒนาขึ้นด้วยตนเองได้มาจากข้อจำกัดทางด้านข้อมูล ซึ่งไม่สามารถเก็บรวบรวมค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละสายทางได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดทางด้านเวลาและทรัพยากรเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน ทำให้มีความจำเป็นต้องอ้างอิงจากแบบจำลองที่ได้จัดทำไว้แล้ว โดยดำเนินการปรับปรุงข้อมูลราคาของตัวแปรในแบบจำลองดังกล่าวให้เป็นฐานราคาในปี 2542 เพื่อความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้งานในปัจจุบันถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ข้อมูลราคาในอดีตที่ค่อนข้างล้าสมัย

4.1.1 แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติของ JICA ซึ่งทำการวิจัยโดยใช้ข้อมูลในประเทศไทยสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง โดยกำหนดให้มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. **ปัจจัยที่มีผลต่อสภาพความเสียหายของผิวทาง** ได้แก่ อายุบริการนับจากการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ สภาพปริมาณจราจร สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ ซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง
2. **ปัจจัยที่มีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่น** สำหรับความแตกต่างของราคาวัสดุท้องถิ่นในแต่ละพื้นที่ ถูกกำหนดโดยค่าดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังส่งถึงโครงการ (Rock and Laterite Price at Construction Site Index: K_m) ซึ่งจากงานวิจัยของ JICA ร่วมกับกรมทางหลวง (รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองลำปาง-เชียงใหม่, 2540) ระบุว่า K_m มีผลต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติอย่างมีนัยสำคัญ โดยได้นำเสนอแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติไว้ดังสมการที่ 4.1

$$RMC = K + b * AADT \quad (4.1)$$

เมื่อ RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (บาทต่อกม. ต่อ ความกว้าง 7.00 ม.)

K = $K_a * K_m *$ ค่าบำรุงมาตรฐาน

K_a = Road Characteristic Factor คำนวณจากตารางที่ 4.1

K_m = ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง

b = Constant Parameter = 1.75

AADT = ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี

ตารางที่ 4.1: ตัวแปรสำหรับคำนวณค่าดัชนี K_a

Factor	Description	Value		
X_1	Surface & Subbase	High 0	Intermediate 0.5	Low 1.0
X_2	Subgrade	Poor 1.0	Medium 0.75 – 0.25	Good 0
X_3	AADT (veh./day)	<500 0	to to	> 2000 2.25
X_4	Service life (yrs)	0 0	to to	> 12 1.80
X_5	Pavement Width (m)	5 0	to to	7.0 0.19
Y_1	Right – of – Way (m)	60 0.1	to to	100 0.3
Y_2	Shoulder Width (m)	2 0.1	2.25 0.15	2.5 0.2
Y_3	Traffic Service	Flat 0	Hilly 0.24	Mountainous 0.63
Y_4	Terrain & Drainage	Flat 0	Hilly 0.24	Mountainous 0.36
Y_5	Bridge Works (m/km.)	< 20 0	to to	> 30 0.06

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ลำปาง – เชียงใหม่, 2540

หมายเหตุ $K_a = 1 + 0.05 (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5)$

$K_m = 0.80 K_r + 0.14 K_s + 0.58$

K_r = Cost of Rock at Construction Site

K_s = Cost of Laterite at Construction Site

สำหรับตัวแปรที่นำมาคำนวณค่าดัชนี K_a ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งจากแบบจำลองดังกล่าวพิจารณาได้ว่าค่าใช้จ่ายเป็นฟังก์ชั่นกับตัวแปร AADT เนื่องจากสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงมักจะเกิดความเสียหายรุนแรงมากกว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ โดยแบบจำลองดังกล่าวถูกนำมาอ้างอิงในการศึกษาความเหมาะสมโครงการทางหลวงสายต่างๆจนถึงปัจจุบัน แต่เนื่องจากแบบจำลองถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี 2536 จนถึงปัจจุบันยังไม่มีการปรับปรุง อีกทั้งยังไม่ได้ทำการทดสอบว่า K_m มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยในแต่ละภูมิภาคของประเทศอย่างไร อันส่งผลให้สมการที่ 4.1 ซึ่งเป็นแบบจำลองรวมของทั้งประเทศอาจให้ค่าที่ไม่ละเอียดเพียงพอ โดยในการวิเคราะห์ต่อไปจะทำการทดสอบค่า K_m ว่ามีความสัมพันธ์กับภาคต่างๆของประเทศอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้ามีนัยสำคัญก็จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสำหรับภาคนั้นๆโดยเฉพาะ แต่ถ้าไม่มีนัยสำคัญก็สามารถพัฒนาแบบจำลองรวมทั้งประเทศได้

จากตารางที่ 4.1 กำหนดให้ตัวแปร X_1 ถึง X_5 นำมาใช้คำนวณสำหรับงานซ่อมบำรุงผิวทาง และ Y_1 ถึง Y_5 จะเป็นงานบำรุงในส่วนอื่นๆ เช่น เกาะกลางถนน คันทาง ไหล่ทาง ระบบระบายน้ำ และงานสะพาน ดังนั้นจึงไม่นำตัวแปร Y_1 ถึง Y_5 มาพิจารณาในแบบจำลอง สำหรับ X_1 ถึง X_5 เนื่องจากแบบจำลองที่ทำการวิเคราะห์ถูกกำหนดขอบเขตสำหรับถนน Asphaltic Concrete ซึ่งเป็นมาตรฐานสูงสุดและเป็นสายทางส่วนใหญ่ของประเทศ ดังนั้นค่า X_1 ในแบบจำลองจึงกำหนดให้เท่ากับศูนย์ นอกจากนี้ในงานวิจัยกำหนดความกว้างของช่องจราจรไว้ที่ 7.00 เมตร ทำให้ค่า X_5 จึงเท่ากับ 0.19 สำหรับการกำหนดค่าตัวแปรสภาพชั้น Subgrade ในแบบจำลองนั้น เนื่องจากในการก่อสร้างผู้รับเหมาจำเป็นต้องปรับปรุงให้มีค่า CBR ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งถนน AC ต้องมีค่า CBR มากกว่า 6 ดังนั้นค่า X_2 จึงกำหนดให้เท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึงมีสภาพดี ทำให้เหลือเฉพาะตัวแปร X_3 และ X_4 ซึ่งได้แก่ ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี และอายุบริการของผิวทางตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวแปรอิสระสำหรับการวิเคราะห์ในแบบจำลอง โดยรายละเอียดและขั้นตอนการวิเคราะห์จะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 5.1.2

4.1.2 แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ ค่าใช้จ่ายการใช้รถ (Vehicle Operating Costs: VOC) และค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง (Travel Time Costs: TTC) การวิเคราะห์แบบจำลองอ้างอิงมาจากรายงานการศึกษาแบบจำลองผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในประเทศไทย (THAI-RUE, 2541) ซึ่งพัฒนามาจากโปรแกรม HDM-III ของธนาคารโลก สำหรับแบบจำลองจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนกับสภาพความเสียหายของผิวทางที่กำหนด

โดยค่า IRI แยกตามประเภทของยานพาหนะ สำหรับรูปแบบความสัมพันธ์ของแบบจำลองอยู่ในลักษณะของ Parabola ฟังก์ชั่น ดังสมการที่ 4.2 ซึ่งการวิเคราะห์อาศัยฐานข้อมูลราคาในปี 2542 เป็นเกณฑ์ โดยค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

$$RUC = a\,IRI^2 + b\,IRI + c \qquad (4.2)$$

เมื่อ RUC = ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน (บาท / กม. – คัน)
IRI = ดัชนีความเรียบสากล (ม. / กม.)
a, b, c = สัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับประเภทยานพาหนะ

4.1.3 หลักการวิเคราะห์ดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.3 ซึ่งระบุว่า สภาวะเศรษฐกิจของประเทศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่งผลต่อราคาวัสดุและค่าแรงที่อาจเปลี่ยนแปลงในอนาคต ดังนั้นแบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่ถูกวิเคราะห์โดยอาศัยฐานข้อมูลราคาในปี 2542 อาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ตลอดอายุการใช้งานของสายทาง จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงให้แบบจำลองดังกล่าวสามารถคาดการณ์แนวโน้มระยะยาวของระดับค่าใช้จ่ายในอนาคตได้ ซึ่งดัชนีราคาเป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมอย่างหนึ่งสำหรับใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับราคาวัสดุและค่าแรงที่เกี่ยวข้อง แต่จากการสำรวจข้อมูลปัจจุบันพบว่า ยังไม่มีหน่วยงานใดในประเทศจัดทำดัชนีสำหรับใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ซึ่งเป็นเหตุผลให้ในงานวิจัยนี้ได้จัดทำดัชนีชี้วัดอย่างหนึ่งขึ้นมาเรียกว่า “ดัชนีค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน (Road User Cost Index)” สำหรับการวิเคราะห์ดัชนีพิจารณาจาก ดัชนีราคาขององค์ประกอบที่เกี่ยวข้องซึ่งได้จัดทำไว้แล้ว โดยในงานวิจัยนี้ได้นำดัชนีราคาผู้ผลิตของประเทศตามกิจกรรมการผลิตซึ่งจัดทำโดยกระทรวงพาณิชย์ เป็นตัวชี้วัดระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายในส่วนของราคาน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น ยางรถ อะไหล่ยานพาหนะ และราคายานพาหนะ นอกจากนี้ยังใช้ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไปซึ่งเป็นตัวชี้วัดอัตราเงินเฟ้อของประเทศ เป็นดัชนีชี้วัดระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงซ่อมบำรุง ค่าจ้างพนักงานประจำรถ และรายได้เฉลี่ยของผู้โดยสาร โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าอัตราเงินเฟ้อมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าครองชีพ และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าจ้างแรงงานของประชาชน จากนั้นจึงทำการคำนวณค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนของดัชนีแต่ละประเภท เพื่อมาจัดทำเป็นดัชนีรวมสำหรับใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนต่อไป

สำหรับขั้นตอนการจัดทำดัชนีค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน จะอธิบายอย่างละเอียดในหัวข้อ 5.1.4 จากนั้นจึงมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีราคากับระยะเวลา โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการทำนายแนวโน้มของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคต

4.2 การพัฒนาแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์

สำหรับแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้โดยเฉพาะ ซึ่งการวิเคราะห์แบบจำลองได้ดำเนินการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย โดยอาศัยหลักเกณฑ์จากการค้นคว้าข้อมูลในงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.2.2 โดยได้ข้อสรุปว่าค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลาซึ่งในงานวิจัยนี้ครอบคลุมถึงประเภทงานบูรณะด้วย มีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายแปรผัน

1. **ค่าใช้จ่ายคงที่** เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามสภาพความเสียหายของผิวทาง ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ที่ดำเนินการโดยผู้รับจ้าง แต่ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบ ประกอบด้วย วิธีการซ่อมบำรุง ราคาท้องถิ่น ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ และสภาพเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงไปอันมีผลต่อราคาวัสดุและค่าแรง
2. **ค่าใช้จ่ายแปรผัน** เป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมความเสียหายของผิวทางเดิมก่อนการเสริมผิวแอสฟัลท์ หรือเรียกอีกอย่างว่า “ค่าใช้จ่ายในการเตรียมผิว” ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะแปรผันตามสภาพความเสียหายของผิวทางเดิมก่อนการเสริมผิว แต่ในส่วนค่าใช้จ่ายงานบูรณะจะไม่มีค่าใช้จ่ายส่วนนี้ เนื่องจากเป็นงานซ่อมแซมจนถึงชั้นโครงสร้างทาง โดยผู้รับจ้างต้องดำเนินการซ่อมแซมความเสียหายของชั้นโครงสร้างเดิมก่อนที่จะปูผิวทางใหม่ สำหรับค่าใช้จ่ายในการเตรียมผิวจะดำเนินการโดยแขวงการทางที่รับผิดชอบ ซึ่งงบประมาณดังกล่าวถูกรวมไว้ในงบซ่อมบำรุงปกติของแขวงการทางในแต่ละปี

ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสำหรับงานบำรุงตามกำหนดเวลา ส่วนหนึ่งรับผิดชอบโดยผู้รับจ้างที่ประมูลงานได้ และอีกส่วนหนึ่งรับผิดชอบโดยแขวงการทางในลักษณะของงบบำรุงปกติ หรือกล่าวได้ว่า ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสำหรับการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ ณ ปีที่ทำการซ่อมบำรุง ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ค่าใช้จ่ายในการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ซึ่งไม่แปรผันตามสภาพความเสียหายของผิวทาง และค่าใช้จ่ายในการเตรียมผิว ซึ่งแปรผันตามสภาพความเสียหายโดยรวมไว้ในงบบำรุงปกติ

4.2.1 แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์

สำหรับการเสริมผิวแอสฟัลท์ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ค่าใช้จ่ายการเตรียมผิวทางเดิมก่อนเสริมผิวใหม่ ดำเนินการโดยแขวงการทางที่รับผิดชอบ ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจึงพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายคงที่ซึ่งไม่แปรผันตามสภาพความเสียหายของผิวทางเดิม แต่เนื่องจากในงานวิจัยกำหนดลักษณะงานเป็นราคาต่อกิโลเมตร ต่อ ความกว้าง 7.00 เมตร ที่ความหนา 50 มม. ทำให้ปัจจัยเรื่องวิธีการซ่อมบำรุงไม่ต้องนำมาพิจารณา นอกจากนี้การวิเคราะห์แบบจำลองยังใช้ข้อมูลราคากลางอ้างอิงของกรมทางหลวงเป็นเกณฑ์ ทำให้ปัจจัยเรื่องราคาท้องถิ่นและลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานเสริมผิว เนื่องจากดำเนินการวิเคราะห์ในภาพรวมของทั้งประเทศ แต่ทั้งนี้จะดำเนินการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างราคาวัสดุท้องถิ่น ซึ่งได้แก่ราคาหินคลุกและลูกรังส่งถึงโครงการในแต่ละพื้นที่ กับภาคต่างๆของประเทศซึ่งแบ่งเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ กลาง ตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างกันของแต่ละภาค สำหรับขั้นตอนและผลการวิเคราะห์จะอธิบายอย่างละเอียดในบทที่ 5

จากข้อเท็จจริงดังกล่าว ส่งผลให้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายสำหรับใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง จึงมาจากปัจจัยเรื่องสภาพเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงไป อันส่งผลต่อราคาวัสดุและค่าแรงที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ จึงเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรชี้วัดระดับราคาวัสดุงานบำรุงทาง กับราคากลางอ้างอิงงานเสริมผิวแอสฟัลท์ของกรมทางหลวงเป็นหลัก

สำหรับวิธีการเลือกตัวแปรชี้วัดระดับราคาวัสดุ พิจารณาจากดัชนีราคาที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับราคาวัสดุงานบำรุงทาง ซึ่งแนวทางการเลือกดัชนีราคาที่เหมาะสมอ้างอิงจากประเภทของวัสดุสำหรับการประมาณราคางานเสริมผิวแอสฟัลท์ของกรมทางหลวง รวมทั้งวิเคราะห์จากสูตรและวิธีคำนวณที่ใช้กับสัญญาแบบปรับราคาได้ในหมวดงานดิน และงานทาง ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

หมวดงานดิน

$$K = 0.30 + 0.10 (I_t / I_0) + 0.40 (E_t / E_0) + 0.20 (F_t / F_0) \quad (4.3)$$

หมวดงานทางเฉพาะผิวทาง Asphaltic Concrete

$$K = 0.30 + 0.10 (M_t / M_0) + 0.40 (A_t / A_0) + 0.10 (E_t / E_0) + 0.10 (F_t / F_0) \quad (4.4)$$

ซึ่งจากข้อมูลปริมาณงานและสูตรการคำนวณ Escalation Factor สรุปได้ว่า ราคางานเสริมผิวแอสฟัลท์ มีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้ ค่าแอสฟัลท์ ค่าเครื่องจักรกลงานบำรุงทาง ค่าหินคลุกและลูกรัง ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรกล ค่าวัสดุทางอ้อม และค่าดำเนินการ จากนั้นจึงทำการกำหนดตัวแปรดัชนีราคาให้สอดคล้องกับประเภทของวัสดุและส่วนประกอบของราคางานเสริมผิวแอสฟัลท์ เพื่อทำให้แบบจำลองที่ได้มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ซึ่งการกำหนดตัวแปรดัชนีราคาสำหรับใช้ในการพัฒนาแบบจำลองมีดังนี้

ดัชนีราคาแอสฟัลท์	เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงราคา Asphaltic Concrete
ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรกลงานบำรุงทาง
ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง	เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงราคาหินคลุกและลูกรัง
ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง	เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงราคาเครื่องจักรกลงานบำรุงทาง
ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (ไม่รวมเหล็กและซีเมนต์)	เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงราคาวัสดุทางอ้อม

เนื่องจากไม่มีการจัดทำดัชนีชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าดำเนินการ และเมื่อพิจารณาจากสมการที่ 4.3 และ 4.4 สังเกตได้ว่า ผลกระทบจากค่าใช้จ่ายดังกล่าวอาจถูกพิจารณารวมในค่าคงที่ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 30 และไม่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเศรษฐกิจ จากข้อสมมติฐานดังกล่าวจึงกำหนดให้ค่าดำเนินการในงานวิจัยนี้มีค่าคงที่ตลอดการวิเคราะห์ ภายหลังการกำหนดตัวแปรดัชนีราคาที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์กับตัวแปรดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องโดยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้น (Stepwise Multiple Regression Method) จากข้อมูลราคากลางอ้างอิง 10 ปีย้อนหลัง ซึ่งทำให้แบบจำลองที่ได้สามารถนำมาใช้ประมาณการณ์ราคางานเสริมผิวแอสฟัลท์ในอนาคต เมื่อทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีราคาที่เกี่ยวข้อง สำหรับรายละเอียดและผลการวิเคราะห์แบบจำลอง แสดงไว้ในหัวข้อ 5.1.2 (ข)

4.2.2 แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์

ในการซ่อมบำรุงทางตามกำหนดระยะเวลา นอกจากวิธีการเสริมผิวแอสฟัลท์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.2.1 ในบางครั้งสภาพสายทางอาจเสียหายอย่างมากจนไม่สามารถซ่อมแซมโดยวิธีดังกล่าวได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชั้นโครงสร้างทาง ซึ่งจำเป็นต้องดำเนินการซ่อมแซมด้วยวิธี

การอื่นที่เหมาะสมกว่า สำหรับเกณฑ์ของกรมทางหลวงในการซ่อมแซมสายทางที่เสียหายจนถึงชั้นโครงสร้างทางหรือมีค่า IRI ตั้งแต่ 6.00 ม./กม.ขึ้นไปตามมาตรฐานของระบบ TPMS ควรดำเนินการซ่อมบำรุงด้วยวิธีบูรณะ ซึ่งสายทางที่จำเป็นต้องทำการบูรณะโดยส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 90 ของงานบูรณะในแต่ละปี) มักเสียหายจนถึงชั้นพื้นทาง (Base) สำหรับวิธีการวิเคราะห์แบบจำลองจะใช้แนวทางเดียวกับงานเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยที่ปัจจัยเรื่องสภาพความเสียหายของผิวทางไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบูรณะ เนื่องจากได้กำหนดวิธีการซ่อมแซมที่แน่นอนไว้แล้วไม่ว่าผิวทางจะเสียหายมากน้อยเพียงใด โดยตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบูรณะ มาจากการเปลี่ยนแปลงของราคาวัสดุงานบำรุงทางซึ่งถูกชี้วัดโดยดัชนีราคาที่นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 เช่นเดียวกับงานเสริมผิวแอสฟัลท์ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์กับตัวแปรดัชนีราคาที่เกี่ยวข้อง โดยอาศัยข้อมูลจากราคากลางอ้างอิงของกรมทางหลวง 10 ปีย้อนหลังเป็นเกณฑ์ สำหรับรายละเอียดและผลการวิเคราะห์แบบจำลอง แสดงไว้ในหัวข้อ 5.1.2 (ค)

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย

การเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง แบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน และข้อมูลดัชนีราคาที่มีผลต่อการคิดค่าใช้จ่าย ซึ่งการเก็บข้อมูลสำหรับวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์จะเป็นข้อมูลจริงในสนาม ส่วนแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติและของผู้ใช้ถนนเป็นการสำรวจเชิงเอกสารจากงานวิจัยเดิม (THAI-RUE, 2541) และข้อมูลจากรายงานการศึกษาความเหมาะสมในการก่อสร้างโครงการทางหลวง เพื่อพิจารณาเลือกข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองที่เหมาะสม

4.3.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง

ในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ได้กล่าวถึงวิธีการพัฒนาแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม สำหรับในหัวข้อที่ 4.3.1 จะกล่าวถึงวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง โดยอาศัยการเก็บข้อมูลจริง 10 ปีย้อนหลัง รวมทั้งข้อมูลจากการสำรวจเชิงเอกสาร ซึ่งการเก็บข้อมูลจะแยกตามประเภทของงานบำรุงโดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย งานบำรุงปกติ งานบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ และงานบูรณะผิวแอสฟัลท์

ก. ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (Routine Maintenance Costs)

งานบำรุงปกติอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของแขวงการทางทั่วประเทศ โดยทำการจัดสรรงบประมาณจากส่วนกลาง ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์มาจากงบประมาณที่จัดสรรให้กับแขวงการทางทั้ง 84 แขวง ประจำปี 2542 ซึ่งถูกเก็บรวบรวมไว้ที่ฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง กรมทางหลวง โดยค่าใช้จ่ายในแต่ละสายทางจะแตกต่างกันขึ้นกับประเภทและระดับความเสียหาย ส่วนใหญ่กรมทางหลวงคิดค่าใช้จ่ายเป็นราคาต่อหน่วยในรูปของ “บาทต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจร” ซึ่งนอกจากสภาพและลักษณะความเสียหายของผิวทางแล้ว สภาพพื้นที่ก็เป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ราคาวัสดุในแต่ละท้องถิ่นแตกต่างกัน ดังนั้นในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติที่พัฒนาโดย JICA จำเป็นต้องทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ 1) ข้อมูลของอายุบริการภายหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ 2) ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันในแต่ละสายทาง 3) ข้อมูลดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังของแต่ละแขวงการทางในปี 2542 เพื่อนำมาแทนค่าตัวแปรในสมการที่ 4.1 โดยภายหลังการปรับปรุงข้อมูลราคาของตัวแปรในแบบจำลองเดิมแล้ว จะได้แบบจำลองใหม่ที่วิเคราะห์โดยอาศัยฐานข้อมูลราคาในปี 2542 สำหรับวิธีการและผลการปรับปรุงแบบจำลองจะอธิบายในหัวข้อที่ 5.1.2 (ก)

ข. ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ (Asphalt Overlay Costs)

ในงานวิจัยพิจารณาเฉพาะการซ่อมบำรุงโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม. เท่านั้น สำหรับการฉาบผิว (Slurry Seal-Coating) จะพิจารณารวมอยู่ในงานซ่อมบำรุงปกติ ในส่วนการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ ได้รวบรวมมาจากราคากลางอ้างอิงของกองบำรุง กรมทางหลวง ที่ได้จัดทำขึ้นระหว่างปีงบประมาณ 2532-2542 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 โดยราคากลางดังกล่าวกำหนดให้ใช้เป็นราคาต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจร ที่ความกว้าง 7.00 ม.

ค. ค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์ (Rehabilitation Costs)

การเก็บข้อมูลดำเนินการเช่นเดียวกับงานเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยเก็บรวบรวมจากราคากลางอ้างอิงที่จัดทำขึ้นสำหรับการจัดสรรงบประมาณของกรมทางหลวง สำหรับราคากลางจะคิดจากราคาที่ดำเนินการซ่อมปรับปรุงจนถึงชั้นพื้นทาง (Base) เท่านั้น โดยคิดเป็นราคาต่อหน่วยเช่นเดียวกับงานเสริมผิวแอสฟัลท์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10

4.3.2 การเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน

การเก็บข้อมูลเป็นการสำรวจเชิงเอกสารเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ โดยแบบจำลองและข้อมูลราคาที่นำมาอ้างอิงรวบรวมมาจาก "รายงานการศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)" และแบบจำลอง Thailand Road User Effects Model (THAI-RUE, 2541) โดยในรายงานการศึกษาความเหมาะสมจะใช้เป็นแหล่งข้อมูลของค่าใช้จ่ายการใช้รถได้แก่ ราคายานพาหนะ ราคายางรถ ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ราคาน้ำมันหล่อลื่น ค่าแรงช่างซ่อมบำรุง ค่าแรงพนักงานประจำรถ และ มูลค่าเวลาของผู้โดยสาร สำหรับแบบจำลอง THAI-RUE ซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลอง HDM-III ของธนาคารโลกแต่นำมาปรับปรุงสำหรับใช้งานในประเทศไทยจะนำมาใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลอง THAI-RUE จะกล่าวในหัวข้อ 5.1.3

โปรแกรม THAI-RUE เป็นแบบจำลองสำหรับการคำนวณอัตราการบริโภคทรัพยากรต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน เช่น อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตรต่อกิโลเมตร) หรืออัตราสิ้นเปลืองยางรถ (เส้นต่อกิโลเมตร) เมื่อนำมาคูณกับราคาต่อหน่วยเช่น ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง (บาทต่อลิตร) หรือราคายางรถ (บาทต่อเส้น) ตามลำดับ ทำให้สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายต่อกิโลเมตรได้ และเมื่อนำค่าใช้จ่ายแต่ละส่วนมารวมกันจะกลายเป็นค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของผู้ใช้ถนนต่อกิโลเมตร

ดังนั้นในการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจึงต้องมีการคำนวณราคาต่อหน่วยของแต่ละองค์ประกอบเสียก่อน โดยราคาดังกล่าวพิจารณาใน 2 รูปแบบ ได้แก่ ราคาตลาด (Financial Cost) ซึ่งหมายถึงราคาที่มีการซื้อขายกันระหว่างผู้ผลิตหรือจำหน่ายกับผู้บริโภค และราคาทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Cost) ซึ่งเป็นราคาที่ไม่รวมภาษี ทั้งจากภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) และภาษีกำไร (Marginal Tax) เนื่องจากมูลค่าที่เกิดจากภาษีจะมีการโอนถ่ายระหว่างกันในระบบจากผู้ผลิตสู่ผู้จำหน่าย จากผู้จำหน่ายสู่ผู้บริโภค และจากผู้บริโภคกลับคืนสู่รัฐ หมุนเวียนเป็นวัฏจักร ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งระบบสามารถอธิบายได้ว่า มูลค่าทางภาษีไม่ถือเป็นค่าใช้จ่ายเนื่องจากมีการถ่ายโอนกันอยู่ตลอดเวลาและไม่สูญหายไปจากระบบ ในขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนจะพิจารณาจากราคาทางเศรษฐศาสตร์เป็นหลักเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ทั้งระบบ ดังนั้นในแบบจำลอง THAI-RUE ราคาต่อหน่วยที่สำคัญจึงประกอบด้วย

- ราคายานพาหนะ (Replacement Vehicle Costs)
- ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Costs)
- ราคายางรถ (Tyre Costs)
- ราคาน้ำมันหล่อลื่น (Lubricant Costs)
- อัตราค่าแรงพนักงานซ่อมบำรุงรถ (Maintenance Labour Costs)
- อัตราค่าแรงพนักงานขับรถและผู้ช่วย (Crew Costs)
- มูลค่าเวลาของผู้โดยสาร (Passenger Time Costs)

ข้อมูลเกี่ยวกับราคาซึ่งเป็นองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนแสดงไว้ในตารางที่ 4.2-4.9 โดยได้อ้างอิงมาจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ เช่น สำนักงานคณะกรรมการกำกับนโยบายพลังงานแห่งชาติซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ตัวแทนจำหน่ายรถยนต์ในประเทศให้ข้อมูลเกี่ยวกับราคายานพาหนะ ราคาอะไหล่ และค่าแรงช่างซ่อมบำรุง สำหรับผู้ผลิตและจำหน่ายยางรถได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับราคายางรถในประเทศ รวมทั้งการเก็บข้อมูลโดยตรงจากสำนักแผนและโครงการทางหลวง กรมทางหลวง โดยถูกรวบรวมไว้ในรายงานการศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

ตารางที่ 4.2 แสดงราคายานพาหนะโดยแบ่งเป็น 6 ประเภทได้แก่ รถยนต์นั่ง รถบรรทุกขนาดเล็ก รถบรรทุกขนาดกลาง รถบรรทุกขนาดใหญ่ รถโดยสารขนาดเล็ก และรถโดยสารขนาดใหญ่ สำหรับเกณฑ์ในการกำหนด Brand ของรถแต่ละประเภทพิจารณาจากความนิยมของตลาดโดยดูจากยอดขายในปี1998 และคัดเลือกรุ่นที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อมากำหนดราคาเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละชนิด สำหรับราคายานพาหนะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าเสื่อมราคาในแบบจำลอง THAI-RUE เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวพิจารณาค่าเสื่อมราคา โดยคิดเป็นสัดส่วนของราคารถใหม่จนกระทั่งสิ้นสุดอายุการใช้งาน

ตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณราคาทางเศรษฐศาสตร์ของยานพาหนะแต่ละประเภทไม่รวมยางรถ โดยในขั้นแรกจะคิดเป็นราคาตลาดเฉลี่ย (Average Financial Cost) จากนั้นทำการหักค่าใช้จ่ายเนื่องจากภาษีซึ่งประกอบด้วย ภาษีมูลค่าเพิ่ม ภาษีนำเข้า ภาษีเทศบาล ภาษีสรรพสามิต และภาษีกำไร จนกระทั่งได้เป็นราคาทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Cost) ในส่วนยานพาหนะประเภทรถหนักซึ่งได้แก่รถบรรทุกขนาดกลางและใหญ่ รวมทั้งรถโดยสาร จะคิดราคาตัวถัง (Body Cost) รวมเข้าไปด้วยเนื่องจาก

ราคารถที่มาจากตัวแทนจำหน่ายเป็นราคาไม่รวมตัวถัง และในขั้นสุดท้ายต้องทำการหักราคายางเนื่องจากอายุการใช้งานทั้ง 2 ส่วนไม่เท่ากัน ทำให้กระทบต่อการคำนวณค่าเสื่อมราคาและค่าดอกเบี้ยในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.4 แสดงราคายางรถในประเทศ สำหรับ Brand ที่นำมาใช้ในการคำนวณราคาเฉลี่ย พิจารณาจากความนิยมในท้องตลาดซึ่งได้คัดเลือกมาจากผู้ผลิตรายใหญ่ 3 รายได้แก่ Bridgestone, Siam Tyre และ Goodyear สำหรับขนาดยางก็เป็นขนาดมาตรฐานที่รถแต่ละประเภทใช้งานในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.5 แสดงการคำนวณราคาทางเศรษฐศาสตร์ของยางรถแบ่งตามประเภทยานพาหนะ ในที่นี้กำหนดส่วนแบ่งกำไรสำหรับตัวแทนจำหน่ายไว้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลราคาน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ เบนซิลพิเศษ (Super) เบนซิลธรรมดา (Regular) และดีเซลหมุนเร็ว โดยราคาน้ำมันดิบที่นำเข้าอ้างอิงจากราคาหน้าโรงกลั่นสิงค์โปร์ สำหรับอัตราภาษี ค่าการตลาด และส่วนที่ต้องสมทบเข้ากองทุนส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation Promotion Fund: ECPF) จะอ้างอิงจากหลักเกณฑ์ในปี 2541

ตารางที่ 4.7 แสดงการคำนวณราคาทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันเชื้อเพลิงแยกตามประเภทของยานพาหนะ โดยที่น้ำหนักเฉลี่ยการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดพิจารณาจากสัดส่วนการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยของรถแต่ละประเภทระหว่างปี 2535 – 2541

สำหรับราคาน้ำมันหล่อลื่นที่มีใช้ในประเทศ คำนวณจากผลิตภัณฑ์ภายในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศ แต่เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่มีสัดส่วนน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในส่วนอื่น ดังนั้นจึงกำหนดให้ราคาน้ำมันหล่อลื่นเป็นราคารวมของน้ำมันทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์เฟืองท้าย น้ำมันเบรก น้ำมันครัช น้ำมันพาวเวอร์ และสารหล่อลื่นอื่นๆ โดยกำหนดราคาตลาดสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเท่ากับ 60 บาทต่อลิตร และราคาทางเศรษฐศาสตร์เท่ากับ 45 บาทต่อลิตร ซึ่งจะเป็นราคาที่นำมาใช้วิเคราะห์ต่อไป

ส่วนค่าแรงพนักงานซ่อมบำรุงรถพิจารณาจาก อัตราค่าจ้างต่อชั่วโมงรวมกับค่าจ้างพิเศษ (Allowance) รวมทั้งค่าจ้างผู้ช่วยและค่าดำเนินการโรงซ่อมบำรุง (Workshop Overheads) โดยกำหนดให้อัตราค่าจ้างในตลาดเท่ากับ 65 บาทต่อชั่วโมง และราคาทางเศรษฐศาสตร์เท่ากับ 60 บาทต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.2: ข้อมูลราคายานพาหนะในประเทศ (บาท)

Vehicle Class	Make	Sales 1998	Model	Vehicle Cost	Class Average	Body Cost	Total Cost
Car	Toyota	33,102	Corolla – 1500	423,000	630,933		630,933
			Corolla – 1600	588,000			
			Corona – 1600	668,000			
			Corona – 2000	758,000			
	Honda	27,739	Civic – 1600	583,000			
			Accord - 2200	818,000			
	Mitsubishi	12,600	Lancer – 1500	489,000			
			Lancer – 1800	587,000			
			Galant - 2000	830,000			
	Nissan	9,840	Sunny – 1500	480,000			
			Sunny – 1600	595,000			
			Cefiro - 2000	869,000			
Light Truck	Toyota	99,730	Hilux Diesel	310,000	351,093		351,093
			Hilux Petrol	419,500			
	Isuzu	99,417	Spark EX	306,000			
			Space Cab SL	335,500			
	Nissan	66,420	Premium Cab	306,000			
			Big-M King Cab	332,000			
	Mitsubishi	42,890	L300 Strada	474,000			
	Mazda	13,510	Family 1400	187,500			
			B2500 Standard	298,500			
Medium Truck	Isuzu	6,986		735,000	709,453	205,000	914,453
	Fuso	2,769		645,000			
Heavy Truck	Isuzu	5,168		1,450,000	1,409,753	405,000	1,814,753
	Fuso	5,985		1,375,000			
Light Bus	Isuzu		Buddy	446,000	446,000		446,000
Heavy Bus	Mercedes		240 HP	2,200,000	2,200,000	1,550,000	3,750,000

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

ตารางที่ 4.3: ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของยานพาหนะไม่รวมยางรถ (บาท)

Description	Car	Light Truck	Medium Truck	Heavy Truck	Light Bus	Heavy Bus
VEHICLE COST						
CKD Import Price	177,000	153,500	304,000	556,000	195,000	875,000
Duty	35,400	30,700	60,800	111,200	39,000	175,000
Assembly Cost	88,500	76,750	152,000	278,000	97,500	437,500
Excise Duty	152,195					
Interior Tax	15,220					
Dealer Margin	93,663	52,190	103,360	189,040	66,300	297,500
Tax on Margin	28,099	15,657	31,008	56,712	19,890	89,250
VAT	41,305	23,016	45,582	83,367	29,238	131,198
Financial Cost	631,382	351,813	696,750	1,274,319	446,928	2,005,448
Total Taxes	272,219	69,373	137,390	251,279	88,128	395,448
Economic Cost	359,163	282,440	559,360	1,023,040	358,800	1,610,000
BODY COST						
Manufacturing Cost			140,187	303,738	9,346	1,090,343
Dealer Margin			28,037	60,748	1,869	218,069
Tax on Margin			8,411	18,224	561	65,421
VAT			12,364	26,790	824	96,168
Financial Cost			189,000	409,500	12,600	1,470,000
Total Taxes			20,776	45,014	1,385	161,589
Economic Cost			168,224	364,486	11,215	1,308,412
TOTAL FINANCIAL COST	631,382	351,813	885,750	1,683,818	459,529	3,475,448
TOTAL ECONOMIC COST	359,163	282,440	727,584	1,387,526	370,015	2,918,412
No. of Tyres (inc. spare)	5	5	7	11	5	7
Set of Tyres (Economix)	4,880	7,105	15,540	48,180	7,105	32,942
ECONOMIC COST (Less Tyres)	354,283	275,335	712,044	1,339,346	362,910	2,885,470

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

ตารางที่ 4.4: ข้อมูลราคายางรถในประเทศแยกตามชนิดยานพาหนะ (บาทต่อเส้น)

Vehicle Class	Tyre Size	Retail Price (Baht per Tyre)			
		Bridgestone	Siam Tyre	Goodyear	Average
Car	175 x 13	1,198	1,050	1,050	1,099
Light Truck	195 x 14	1,650	1,550	1,600	1,600
Medium Truck	8.25 x 16	2,950	2,950	1,600	2,500
Heavy Truck	10 x 20	5,100	4,900	4,800	4,933
Light Bur	195 x 14	1,650	1,550	1,600	1,600
Heavy Bus	11 x 20	5,550	5,500	4,850	5,300

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

ตารางที่ 4.5: ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของยางรถ (บาทต่อเส้น)

Vehicle Class	Financial Cost	VAT (7%)	Cost Less VAT	Cost to Dealer	20% Dealer Margin	30% Tax on Margin	Total Tax	Economic Cost
Car	1,099	72	1,027	856	171	51	123	976
Light Truck	1,600	105	1,495	1,246	249	75	179	1,421
Medium Truck	2,500	164	2,336	1,947	389	117	280	2,220
Heavy Truck	4,933	323	4,611	3,842	768	231	553	4,380
Light Bus	1,600	105	1,495	1,246	249	75	179	1,421
Heavy Bus	5,300	347	4,953	4,128	826	248	594	4,706

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

ตารางที่ 4.6: ข้อมูลราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ (บาทต่อลิตร)

Description	Premium/ Super	Regular Unleaded	Diesel
Import Price	4.600	3.800	3.550
Import Duty	0.065	0.065	0.065
Excise Tax	2.684	2.684	2.277
Interior Tax	0.268	0.268	0.228
Oil Fund	0.080	0.080	0.140
ECPF	0.070	0.070	0.070
Wholesale Price	7.767	6.967	6.330
Marketing Margin	1.350	1.350	1.350
VAT	0.638	0.582	0.538
Financial Cost	9.756	8.900	8.217
Economic Cost	5.950	5.150	4.900

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

ตารางที่ 4.7: ราคาทางเศรษฐสตร์เฉลี่ยของน้ำมันเชื้อเพลิงแยกตามชนิดยานพาหนะ (บาทต่อลิตร)

Vehicle Class	Percentage of Class Using Each Type of Fuel			Cost (Baht Per litre)	
	Premium	Regular	Diesel	Financial	Economic
Car	53.6	46.4	0	9.358	5.579
Light Truck	10	10	80	8.439	5.030
Medium Truck	0	0	100	8.217	4.900
Heavy Truck	0	0	100	8.217	4.900
Light Bus	10	10	80	8.439	5.030
Heavy Bus	0	0	100	8.217	4.900

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

ตารางที่ 4.8: ข้อมูลค่าแรงพนักงานขับรถและผู้ช่วย (บาทต่อชั่วโมง)

Vehicle Class	Crew	Baht per month			Baht
		Salary	Allowances	Total	Per hour
Light Truck	Driver	8,500	0	8,500	39.4
	Assistant	0	0	0	0
	Total				39.4
Medium Truck	Driver	10,000	3,375	13,375	61.9
	Assistant	3,500	1,620	5,120	23.7
	Total				85.6
Heavy Truck	Driver	10,200	4,050	14,250	66.0
	Assistant	3,500	2,025	5,525	25.6
	Total				91.6
Light Bus	Driver	10,000	0	10,000	46.3
	Assistant	0	0	0	0
	Total				46.3
Heavy Bus	Driver	12,250	2,500	14,750	68.3
	Assistant x 2	10,500	1,000	11,500	53.2
	Total				174.8

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลอัตราค่าจ้างพนักงานขับรถและผู้ช่วยแยกตามประเภทยานพาหนะ ซึ่งประกอบด้วยเงินค่าจ้างประจำ และค่าจ้างพิเศษ โดยกำหนดว่าชั่วโมงทำงานทั้งหมดคิดเป็น 216 ชั่วโมงต่อเดือน สำหรับตารางที่ 4.9 แสดงการกำหนดมูลค่าเวลาในการเดินทางของผู้โดยสาร ซึ่งคำนวณจากอัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อเดือนแยกตามประเภทของยานพาหนะ โดยตั้งสมมุติฐานว่าค่าจ้างในตลาดแรงงานจะสะท้อนมูลค่าทางเศรษฐกิจของเวลาการทำงานแต่ละคน ซึ่งข้อมูลอัตราค่าจ้างเฉลี่ยอ้างอิงจากตัวเลขของกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม โดยเป็นค่าจ้างเฉลี่ยทั้งประเทศไม่รวมกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4.9: ค่าแรงพนักงานประจำรถ และมูลค่าเวลาของผู้โดยสาร (บาทต่อชั่วโมง)

Description	Car	Light Truck	Medium Truck	Heavy Truck	Light Bus	Heavy Bus
Driver Cost	-	39.4	61.9	66.0	46.3	68.3
Assembly Cost	-	-	23.7	25.6	-	53.2
No. of Assistants	-	-	1	1		2
Total Hourly Crew Cost	-	39.4	85.6	91.6	46.3	174.8
Income/Month	16,000	8,000			8,000	8,000
Hours Worked per Month	200	200			200	200
Passenger Time/hour:						
Work Time	80.0	40.0			40.0	40.0
Non-work Time	20.0	20.0			20.0	20.0
Percentage Work Time	33.0	25.0			25.0	25.0
Average Pass. Time Cost/hr	39.8	25.0			25.0	25.0
Passenger Occupancy	2.5	1			7	40
Total Pass. Time Cost/hour	**99.5**	**25.0**	-	-	**175.0**	**1,000**
Total Time Cost/hour	**99.5**	**64.4**	**85.6**	**91.6**	**221.3**	**1,174.8**
Economic Cost/hour	**89.55**	**57.96**	**77.04**	**82.44**	**199.2**	**1,057.3**

ที่มา: รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (2542)

4.3.3 การเก็บข้อมูลดัชนีราคาที่มีผลต่อค่าใช้จ่าย

จากหัวข้อ 3.2.3 ซึ่งนอกเหนือจากปัจจัยทางเทคนิคแล้ว ปัจจัยทางเศรษฐกิจก็มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายเช่นเดียวกัน การเก็บข้อมูลจำเป็นต้องสอดคล้องกับการพัฒนาแบบจำลองเนื่องจากปัจจัยดังกล่าวแปรผันตามภาวะเศรษฐกิจของประเทศและอาจส่งผลให้แบบจำลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดกลุ่มปัจจัยให้เหมาะสมก่อนเริ่มขั้นตอนการวิเคราะห์ จากการค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมการค้าภายใน รวมทั้งการวิเคราะห์สูตรปรับราคางาน (Escalation Factor) พบว่าดัชนีราคาเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญอย่างหนึ่งในการติดตามความเคลื่อนไหวและคาดการณ์ราคาวัสดุและค่าแรงของประเทศ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้กำหนด

ให้ดัชนีราคาเป็นตัวแปรที่ใช้แทนกลุ่มปัจจัยทางเศรษฐกิจสำหรับนำมาวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองค่าใช้จ่ายในงานบำรุงทาง และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน

ตารางที่ 4.10: ข้อมูลดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างงานบำรุงทางเฉลี่ยตลอดปี รวมทั้งราคากลางอ้างอิงสำหรับงานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ ของกรมทางหลวง ระหว่างปี 2532 – 2542

ปี	ราคางานเสริมผิวแอสฟัลท์ (Asphalt Overlay Cost) (ล้านบาท/กม.)	ราคางานบูรณะผิวแอสฟัลท์ (Rehabilitation Cost) (ล้านบาท/กม.)	ดัชนีราคาวัสดุงานบำรุงทางเฉลี่ยตลอดปี				
			ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง	ดัชนีราคาแอสฟัลท์	ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง	ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างไม่รวมซีเมนต์และเหล็ก
2542	1,163,000	2,055,000	102.64	99.13	142.65	155.33	186.44
2541	1,151,000	1,950,000	102.28	89.95	143.69	153.98	189.13
2540	1,128,000	1,911,000	102.13	90.00	148.64	129.69	168.73
2539	1,092,000	1,856,000	101.81	86.80	135.33	127.26	163.03
2538	1,045,000	1,815,000	101.16	84.35	118.64	127.24	156.96
2537	1,043,000	1,813,000	100.92	85.75	115.88	126.11	149.69
2536	1,052,000	1,827,000	100.86	86.80	124.31	124.30	145.45
2535	1,084,000	1,865,000	100.24	94.57	123.43	122.16	142.25
2534	1,106,000	1,909,000	100.16	100.00	128.22	121.88	139.50
2533	1,087,000	1,868,000	98.75	100.00	107.10	118.48	132.97
2532	1,073,000	1,843,000	98.22	100.00	97.20	116.52	125.38

ที่มา: สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ (2542)
และฝ่ายสถิติงานบำรุงทาง กองบำรุง กรมทางหลวง (2542)

ก. การเก็บข้อมูลดัชนีราคาที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง

ดัชนีราคาที่นำมาใช้กำหนดตัวแปรพิจารณาจากดัชนีราคางานก่อสร้างสำหรับการคำนวณค่า Escalation Factor (K) ซึ่งประกอบด้วย ดัชนีราคาแอสฟัลท์ ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง และดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างไม่รวมซีเมนต์และเหล็ก นอกจากนี้ยังใช้ดัชนีราคา

หินคลุกและลูกรังซึ่งรวบรวมมาจากฝ่ายสถิติงานบำรุง กองบำรุง กรมทางหลวง เพื่อมาประกอบการพิจารณาด้วย สาเหตุที่นำดัชนีดังกล่าวมาเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์เนื่องจากมีความสัมพันธ์และสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของระดับราคาวัสดุในงานบำรุงทางได้โดยตรง สำหรับตารางที่ 4.10 ได้แสดงข้อมูลค่าดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างงานบำรุงทาง รวมทั้งราคางานเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์ระหว่างปี 2532 – 2542

ข. การเก็บข้อมูลดัชนีราคาที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน

จากหัวข้อ 3.2.2 ค่าใช้จ่ายหลักที่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายการใช้รถและค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วนสัมพันธ์กับราคาวัสดุและค่าแรงที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Price)
- ราคาน้ำมันหล่อลื่น (Lubricant Price)
- ราคายางรถ (Tyre Price)
- ราคายานพาหนะ (Vehicle Price) ซึ่งมีผลต่อการคำนวณค่าเสื่อมราคา ค่าดอกเบี้ยและค่าอะไหล่ยานพาหนะ เนื่องจากในแบบจำลอง THAI-RUE ค่าใช้จ่ายดังกล่าวคิดเป็นร้อยละของราคายานพาหนะ
- อัตราค่าแรงพนักงานซ่อมบำรุงรถ (Vehicle Maintenance Mechanic Salary)
- อัตราค่าแรงพนักงานขับรถและผู้ช่วย (Crew Salary)
- มูลค่าเวลาของผู้โดยสาร (Passenger Time Value)

สำหรับดัชนีราคาที่นำมากำหนดตัวแปรชี้วัดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนพิจารณาจาก ดัชนีราคาผู้ผลิตของประเทศตามกิจกรรมการผลิต (Classification of Products by Activities: CPA) และดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไป (Consumer Price Index: CPI) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ดัชนีราคาน้ำมันเชื้อเพลิง คำนวณจาก
   ราคาน้ำมันเบนซิลชนิดธรรมดาและพิเศษ
   ราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
   ราคาน้ำมันหล่อลื่น
   ราคาน้ำมันเตา น้ำมันกาซ และน้ำมันเครื่องบิน

2. ดัชนีราคาผลิตภัณฑ์ยาง คำนวณจากราคา

   ยางรถยนต์นั่ง

   ยางรถบรรทุกเล็กและใหญ่

   ยางรถโดยสารประจำทาง

   ยางรถจักรยานยนต์

   ยางรถจักรยาน

3. ดัชนีราคายานยนต์และตัวถัง คำนวณจากราคา

   รถยนต์นั่งญี่ปุ่นและยุโรป ขนาดความจุเครื่องยนต์ น้อยและมากกว่า 1800 cc.

   รถยนต์ที่ใช้ในการพาณิชย์ ได้แก่ รถบรรทุกไม่มีตัวถัง รถบรรทุกขนาดเล็ก รถตู้ และรถโดยสารไม่มีตัวถัง

   ตัวถังยานยนต์ ได้แก่ ตัวถังรถบรรทุกและรถโดยสาร

   อุปกรณ์ยานยนต์ ได้แก่ ไส้กรองอากาศ ไส้กรองน้ำมันเครื่อง หม้อน้ำ แบตเตอรี่ แหนบตับรถยนต์ และตัวถัง

4. ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไป คำนวณจากราคาสินค้าอุปโภค/บริโภค และงานบริการทั่วไป

จากดัชนีราคาทั้ง 4 ประเภท สามารถกำหนดเป็นตัวแปรชี้วัดระดับราคาได้ดังนี้

ดัชนีราคาน้ำมันเชื้อเพลิง	เป็นตัวแปรชี้วัดระดับราคาน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น
ดัชนีราคาผลิตภัณฑ์ยาง	เป็นตัวแปรชี้วัดระดับราคายางรถ
ดัชนีราคายานยนต์และตัวถัง	เป็นตัวแปรชี้วัดระดับราคายานพาหนะ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าเสื่อมราคา ค่าดอกเบี้ย และค่าอะไหล่
ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไป	เป็นตัวแปรชี้วัดระดับอัตราค่าแรงพนักงานซ่อมบำรุง อัตราค่าแรงงานพนักงานขับรถและผู้ช่วย รวมทั้งค่าแรงเฉลี่ยของผู้โดยสาร

ข้อมูลค่าดัชนี CPA และ CPI รวบรวมมาจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ ระหว่างปี 2538-2542 ซึ่งดัชนี CPA เริ่มมีการปรับแก้ปีฐานและคิดค่าน้ำหนักเฉลี่ยสำหรับการคำนวณใหม่ตั้งแต่ปี 2538 และใช้งานเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ดังนั้นรายละเอียดค่าดัชนีที่แสดงในตารางที่ 4.11 จึงได้มีการปรับแก้ค่าดัชนี CPI ให้มาอยู่ในปีฐาน 2538 เช่นเดียวกับดัชนี CPA

ตารางที่ 4.11: ข้อมูลดัชนีราคา CPA และ CPI สำหรับการคำนวน K_{RUC} ระหว่างปี 2538 – 2542

ปี	ดัชนีราคาผู้ผลิตของประเทศตามกิจกรรมการผลิต(CPA)			ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไป (CPI)
	ดัชนีราคาน้ำมันเชื้อเพลิง	ดัชนีราคาผลิตภัณฑ์ยาง	ดัชนีราคายานยนต์และตัวถัง	
2538	100.00	100.00	100.00	100.00
2539	109.50	103.90	102.80	105.80
2540	124.40	112.80	102.70	111.74
2541	137.60	122.70	108.30	120.80
2542	125.80	120.70	112.50	121.19

ที่มา: สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ (2542)

ภายหลังการกำหนดตัวแปรต่างๆตามสมมุติฐานข้างต้นแล้ว ก็มีความจำเป็นต้องสร้างดัชนีราคาเฉพาะขึ้นมาสำหรับใช้กำหนดแนวโน้มของระดับราคาซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน แต่จากการสำรวจข้อมูลปัจจุบันพบว่า ยังไม่มีหน่วยงานใดในประเทศจัดทำดัชนีเพื่อใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ทำให้มีความจำเป็นต้องจัดทำดัชนีชี้วัดขึ้นมาเรียกว่า “ดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน (Road User Cost Index: K_{RUC})” ซึ่งรายละเอียดการคำนวณจะกล่าวในหัวข้อ 5.1.4 ต่อไป

4.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการพัฒนาและเก็บรวบรวมข้อมูล สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน โดยแบ่งประเภทของแบบจำลองออกเป็น 2 ประเภทหลัก ประกอบด้วย แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน นอกจากนี้ยังทำการเก็บข้อมูลดัชนีราคาที่มีผลกระทบต่อการคิดค่าใช้จ่าย โดยการนำดัชนีราคาต่างๆที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์แนวโน้มของระดับราคาในอนาคต สำหรับข้อมูลราคาที่เก็บรวบรวมเป็นราคาในปี 2542 ซึ่งใช้เป็นปีฐานสำหรับการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost และแปลงให้อยู่ในรูปของราคาทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Cost) เนื่องจากในการวิเคราะห์จะไม่พิจารณาผลของค่าใช้จ่ายทางภาษี ดังเหตุผลที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.3.2 และในส่วนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลดัชนี

ราคาที่เกี่ยวข้องสำหรับจัดทำดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน เพื่อใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มของระดับราคาตลอดอายุบริการของสายทาง ในบทต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์แบบจำลอง ขั้นตอน และตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน รวมทั้งปัญหาและข้อจำกัดเพื่อให้ทราบถึงข้อควรในการปรับปรุง อันจะทำให้งานวิจัยในอนาคตมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การวิเคราะห์ข้อมูล

ภายหลังการกำหนดแนวทางการวิเคราะห์และเก็บรวบรวมข้อมูลแล้ว ในบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์แบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลและกระบวนการทางสถิติ เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือพัฒนาแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน ขั้นตอนการวิเคราะห์ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์แบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง และแบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทาง (Life-Cycle Cost Analysis) ซึ่งในบทนี้ได้แสดงตัวอย่างรายละเอียดการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 1 ลักษณะสายทาง สำหรับตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายอย่างละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง.

5.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ประกอบด้วย การวิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง ค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน โดยในส่วนการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจะดำเนินการจัดทำดัชนีเพื่อใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มของระดับราคาทรัพยากรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ถนนอันจะส่งผลให้แบบจำลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นสำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทาง

5.1.1 แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง

ตัวแปรที่นำมาใช้ในการกำหนดสภาพความเสียหายของผิวทางพิจารณาโดยค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) ซึ่งถูกพัฒนาโดยธนาคารโลก การพัฒนาแบบจำลองใช้กระบวนการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้แก่ อายุผิวทางภายหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ ปริมาณจราจร สัดส่วนของรถหนัก ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน และความลาดชันของภูมิประเทศ ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์สามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากบทความวิจัยเรื่อง "การพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยางโดยวิธีใช้ค่า IRI ในประเทศไทย" (วิศณุ ทรัพย์สมพล และคณะ, 2543) โดยผลการวิเคราะห์สรุปว่าลักษณะความ

สัมพันธ์ของแบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุดเป็นฟังก์ชัน Exponential โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ระหว่าง 0.6 – 0.8 ดังสมการที่ 5.1

$$IRI = a * e^{[(b_1 * AGE) + (b_2 * AVG.AADT) + (b_3 * \%HV)]} \quad (5.1)$$

เมื่อ IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม./กม.)

AGE = อายุของผิวทางภายหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ (ปี)

AVG.AADT = ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน (คัน/วัน – 2 ช่องจราจร)

%HV = สัดส่วนรถหนัก (เปอร์เซ็นต์)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

สำหรับลักษณะภูมิประเทศที่นำมาวิเคราะห์เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ โดยกำหนดจากลักษณะความลาดชันของพื้นที่ (% Gradient) สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ (Gradient 0-3%), ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน (Gradient 3-5%), และลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง (Gradient > 5%) ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่า Beta ดังแสดงในตารางที่ 5.1 สามารถสรุปว่า ปัจจัยจากอายุการใช้งานของผิวทางภายหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์มีผลต่อสภาพความเสียหายของผิวทางสูงสุด รองลงมาเป็นปัจจัยจากปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน และสัดส่วนของรถหนัก ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองแบ่งตามความลาดชันของภูมิประเทศ

ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง	ความลาดชันของภูมิประเทศ (% Gradient)							
	0 – 3%		3 - 5%		> 5%		เฉลี่ย	
	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta
a	1.781	-	1.900	-	1.878	-	1.964	-
$b_1(x\ 10^{-2})$	8.064	0.796	9.879	0.807	11.800	0.798	8.709	0.722
$b_2(x\ 10^{-6})$	8.386	0.244	4.072	0.217	13.860	0.331	6.197	0.246
$b_3(x\ 10^{-3})$	1.523	0.088	1.905	0.085	1.416	0.062	1.329	0.016
R^2	0.641		0.694		0.728		0.568	

5.1.2 แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง

ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1 แล้วว่า แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางที่นำมาวิเคราะห์มี 3 ประเภทหลักได้แก่ แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ งานบำรุงตามกำหนดเวลา และงานบูรณะ สำหรับการวิเคราะห์ใช้หลักและแนวทางเดียวกับแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง แต่มีความแตกต่างกันในเรื่องการเลือกปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ เนื่องจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลองมีทั้งปัจจัยทางเทคนิคและทางเศรษฐกิจ โดยปกติแล้วปัจจัยทางเทคนิคจะสัมพันธ์กับค่าใช้จ่ายโดยไม่ขึ้นกับระยะเวลาและสภาวะเศรษฐกิจของประเทศ แต่สำหรับปัจจัยทางเศรษฐกิจจะสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพเศรษฐกิจและมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ดังนั้นในการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางจำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยทั้งสองประเภทไปพร้อมกัน

ก. ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

จากหัวข้อ 3.2.1(ก) ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ ประกอบด้วย สภาพความเสียหายของผิวทางและสภาพพื้นที่ เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อสภาพความเสียหายจะสัมพันธ์กับอายุบริการนับจากการ Overlay หรือบูรณะ สภาพปริมาณจราจร และสภาพภูมิประเทศ เนื่องจากในการวิเคราะห์ได้ทำการควบคุมตัวแปรลักษณะทางกายภาพของถนนโดยเลือกเฉพาะสายทางลาดยางแอสฟัลท์ที่มีความกว้างต่อ 2 ช่องจราจรเท่ากับ 7.00 ม. และมีการบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม. นอกจากนี้การบูรณะผิวแอสฟัลท์จะเลือกเฉพาะสายทางที่มีการปูผิวหนา 50 มม. ส่งผลให้แบบจำลองที่พัฒนาได้สามารถนำมาใช้กับสายทางที่มีลักษณะดังกล่าวเท่านั้น ไม่เหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์กับสายทางลักษณะอื่น

สำหรับวิธีการพัฒนาแบบจำลองได้อ้างอิงจากแบบจำลองของ JICA (กรมทางหลวง, 2538) เป็นต้นแบบในการปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ปัจจุบัน ส่วนปัจจัยสภาพภูมิประเทศที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติอันเนื่องมาจากความยากง่ายในการเข้าพื้นที่และปฏิบัติงาน แต่จากงานวิจัยเรื่อง “การปรับปรุงการคิดค่าปริมาณงานและค่าบำรุงปกติของผิวทางแอสฟัลท์” (กรมทางหลวง, 2539) ได้ให้น้ำหนักของปัจจัยภูมิประเทศน้อยมาก เนื่องจากกรมทางหลวงมีหมวดการทางและศูนย์บำรุงทางกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ของจังหวัด ส่งผลให้ความยากง่ายในการทำงานไม่เป็นอุปสรรคมากนัก และเมื่อพิจารณาแบบจำลองของ JICA ก็ไม่นำปัจจัยสภาพภูมิประเทศเข้ามาพิจารณาแต่อย่างใด

จากแบบจำลองของ JICA ในสมการที่ 4.1 พบว่าค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติสัมพันธ์กับ AADT ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง ลักษณะทางกายภาพ และสภาพแวดล้อมของถนน สำหรับปัจจัยลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อมจะพิจารณาเฉพาะตัวแปร AADT และอายุบริการภายหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์เท่านั้น เนื่องจากได้ทำการควบคุมตัวแปรอื่นดังที่กล่าวไว้หัวข้อ 4.1.1 ซึ่งภายหลังการกำหนดตัวแปรในกลุ่มปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวทางแล้ว จึงมาทำการทดสอบปัจจัยสภาพพื้นที่ว่ามีผลต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ การทดสอบกำหนดให้สภาพพื้นที่เป็นตัวแปรอิสระโดยแบ่งออกเป็น 4 ภาคได้แก่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ เพื่อวิเคราะห์ว่าราคาวัสดุท้องถิ่นของแต่ละภาคมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างไร สำหรับตัวแปรตามที่นำมากำหนดราคาวัสดุท้องถิ่นจะใช้ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังของแต่ละแขวงการทางทั้ง 86 แขวงเป็นตัวกำหนด ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (Oneway ANOVA) เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรอิสระมีผลต่อตัวแปรตามอย่างไร แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5.2: จำนวนข้อมูลที่วิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง (K_m) แบ่งตามภาคต่าง ๆ ของประเทศ

Region	No.	Mean	Std. Deviation
North	23	1.01035	4.8924E-02
Northeast	24	1.03900	4.5716E-02
Central	24	1.04096	1.2054E-01
South	15	1.00753	4.9032E-02
Total	**86**	**1.02640**	**7.5826E-02**

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าทางสถิติพื้นฐานได้แก่ จำนวนข้อมูล ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง (K_m) แบ่งตามภาคต่างๆ จากตารางพิจารณาได้ว่า ภาคกลางมีค่า K_m เฉลี่ยสูงสุด รองลงมาได้แก่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยรวมทั้งประเทศเท่ากับ 1.0264 ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่าค่าดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังเฉลี่ยทั้ง 4 ภาคมีความแตกต่างกันหรือไม่ จากค่าสถิติทดสอบทั้งแบบถ่วงน้ำหนัก และไม่ถ่วงน้ำหนักให้ค่า Significance มากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานที่

ว่าค่าดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในแต่ละภาค ทำให้สรุปได้ว่า สภาพพื้นที่ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่งผลให้การวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติเป็นการวิเคราะห์แบบจำลองรวมของทั้งประเทศโดยไม่ต้องแยกตามภาค

ตารางที่ 5.3: ค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรภาค

Description			Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	(Combined)		2.016E-02	3	6.721E-03	1.176	.324
	Linear Term	Unweighted	3.914E-05	1	3.914E-05	.007	.934
		Weighted	2.435E-04	1	2.435E-04	.043	.837
		Deviation	1.992E-02	2	9.960E-03	1.743	.181
Within Groups			.469	82	5.714E-03		
Total			.489	85			

การเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมดำเนินในแนวทางเดียวกับการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง โดยได้ทำการทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หลายรูปแบบได้ผลสรุปว่าความสัมพันธ์แบบ Power ฟังก์ชั่นให้แบบจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดหรือให้ค่า R^2 สูงสุด รูปแบบทั่วไปของแบบจำลองแสดงไว้ในสมการที่ 5.2 ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐาน โดยตัวแปรต่างๆที่นำมาวิเคราะห์ต้องแปลงให้อยู่ในลักษณะของสมการเส้นตรงดังสมการที่ 5.3 เพื่อทำให้สามารถวิเคราะห์โดยวิธีสมการถดถอยเชิงซ้อนได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาในตารางที่ 5.4 สังเกตว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระและค่าคงที่จะอยู่ใน Log Scale ซึ่งต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของ Linear Scale โดยการยกกำลังฐาน **e** และภายหลังการแปลงค่าสัมประสิทธิ์จะได้แบบจำลองดังสมการที่ 5.4

สมการที่ 5.2 แสดงแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติในรูปแบบ Power ฟังก์ชั่น

$$RMC = \beta_o (Age^{\beta_1}.AADT^{\beta_2}) \quad (5.2)$$

โดยสมการที่ 5.2 สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบ Linear ฟังก์ชั่น ได้ดังนี้

$$\ln RMC = \ln\beta_o + \beta_1 \ln Age + \beta_2 \ln AADT \quad (5.3)$$

ตารางที่ 5.4: การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระแต่ละตัว

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.	R	R^2	Adjusted R^2
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	8.568	0.011		767.575	0.000			
lnAADT	0.150	0.001	0.703	126.407	0.000			
lnAge	0.234	0.002	0.612	110.173	0.000	0.940	0.883	0.883

นอกจากค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยแล้ว ในตารางที่ 5.4 ยังแสดงค่าทางสถิติที่สำคัญอย่างอื่นได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐาน (Beta) ซึ่งค่าดังกล่าวอธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตาม ถ้าค่า Beta มาก หมายถึงตัวแปรอิสระดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากกว่าตัวแปรที่มีค่า Beta น้อย ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่า Beta สามารถอธิบายได้ว่า ตัวแปรปริมาณจราจรมีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติสูงกว่าตัวแปรอายุบริการของถนน และเมื่อพิจารณาค่า Significance พบว่าตัวแปรอิสระทั้งสองมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนแบบปรับแก้ (Adjusted R^2) ของแบบจำลองมีค่า 0.883 ซึ่งถือว่าสูงเพียงพอ (มากกว่า 0.70) ที่จะนำมาใช้เป็นแบบจำลองสำหรับการประมาณค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

สมการที่ 5.4 แสดงแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติภายหลังการวิเคราะห์สมการถดถอย สังเกตว่า β_o มีค่าเท่ากับ $e^{8.568}$ แต่เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์แบบจำลองโดยใช้ค่า K_m เฉลี่ยทั้งประเทศ ดังนั้น β_o จึงมีค่าความสัมพันธ์กับ K_m ในลักษณะเป็นสัดส่วนซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{\beta_0}{K_m} = 5125$ โดยกำหนดให้ K_m = 1.0264 (จากตารางที่ 5.2) เป็นค่าเฉลี่ยอ้างอิงทั้งประเทศ ดังนั้น

$$RMC = 5125 * K_m (Age^{0.234} * AADT^{0.150}) \quad (5.4)$$

เมื่อ RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้าง 7.00 ม.)

K_m = ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังเฉลี่ยทั้งประเทศ

Age = อายุบริการนับจากการ Overlay หรือบูรณะ (ปี)

AADT = ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (คันต่อวันต่อความกว้าง 7.00 ม.)

ข. ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์

ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1(ข) ว่าสภาพความเสียหายของผิวทางไม่มีผลต่อค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมผิวก่อนทำการเสริมผิวแอสฟัลท์ ได้พิจารณารวมไว้ในงานบำรุงปกติแล้ว นอกจากนี้ตัวแปรเรื่องสภาพพื้นที่ซึ่งได้ทำการทดสอบแล้วว่าไม่มีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่น ทำให้แบบจำลองที่ทำการวิเคราะห์ เป็นแบบจำลองรวมของทั้งประเทศโดยไม่แบ่งตามภาคเช่นเดียวกับแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ ดังนั้นตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์จึงเหลือเฉพาะตัวแปรที่มาจากปัจจัยทางเศรษฐกิจ และเนื่องจากในหัวข้อ 4.2.1 กำหนดให้ตัวแปรทางเศรษฐกิจที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยดัชนีราคา 5 ชนิดได้แก่ ดัชนีราคาแอสฟัลท์ ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างไม่รวมซีเมนต์และเหล็ก และดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง สำหรับวิธีการวิเคราะห์แบบจำลองจะใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนโดยวิธี Stepwise เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถคัดเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญเท่านั้นเข้ามาเป็นตัวแปรในสมการ และยังสามารถลำดับความสำคัญของตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้ อันจะทำให้แบบจำลองมีจำนวนตัวแปรที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของแบบจำลองและค่าทางสถิติที่สำคัญได้แก่ ค่า Beta ค่า R^2 และ t-test และจากการวิเคราะห์ดัชนีราคาทั้ง 5 ชนิด พบว่ามีเพียง 3 ชนิดเท่านั้นที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเรียงตามลำดับ ได้แก่ ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ดัชนีราคาแอสฟัลท์ และดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง แต่เมื่อพิจารณาค่า Beta ของดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและดัชนีราคาแอสฟัลท์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งอธิบายได้ว่าในบรรดาดัชนีราคาทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์ ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและแอสฟัลท์เป็นตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ ส่วนดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้างจะมีผลกระทบน้อยกว่าตัวแปรทั้ง 2 ค่อนข้างมาก นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์แบบจำลองมีค่า R^2 เท่ากับ 0.955 ซึ่งในทางสถิติถือว่าสูงมาก เนื่องจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระสามารถอธิบายผลของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรตามได้ถึง

95.5% ทำให้แบบจำลองมีความเหมาะสมเพียงพอสำหรับนำมาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ สำหรับค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ มีค่าประมาณ 10,500 บาทต่อกิโลเมตร หรือเฉลี่ยประมาณ $\pm$ 1.28%

ตารางที่ 5.5: การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าใช้จ่าย Overlay กับตัวแปรดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนด้วยวิธี Stepwise

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients				Std.Error Of the
	B	Std. Error	Beta	t	Sig	R^2	Estimate
(Constant)	392401.19	63115.92		6.217	.000		
Equipment Price Index	1073.74	364.18	.343	2.948	.021		
Asphalt Price Index	3916.05	541.96	.608	7.226	.000		
Diesel Fuel Price Index	1589.58	307.86	.618	5.163	.001	0.955	10459.61

Dependent Variable: Overlay Maintenance Cost

สมการที่ 5.5 แสดงแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม.

$$OLC = 392401 + 1590Fuel + 3916A_{sph} + 1074E_{quip} \quad (5.5)$$

เมื่อ OLC = ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม. (บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างผิวจราจร 7.00 ม.)

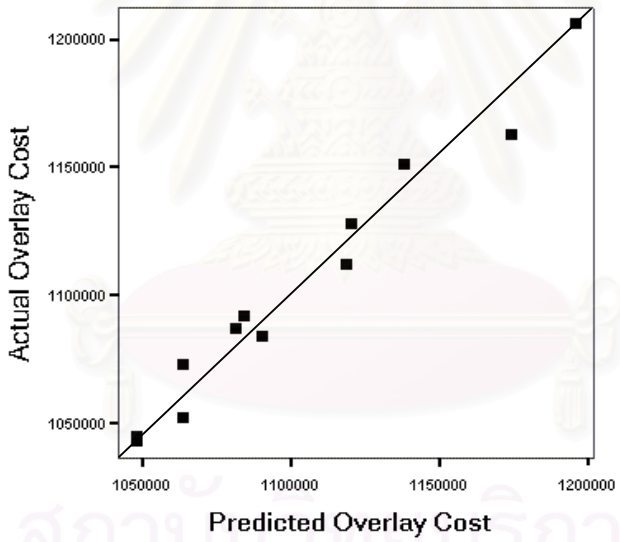
Fuel = ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

A_{sph} = ดัชนีราคาแอสฟัลท์

E_{quip} = ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง

สมการที่ 5.5 เป็นแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ที่สัมพันธ์กับตัวแปรดัชนีราคางานบำรุงทางที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนำมาใช้ในการประมาณราคาต่อหน่วยอันเป็นผลมาจากราคาวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต ในการคำนวณค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ตลอดอายุการใช้งานของสายทางจำเป็นต้องทราบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาแทนค่าในแบบจำลอง โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าราคาวัสดุมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในแต่ละปี สำหรับวิธีการพยากรณ์แนวโน้มของค่า

ดัชนีราคาในอนาคตจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ขั้นตอนลำดับต่อมาเป็นการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยที่ประมาณได้จากสมการที่ 5.5 กับราคากลางอ้างอิงของกรมทางหลวง ระหว่างปี 2532-2543 โดยผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ซึ่งเป็นค่าทางสถิติสำหรับใช้ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว มีค่าเท่ากับ 0.977 ซึ่งในทางสถิติถ้าค่าดังกล่าวมากกว่า 0.70 (วัฒนา, 2542) แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ หรือหมายถึงค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาได้จากค่า Sig. ซึ่งผลการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 0.000 (น้อยกว่า 0.05) ทำให้ยอมรับสมมติฐานที่ว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับรูปที่ 5.1 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลองกับค่าจริง สังเกตว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะเป็นแนวทำมุม 45 องศากับแกนนอน ซึ่งในทางทฤษฎีกล่าวว่า (วัฒนา, 2542) ถ้าค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบลู่เข้าใกล้เส้น 45 องศามากหมายถึง แบบจำลองที่วิเคราะห์ได้มีความคลาดเคลื่อนในการประมาณต่ำ



รูปที่ 5.1: การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์ระหว่างราคากลางอ้างอิงของกรมทางหลวง กับที่ประมาณได้จากแบบจำลอง

ค. ค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์

ในหัวข้อ 3.2.1 (ค) สรุปว่าสภาพความเสียหายของผิวทางไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบูรณะ เนื่องจากเป็นการบำรุงเชิงแก้ไขและมีวิธีการซ่อมแซมที่แน่นอนไม่ว่าผิวทางจะเสียหายมากน้อย

เพียงใด ส่วนใหญ่การซ่อมแซมจะกระทำถึงชั้นพื้นทาง (Base) โดยมีการรื้อโครงสร้างเดิมออกและก่อสร้างให้มีความแข็งแรงเหมือนเดิมจากนั้นก็ปูผิวแอสฟัลท์ใหม่ สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ได้วิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบูรณะที่มีการปรับปรุงถึงชั้นพื้นทาง และปูผิวแอสฟัลท์ใหม่หนา 50 มม. เท่านั้น สำหรับวิธีการบูรณะแบบอื่นจะไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากไม่ใช่วิธีการหลักที่ปฏิบัติในกรมทางหลวง อีกทั้งยังมีจำนวนข้อมูลน้อยมากจนไม่เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์แบบจำลอง

ตารางที่ 5.6 จากผลการวิเคราะห์ตัวแปรดัชนีราคาทั้ง 5 ชนิด พบว่ามีดัชนีราคาเพียง 4 ชนิดที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายงานบูรณะอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวแปรดัชนีราคาแอสฟัลท์และน้ำมันดีเซลหมุนเร็วยังเป็นตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลอง และตัวแปรดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังมีผลกระทบต่อราคางานบูรณะต่ำสุด นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีราคาชนิดอื่น พบว่าดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังมีผลกระทบน้อยมาก ซึ่งจากการตรวจสอบข้อมูลในอดีตพบว่าดัชนีราคาแอสฟัลท์และน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีความเคลื่อนไหวค่อนข้างผันผวนในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ส่งผลให้ราคางานบูรณะมีระดับการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก เมื่อวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยจึงทำให้ตัวแปรบางตัวที่มีความผันผวนต่ำอย่างเช่น ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังที่มีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพียง 4.5% ตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ซึ่งเมื่อเทียบกับดัชนีราคาแอสฟัลท์ที่เปลี่ยนแปลง 19% และน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่เปลี่ยนแปลงถึง 33% ทำให้ราคางานบูรณะถูกควบคุมโดยดัชนีราคาที่มีอิทธิพลสูงกว่า

ตารางที่ 5.6: การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าใช้จ่ายงานบูรณะกับตัวแปรดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนวิธี Stepwise

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig	R^2	Std.Error Of the Estimate
	B	Std. Error	Beta				
(Constant)	782565.37	389716.05		27.692	.000		
Equipment Price Index	2359.46	226.02	.323	28.871	.000		
Asphalt Price Index	5362.66	325.86	.640	125.949	.000		
Dessel Fuel Price Index	1653.52	299.35	.469	59.817	.000		
Rock and Laterite Price Index	818.30	4091.35	.107	9.502	.000	0.937	2896.06

Dependent Variable: Rehabilitation cost

สมการที่ 5.6 แสดงแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบูรณะ

$$RHC = 782565 + 5363A_{sph} + 1654Fuel + 2359E_{quip} + 818K_m \quad (5.6)$$

เมื่อ RHC = ค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม.(บาทต่อกิโลเมตร)

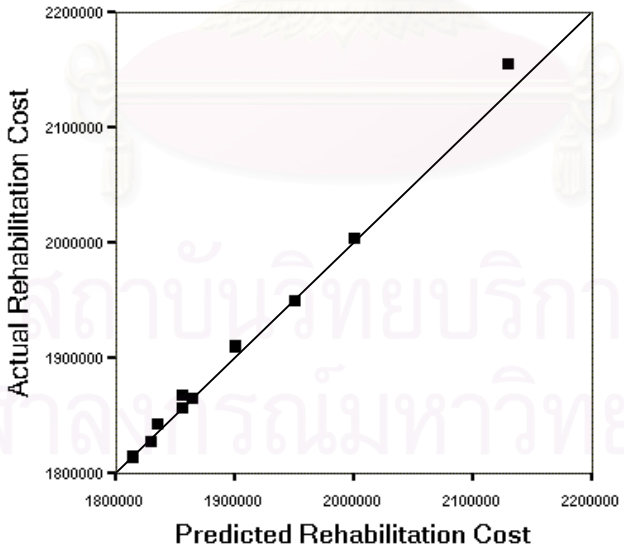
A_{sph} = ดัชนีราคาแอสฟัลท์

Fuel = ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

E_{quip} = ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง

K_m = ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง

ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.994 ซึ่งมากกว่า 0.70 และค่า Sig. เท่ากับ 0.000 (น้อยกว่า 0.05) แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.2 พบว่า ข้อมูลการเปรียบเทียบค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลองกับค่าจริงมีการเรียงตัวเข้าใกล้เส้น 45 องศามาก ทำให้สามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองที่พัฒนาได้มีความเหมาะสมเพียงพอสำหรับใช้วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 5.2: การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์ระหว่างราคากลางอ้างอิงของกรมทางหลวง กับที่ประมาณได้จากแบบจำลอง

ง. การพยากรณ์แนวโน้มระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีราคาในอนาคต

แบบจำลองที่กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อ 5.1.2 เป็นแบบจำลองที่วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลในอดีตเป็นฐานในการคำนวณ แต่จากหัวข้อ 3.2.3 ได้อธิบายว่าสภาวะเศรษฐกิจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ณ ช่วงเวลาหนึ่งเวลาใดอาจไม่สามารถนำมาใช้งาน ณ อีกช่วงเวลาหนึ่งได้ ซึ่งในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนจำเป็นต้องมีการกำหนดช่วงระยะเวลาการวิเคราะห์โดยทั่วไปประมาณ 20-25 ปี ดังนั้นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มของระดับราคาในอนาคตได้ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ต้องมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีราคากับระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อนำมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดแนวโน้มของราคางานบำรุงทางในอนาคต

การวิเคราะห์ใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้น สำหรับสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลา เหตุผลในการเลือกใช้สมการเชิงเส้น (Linear Function) เนื่องจากข้อจำกัดของวิธีพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีราคาในระยะยาว สามารถวิเคราะห์ได้เพียงลักษณะของแนวโน้มที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลในอดีต ณ ช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการเลือกใช้รูปแบบความสัมพันธ์อื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสัมพันธ์ลักษณะ Progressive Function (เช่น Exponential, Parabola หรือ Power Function) อาจไม่เหมาะสม แม้ว่าค่า R^2 ที่วิเคราะห์ได้จะสูงกว่าผลจากการวิเคราะห์โดยใช้รูปแบบ Linear Function เนื่องจากค่าที่ประมาณได้ในช่วงปีหลังจะมีค่าสูงมาก ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้การใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นจึงมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นการประมาณแนวโน้มในลักษณะของเส้นฐานเฉลี่ย (Average Baseline) ซึ่งมีความเหมาะสมในการทำนายแนวโน้มระยะยาว และให้ค่าที่ไม่สูงหรือต่ำเกินความเป็นจริงมากเกินไป สำหรับข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ถูกเก็บรวบรวมโดยใช้ข้อมูลในอดีตระหว่างปี 2532-2542 และกำหนดให้ปี 2542 เป็นปีฐานหรือเป็นปีเริ่มต้นสำหรับการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีราคาและระยะเวลาแสดงไว้ในสมการที่ 5.7 ถึง 5.11

$$A_{sph} = 95.54 + 2.48\ Year \qquad R^2 = 0.7662 \qquad (5.7)$$

$$Fuel = 146.51 + 4.12\ Year \qquad R^2 = 0.7320 \qquad (5.8)$$

$$E_{quip} = 146.30 + 3.39\ Year \qquad R^2 = 0.7352 \qquad (5.9)$$

$$M = 184.99 + 6.10\ Year \qquad R^2 = 0.9530 \qquad (5.10)$$

$$K_m = 102.94 + 0.42\ Year \qquad R^2 = 0.9370 \qquad (5.11)$$

เมื่อ Year = ระยะเวลานับจากปี 2542 โดยปีที่เริ่มนับถัดไปมีค่าเป็น 1, 2, 3, …,n

ภายหลังจากที่ได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 5.7-5.11 จากนั้นจึงนำมาแทนในแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง ส่งผลให้แบบจำลองที่ได้เป็นสมการของตัวแปรตามที่เป็นฟังก์ชั่นกับระยะเวลาและปัจจัยทางกายภาพ (Technical Factor) นั่นหมายถึง แบบจำลองค่าใช้จ่ายที่วิเคราะห์ได้สามารถใช้คาดการณ์แนวโน้มที่เกิดขึ้นในอนาคต อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของราคาวัสดุและค่าแรงที่เพิ่มขึ้นตลอดอายุการใช้งานของถนน สำหรับสมการที่ 5.12 ถึง 5.14 เป็นแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางที่สัมพันธ์กับระยะเวลาและปัจจัยทางกายภาพที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ

$$RMC = (5276 + 21.5\ Year)\ (Age^{0.234} * AADT^{0.150}) \qquad (5.12)$$

$$OLC = 1156517 + 19901\ Year \qquad (5.13)$$

$$RHC = 1970453 + 29578\ Year \qquad (5.14)$$

เมื่อ RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ
OLC = ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม.
RHC = ค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม.

5.1.3 แบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน

ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ค่าใช้จ่ายการใช้รถและค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง การวิเคราะห์แบบจำลองอ้างอิงมาจากรายงานการศึกษาแบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ถนนในประเทศไทยหรือ THAI-RUE (Department of Highways, 1998) ซึ่งถูกพัฒนามาจากโปรแกรม HDM-III ของธนาคารโลกเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศ สำหรับแบบจำลอง THAI-RUE ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความเสียหายของผิวทางกับอัตราการบริโภคทรัพยากรของยานพาหนะแต่ละประเภท เช่น อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น ยางรถ

อะไหล่รถ เป็นต้น จากนั้นนำมาคูณกับราคาต่อหน่วยของทรัพยากรที่สิ้นเปลืองไป จึงได้ผลลัพธ์ในรูปค่าใช้จ่ายต่อกิโลเมตรของยานพาหนะแต่ละประเภท ซึ่งมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ก. ค่าใช้จ่ายการใช้รถ (Vehicle Operating Costs: VOC)

ในแบบจำลอง THAI-RUE ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) กับอัตราการบริโภคทรัพยากรของยานพาหนะแต่ละประเภท โดยการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองเริ่มดำเนินการครั้งแรกในปี 2538 และครั้งล่าสุดในปี 2541 ซึ่งการคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้รถมีรูปแบบทั่วไปดังสมการที่ 5.15 สำหรับรายละเอียดและค่าคงที่ต่างๆได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

$$\begin{aligned} VOC = {} & [FUEL \,.\, Fuel\ Cost] + [AOIL \,.\, Oil\ Cost] + [TYRE \,.\, Tyre\ Cost] \\ & + \left[\frac{Maint}{1000}.Vehicle\ Price\right] + \left[\frac{LH}{1000}.Labour\ Cost\right] + DEPCST \\ & + INTCST + Crew\ Cost \end{aligned} \qquad (5.15)$$

เมื่อ VOC = ค่าใช้จ่ายการใช้รถแต่ละประเภท (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

FUEL = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตรต่อกิโลเมตรต่อคัน)

Fuel Cost* = ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันเชื้อเพลิง (บาทต่อลิตร)

AOIL = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น (ลิตรต่อกิโลเมตรต่อคัน)

Oil Cost* = ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น (บาทต่อลิตร)

TYRE = อัตราการสิ้นเปลืองยางรถ (เส้นต่อกิโลเมตรต่อคัน)

Tyre Cost* = ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของยางรถยนต์ (บาทต่อเส้น)

Maint = อัตราการสิ้นเปลืองอะไหล่รถต่อ 1,000 กม. โดยคิดเป็นสัดส่วนของราคาเฉลี่ยยานพาหนะใหม่

Vehicle Price* = ราคาเฉลี่ยทางเศรษฐศาสตร์ของยานพาหนะใหม่ (บาทต่อคัน)

LH = อัตราการสิ้นเปลืองค่าแรงซ่อมบำรุงต่อ 1,000 กม. โดยคิดเป็นจำนวนชั่วโมงทำงานที่สูญเสียไปในการซ่อมบำรุงของช่างซ่อม (ชั่วโมงต่อ 1,000 กม.ต่อคัน)

Labour Cost* = อัตราค่าแรงทางเศรษฐศาสตร์ของพนักงานซ่อมบำรุงรถ (บาทต่อชั่วโมง)

DEPCST = ค่าเสื่อมราคายานพาหนะ (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

INTCST = ค่าดอกเบี้ยยานพาหนะ (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

Crew Cost = ค่าใช้จ่ายพนักงานประจำรถ (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

* หมายเหตุ ราคาทางเศรษฐศาสตร์อ้างอิงจากข้อมูลในหัวข้อ 4.3.2 ซึ่งเป็นราคาในปี 2542

ข. ค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง (Travel Time Costs: TTC)

แบบจำลองจะมีการวิเคราะห์ในแนวทางเดียวกับแบบจำลองค่าใช้จ่ายพนักงานประจำรถ (Crew Cost Model) ซึ่งคำนวณจากรายได้เฉลี่ยของผู้โดยสารแยกตามประเภทยานพาหนะ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความเสียหายของผิวทางกับค่าใช้จ่ายในการเดินทางตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าสภาพความเสียหายของผิวทางที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละประเภทลดลงทำให้ต้องใช้เวลาเดินทางนานขึ้น จากสมมุติฐานดังกล่าวจำเป็นต้องมีแบบจำลองสำหรับการคำนวณความเร็วในสภาพความเสียหายแต่ละระดับ เพื่อให้ทราบระยะเวลาในการเดินทางที่ต้องสูญเสียไปของผู้โดยสาร ซึ่งรูปแบบทั่วไปของแบบจำลอง THAI-RUE สำหรับคำนวณค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทางแสดงไว้ในสมการที่ 5.16 สำหรับรายละเอียดและค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ข.

$$TTC = \frac{PAX}{V_{SS}} \cdot UPT_C \qquad (5.16)$$

เมื่อ TTC = ค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทางแสดงในรูปค่าเสียเวลาของผู้โดยสารแยกตามประเภทยานพาหนะ (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

PAX* = จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยแยกตามประเภทยานพาหนะ (คนต่อคัน)

UPT_C* = ค่าแรงเฉลี่ยของผู้โดยสารสำหรับยานพาหนะแต่ละประเภท (บาทต่อชั่วโมงต่อคน)

V_{SS} = ความเร็วดุลยภาพ (Steady – State Speed) (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

* หมายเหตุ จำนวนและค่าแรงเฉลี่ยของผู้โดยสารอ้างอิงจากข้อมูลในตารางที่ 4.9

5.1.4 การจัดทำดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน (Road User Cost Index: K_{RUC})

แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่นำมาวิเคราะห์ Life-Cycle Cost จำเป็นต้องสามารถคาดการณ์แนวโน้มที่เกิดขึ้นในอนาคตได้เช่นเดียวกับแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้

ต้องสร้างดัชนีราคาเฉพาะขึ้นมาสำหรับใช้ในการทำนายแนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่เกิดกับผู้ใช้ถนนในระยะยาว สำหรับดัชนีที่นำมาใช้ในการกำหนดเงื่อนไขดังกล่าวเรียกว่า “ดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน”

จากการพิจารณาแบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในหัวข้อ 5.1.3 พบว่ามีค่าใช้จ่ายหลักที่ส่งผลกระทบต่อ RUC ดังต่อไปนี้

1. ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น (Fuel and Oil Costs)
2. ค่าใช้จ่ายยางรถ (Tyre Costs)
3. ราคายานพาหนะ (Vehicle Costs) ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าเสื่อมราคา ค่าดอกเบี้ย และค่าอะไหล่ เนื่องจากในแบบจำลอง THAI-RUE ค่าใช้จ่ายดังกล่าวคิดเป็นร้อยละของราคารถใหม่ (Percentage of New Vehicle)
4. ค่าแรงพนักงานประจำรถ ค่าแรงผู้โดยสาร และค่าแรงช่างซ่อมบำรุงรถ (Crew, Passenger and Maintenance Labour Costs)

การคำนวณเริ่มจากการหาค่าสัดส่วนน้ำหนักของค่าใช้จ่ายแต่ละชนิดที่เป็นส่วนประกอบของ RUC ว่ามีผลกระทบในสัดส่วนเท่าไหร่ ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาแบบจำลอง THAI-RUE (2541) ได้แสดงสัดส่วนไว้ดังตารางที่ 5.7 แต่เนื่องจากจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทมีปริมาณการใช้งานแตกต่างกัน ทำให้มีความจำเป็นต้องหาสัดส่วนของปริมาณรถแต่ละชนิดที่ขับขี่บนท้องถนน จากข้อมูล AADT ของกรมทางหลวงระหว่างปี 2538-2542 (ไม่รวมกรุงเทพมหานคร) สามารถหาสัดส่วนเฉลี่ยของทั้งประเทศได้ดังนี้

Passenger Car	34%
Light Truck	36%
Medium Truck	10%
Heavy Truck	8%
Light Bus	8%
Heavy Bus	4%

ภายหลังจากการคำนวณสัดส่วนเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายแต่ละชนิดแล้ว จึงมากำหนดดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทสำหรับนำมาจัดทำเป็นดัชนีรวม ในที่นี้กำหนดโดยดัชนีราคาผู้ผลิตของประเทศตามกิจกรรมการผลิต (CPA) และดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไป (CPI) ซึ่งกำหนดให้

ดัชนีราคาน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นตัวชี้วัดราคาน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น

ดัชนีราคาผลิตภัณฑ์ยาง	เป็นตัวชี้วัดราคายางรถ
ดัชนีราคายานยนต์และตัวถัง	เป็นตัวชี้วัดราคายานพาหนะ สำหรับใช้คำนวณค่าเสื่อมราคา ค่าดอกเบี้ย และค่าอะไหล่รถ
ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไป	เป็นตัวชี้วัดค่าจ้างพนักงานขับรถ ค่าแรงผู้โดยสาร และค่าแรงช่างซ่อมบำรุงรถ

ตารางที่ 5.7: สัดส่วนเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายแต่ละชนิด และสัดส่วนเฉลี่ยรวมที่กระทบต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน แยกตามประเภทยานพาหนะ

Component of Road User Cost	PC	LT	MT	HT	LB	HB	Weighted Average
Fuel + Oil Cost	9.20	16.40	15.00	25.00	8.00	8.00	13.49
Depreciation + Interest Cost	40.90	48.50	40.80	28.00	24.80	23.00	40.59
Part Cost	8.50	4.80	15.50	12.90	20.50	4.00	9.00
Tyre Cost	2.40	4.40	2.50	6.40	2.10	1.20	3.38
Crew + Passenger + Maintenance Labour Cost	39.00	25.90	26.20	27.70	44.60	63.90	33.54
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ที่มา: การศึกษาแบบจำลองผลกระทบของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในประเทศไทย กรมทางหลวง (2541)

เมื่อนำค่าดัชนีแต่ละประเภทย้อนหลัง 5 ปี มาทำการถ่วงน้ำหนักที่ได้มาจากตารางที่ 5.7 ทำให้สามารถคำนวณดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเฉลี่ยของทั้งประเทศ ดังในตารางที่ 5.8 ซึ่งค่าดัชนีดังกล่าวสามารถนำมาใช้คาดการณ์แนวโน้มระยะยาวของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ที่มีการเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้ในระดับหนึ่ง สังเกตว่าดัชนีราคาในตารางที่ 5.8 ใช้ปี 2538 เป็นปีฐาน เนื่องจาก CPI มีการปรับแก้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยในการคำนวณค่าดัชนีตั้งแต่ปี 2538 เป็นต้นมา

สมการที่ 5.7 แสดงแบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในรูปแบบความสัมพันธ์กับ K_{RUC}

$$RUC_T = K_{RUC,T} * RUC_{BASE} \quad (5.17)$$

เมื่อ RUC_T = แบบจำลอง RUC ณ เวลาปีใดๆ เทียบจากปีฐาน

$K_{RUC,T}$ = RUC Index ณ ปีใด ๆ เทียบจากปีฐาน

RUC_{BASE} = แบบจำลอง RUC ณ.ปีฐาน

ตารางที่ 5.8: ผลการวิเคราะห์ดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนตั้งแต่ปี 2538 - 2542

Weighted Average	13.49	49.59	3.38	33.54	100.00
ดัชนีราคา / ปี	น้ำมันเชื้อเพลิง	ยานยนต์และตัวถัง (รวมอะไหล่)	ผลิตภัณฑ์ยาง	ผู้บริโภคทั่วไป	**ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน (RUC INDEX)**
2538	100.00	100.00	100.00	100.00	**100.00**
2539	109.50	102.80	103.90	105.80	**104.74**
2540	124.40	102.70	112.80	111.74	**109.00**
2541	137.60	108.30	122.70	120.80	**116.93**
2542	125.80	112.50	120.70	121.19	**117.49**

เมื่อนำค่า $K_{RUC,T}$ มาหาความสัมพันธ์กับระยะเวลา โดยวิธีวิเคราะห์สมการถดถอยจะได้แบบจำลองดังสมการที่ 5.18

$$K_{RUC,T} = 100.11 + 4.39Year \qquad R^2 = 0.948 \qquad (5.18)$$

เมื่อ Year = ระยะเวลานับจากปี 2538 โดยปีถัดไปมีค่าเป็น 1, 2, 3,…,n

จากสมการที่ 5.18 สังเกตว่ามีความชันเท่ากับ 4.39 ซึ่งหมายถึงแนวโน้มของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีอัตราเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณปีละ 4.39 เปอร์เซ็นต์นับจากปี 2538 ซึ่งอัตราดังกล่าวจะนำมาใช้ในการปรับแบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน โดยตั้งสมมติฐานว่าแนวโน้มของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจะเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยปีละ 4.39 เปอร์เซ็นต์นับจากปี 2542 ซึ่งเป็นปีที่เริ่มต้นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ จากสมมติฐานดังกล่าวสามารถแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 5.19

$$RUC_T = (1.0000 + 0.0439Year)\, RUC_{BASE} \quad (5.19)$$

เมื่อ Year = ระยะเวลานับจากปี 2542 โดยปีถัดไปมีค่าเป็น 1, 2, 3,…,n

สมการที่ 5.19 เป็นแบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่สัมพันธ์กับระยะเวลาสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน โดยที่ RUC_{BASE} เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาจากข้อมูลราคาในปี 2542 สำหรับรายละเอียดของ RUC_{BASE} ของยานพาหนะแต่ละประเภทแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

การวิเคราะห์ Life-Cycle Cost เป็นกระบวนการทางเศรษฐศาสตร์วิธีหนึ่งสำหรับใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดการใช้งานให้อยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน (Present Value) ซึ่งองค์ประกอบการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่

1. ระยะเวลาในการวิเคราะห์ โดยปกติสำหรับงานโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นทางลาดยางจะมีช่วงระยะเวลาในการวิเคราะห์โครงการประมาณ 20-30 ปี แต่สำหรับถนนที่อ้างอิงมาจากมาตรฐานของ AASHTO ส่วนใหญ่กำหนดอายุการใช้งานไว้ที่ 20-25 ปี ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้ยึดหลักการของ AASHTO เป็นเกณฑ์ เนื่องจากสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงใช้มาตรฐานของ AASHTO เป็นบรรทัดฐานในการออกแบบ

2. อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำของโครงการ (Minimum Attractive Rate of Return: MARR) ในการวิเคราะห์ใช้อัตราผลตอบแทนที่ 12 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่กรมทางหลวงใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมโครงการต่างๆ

3. ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ซึ่งต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน (NPV) จากนั้นจึงเปลี่ยนมาเป็นค่า Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) เพื่อขจัดปัญหาที่เกิดจากความแตกต่างของอายุการใช้งาน อันเป็นผลมาจากการกำหนดแผนและนโยบายซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาที่แตกต่างกัน

รายละเอียดการวิเคราะห์ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญได้แก่ ส่วนแรกเป็นแบบจำลองการคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์และบูรณะ งานบำรุงปกติ และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ซึ่งเมื่อรวมค่าใช้จ่ายทั้ง 3 ส่วนเข้าด้วยกันจะเป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมด

ตลอดอายุบริการของสายทาง สำหรับส่วนที่สองเป็นรายละเอียดและขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทาง (Life-Cycle Cost) ตามลักษณะที่กำหนด

5.2.1 แบบจำลองการคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภท

1. การคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์และบูรณะ

$$PV_{MR} = \sum_{t=P}^{NP} MR_t * (SPPWF, i, t) \quad (5.20)$$

หรือ $$PV_{MR} = \sum_{t=P}^{(N-1)P} MR_t * (SPPWF, i, t) \quad (5.21)$$

เมื่อ PV_{MR} = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์และบูรณะ

MR = ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์และบูรณะ

SPPWF = Single payment present worth factor = $[1/(1+i)^t]$

i = อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้

t = ปีที่มีการกำหนดให้มีการเสริมผิวแอสฟัลท์หรือบูรณะ มีเกณฑ์กำหนดดังนี้

[t = P, 2P, 3P, 4P,…(N-1)P เมื่อ P = 1,2,3,4,5,6,8,12,24,25

หรือ t = P,2P,3P,…(N) P เมื่อ P = 7,9,10,11,13,14,15,16,17, 18,19,20,21,22,23]

N = จำนวนครั้งของการเสริมผิวแอสฟัลท์หรือบูรณะตลอดอายุการใช้งานของสายทาง

P = คาบเวลาของการซ่อมบำรุง (Time Interval) (ปี)

2. การคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

$$PV_{RM} = \sum_{j=1}^{n} RM_j * (SPPWF, i, j) \quad (5.22)$$

เมื่อ PV_{RM} = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

RM = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ ณ ปีที่ j

SPPWF = Single payment present worth factor = $[1/(1+i)^j]$

i = อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้

n = อายุการใช้งานของถนน (ไม่เกิน 25 ปี)

3. การคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

$$PV_{RUC} = \sum_{j=1}^{n} RUC_j * (SPPWF, i, j) \quad (5.23)$$

เมื่อ PV_{RUC} = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

RUC = ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ณ ปีที่ j

SPPWF = Single payment present worth factor = $[1/(1+i)^j]$

i = อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้

n = อายุการใช้งานของถนน (ไม่เกิน 25 ปี)

มูลค่าปัจจุบันรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดอายุบริการของถนนภายใต้นโยบายการซ่อมบำรุงที่กำหนดสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 5.24

$$NPV_{Total} = PV_{MR} + PV_{RM} + PV_{RUC} \quad (5.24)$$

เมื่อ NPV_{Total} = มูลค่าปัจจุบันรวมของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

สมการที่ 5.25 ใช้ในการเปลี่ยนค่า NPV ให้อยู่ในรูป EUAC เพื่อขจัดปัญหาเรื่องความแตกต่างกันของช่วงระยะเวลาที่วิเคราะห์ในแต่ละนโยบายการซ่อมบำรุง

$$EUAC_{Total} = NPV_{Total} \frac{[i(1+i)^n]}{[(1+i)^n - 1]} \quad (5.25)$$

เกณฑ์การกำหนดระยะเวลาในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนมาจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านงานบำรุงทางจากกรมทางหลวง ซึ่งสอดคล้องกับวิธีปฏิบัติจริงที่ดำเนินการในปัจจุบัน โดยระบุว่าในปีสุดท้ายก่อนทำการรื้อสร้างใหม่ (Reconstruction) จะไม่มีการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาหรือบูรณะแม้ว่าจะครบตามเกณฑ์แล้วก็ตาม ทำให้ได้ข้อสรุปว่าสำหรับสายทางที่กำหนดให้ต้องซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาทุก 2, 3, 4, 6, 8, 12 และ 24 ปี จะมีอายุบริการเท่ากับ 24 ปี ส่วนเกณฑ์การกำหนดคาบเวลาที่เหลือจะใช้กับสายทางที่มีอายุบริการ 25 ปี ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 5.20 และ 5.21 สำหรับสายทางที่กำหนดให้ต้องซ่อมบำรุงทุกระยะ 24 และ 25 ปี จะกำหนดให้มีเฉพาะการบำรุงปกติตลอดอายุบริการเท่านั้น เนื่องจากในปีสุดท้ายจะไม่มีการซ่อมบำรุงใหญ่ดังเหตุผลที่อธิบายไว้ตอนต้น ดังนั้นให้ถือว่าการกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงทุก 24 และ 25 ปี เป็นการกำหนดนโยบายที่ไม่มีการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ตลอดอายุการใช้งานของถนน

5.2.2 รายละเอียดและขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

หลังจากที่ได้แบบจำลองการคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทแล้ว ในขั้นต่อไปเป็นการนำผลที่ได้จากแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางและค่าใช้จ่ายมาทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุบริการของถนน โดยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับอายุของสายทางในแต่ละลักษณะ

ขั้นตอนที่ 2 นำค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายกำหนดลงไปในแต่ละปีตลอดอายุการใช้งานของถนน โดยกำหนดระยะเวลาการวิเคราะห์จากเกณฑ์ในหัวข้อ 5.2.1 มาคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ณ.อัตราผลตอบแทนที่กำหนด

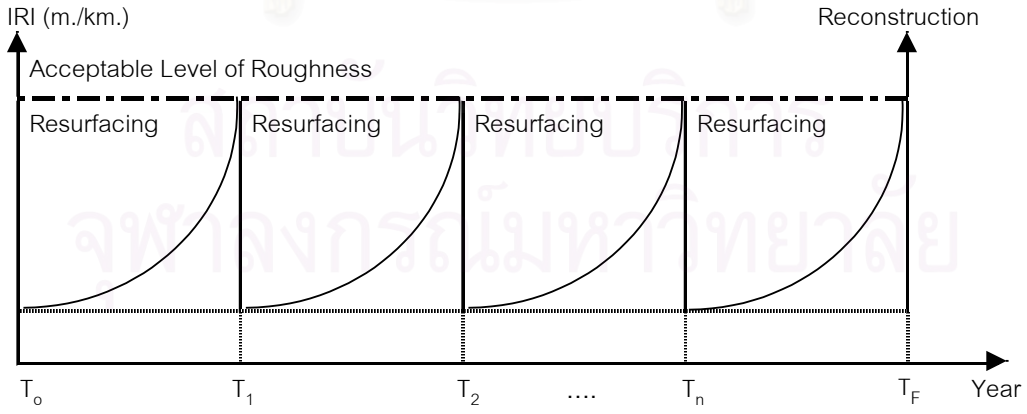
ขั้นตอนที่ 3 เปลี่ยน NPV ทั้งหมดให้อยู่ในรูป Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC)

ขั้นตอนที่ 4 เปลี่ยนคาบเวลาของการเสริมผิวหรือบูรณะแล้วทำตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนได้ค่า EUAC ที่ต่ำที่สุดสำหรับลักษณะของสายทางแต่ละประเภท

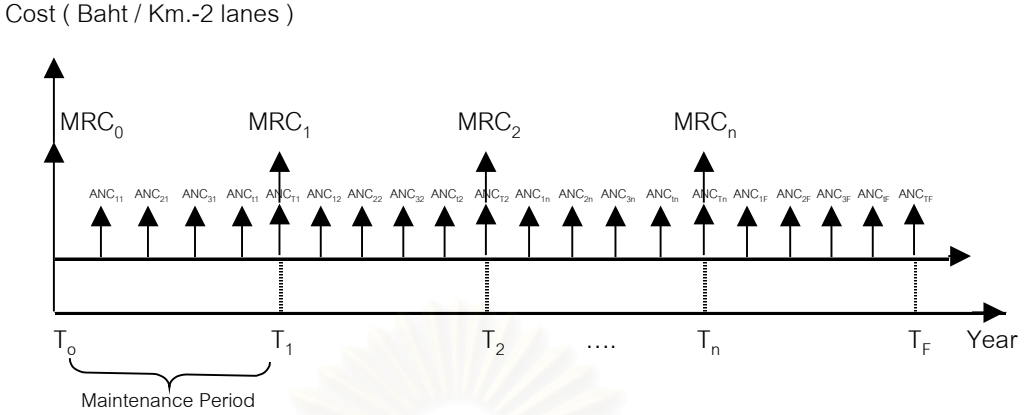
ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทนที่มีต่อคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาหรือบูรณะ

ขั้นตอนที่ 6 นำเกณฑ์ซ่อมบำรุงที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Life-Cycle Cost มาขอรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง เพื่อใช้ในการปรับปรุงเกณฑ์ดังกล่าวให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเกณฑ์ซ่อมบำรุงเดิมของหน่วยงานในการกำหนดนโยบายที่ทำให้สามารถพิจารณาความเหมาะสม ทั้งทางด้านวิศวกรรม สังคม และเศรษฐศาสตร์ควบคู่กันไป

สำหรับการเลือกใช้แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์หรือบูรณะในขั้นตอนที่ 2 สามารถพิจารณาได้จากค่า IRI ณ ปีที่ซ่อมบำรุง ถ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 6.00 จะต้องเปลี่ยนมาใช้แบบจำลองสำหรับงานบูรณะเท่านั้น เนื่องจาก ณ ระดับ IRI ดังกล่าวสภาพผิวทางมักเสียหายเกินกว่าที่จะบำรุงโดยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ทำให้ต้องซ่อมแซมด้วยวิธีบูรณะเท่านั้น สำหรับเกณฑ์ที่ใช้กำหนดระดับ IRI ที่ต้องทำการบูรณะได้อ้างอิงมาจากเกณฑ์ในระบบ TPMS ของกรมทางหลวง ในรูปที่ 5.3 และ 5.4 แสดง Cash Flow Diagrame ที่สัมพันธ์กับ Deterioration Curve สังเกตว่าค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติและค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจะเกิดขึ้นทุกปีภายหลังที่เปิดใช้งานและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อสภาพความเสียหายของผิวทางมากขึ้น ในขณะที่ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์หรือบูรณะจะเกิดขึ้นเป็นช่วงๆตามแผนที่กำหนด และเมื่อถึงปีสุดท้ายของการใช้งานจะไม่มีการซ่อมบำรุงใหญ่ (Major Repair) ไม่ว่าจะเป็นการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ เนื่องจากต้องรื้อและก่อสร้างถนนใหม่ (Reconstruction)



รูปที่ 5.3 : Deterioration Curve สัมพันธ์กับอายุของสายทาง



รูปที่ 5.4: Cash-Flow Diagram สำหรับค่าใช้จ่ายตลอดอายุของสายทาง

ANC = Annual Costs ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (RMC) และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน (RUC)

MRC = Major Repair Costs ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์หรือค่าใช้จ่ายงานบูรณะ

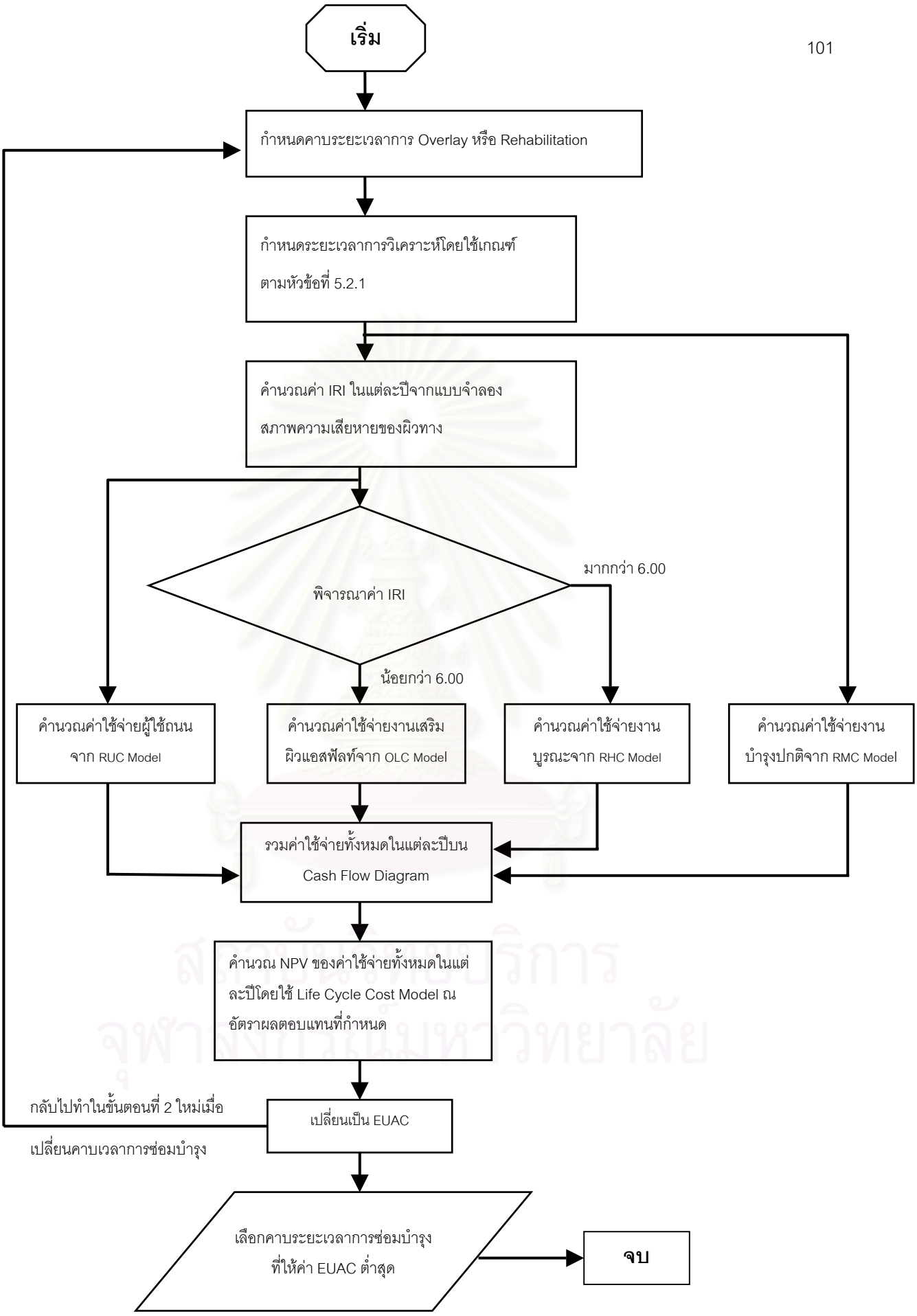
T_n = ปีที่ทำการเสริมผิวแอสฟัลท์หรือบูรณะ

T_F = ปีที่สิ้นสุดของอายุสายทางก่อนทำการก่อสร้างใหม่

t = เวลาใดๆ (ปี) ในแต่ละคาบเวลาของการทำ Major Repair

5.2.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการวิเคราะห์จะสังเกตได้ว่ามีรายละเอียดค่อนข้างมากและมีลักษณะของสายทางที่ต้องวิเคราะห์หลายรูปแบบ ดังนั้นจำเป็นต้องมีเครื่องมือเพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ที่รวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งวิธีหนึ่งที่มีความเหมาะสมคือใช้รูปแบบของตารางการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ สำหรับรูปที่ 5.5 ได้แสดง Flow Chart การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน โดยการคำนวณจะพิจารณาแต่ละคาบการซ่อมบำรุงเริ่มจากการกำหนดให้ Overlay ทุก 1 ปี เรื่อยไปจนครบระยะเวลาที่กำหนด เพื่อหาคาบเวลาที่ทำให้ EUAC ต่ำสุด สำหรับรายละเอียดในหัวข้อถัดไปเป็นตัวอย่างการวิเคราะห์โดยใช้รูปแบบตารางในการนำเสนอ



รูปที่ 5.5 : Flow Chart การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

ตัวอย่างที่นำเสนอเป็นการวิเคราะห์สายทางในภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา (Gradient 3-5%) มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวันต่อความกว้าง 7.00 เมตร และมีสัดส่วนของรถหนัก 15% ซึ่งผลการคำนวณบางส่วนแสดงไว้ในตารางที่ 5.9 ถึง 5.12 สำหรับตารางที่ 5.9 เป็นการวิเคราะห์เมื่อกำหนดให้ต้องเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 1 ปี โดยมีคำอธิบายในแต่ละ Column ดังนี้

Column ที่ 1 (YEAR)	เป็นระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์บน Cash flow diagram ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 5.2.1
Column ที่ 2 (AGE)	เป็นระยะเวลานับจากการเสริมผิวหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากซ่อมทุก 1 ปี
Column ที่ 3 (IRI)	เป็นการคำนวณค่า IRI จากแบบจำลองซึ่งสัมพันธ์กับคาบเวลาใน Column ที่ 2
Column ที่ 4-9*	เป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจากแบบจำลอง RUC แยกตามประเภทยานพาหนะสัมพันธ์กับค่า IRI ใน Column ที่ 3
Column ที่ 10(RUC)*	เป็นผลรวมค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนของยานพาหนะทุกประเภทใน Column ที่ 4-9
Column ที่ 11(ROUTINE)	เป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติจากสมการที่ 5.12 สัมพันธ์กับคาบระยะเวลาการซ่อมบำรุงใน Column ที่ 2
Column ที่ 12(MAJOR)	เป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์จากสมการที่ 5.13 หรืองานบูรณะจากสมการที่ 5.14 โดยพิจารณาจากค่า IRI ใน Column ที่ 3 ถ้า IRI มากกว่าหรือเท่ากับ 6.00 จะใช้สมการที่ 5.14 ในการคำนวณ
Column ที่ 13(TOTAL)	เป็นผลรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในแต่ละปีบน Cash flow diagram
Column ที่ 14(RATE)	เป็นอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (Real Rate) ซึ่งกรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ 9.5%
Column ที่ 15(INFLATON)	เป็นอัตราเงินเฟ้อ ซึ่งปัจจุบันกรมทางหลวงใช้อัตราอ้างอิงที่ 2.5%
Column ที่ 16(DISCOUNT)	เป็นอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ (MARR) ซึ่งในปัจจุบันกรมทางหลวงใช้ที่อัตรา 12%

Column ที่ 17(NPV)	เป็นการคำนวณค่า NPV ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปีบน Cash flow diagram
ช่อง Total NPV	เป็นผลรวมค่า NPV ทั้งหมดตลอดระยะเวลาการวิเคราะห์ทั้ง 25 ปี
ช่อง EUAC	เป็นการเปลี่ยนค่า NPV มาเป็น EUAC เพื่อขจัดปัญหาเรื่องระยะเวลาการวิเคราะห์ที่ไม่เท่ากัน
ช่อง Year Interval	เป็นการกำหนดคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์หรือบูรณะ ซึ่งในตัวอย่างดังกล่าวกำหนดให้มีคาบเวลาทุก 1 ปี
ช่อง AADT	กำหนดปริมาณจราจรที่นำมาวิเคราะห์
ช่อง GR	กำหนดความลาดชันของสายทาง
ช่อง %HV	กำหนดสัดส่วนของรถหนัก

ตารางที่ 5.10 เป็นการวิเคราะห์เมื่อกำหนดให้ต้องเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 2 ปี สังเกตว่าใน Column ที่ 12 (MAJOR) มีค่าใช้จ่ายเฉพาะในปีที่มีการเสริมผิวเท่านั้น และ Column ที่ 2 (AGE) มีคาบทุก 2 ปี เนื่องจากกำหนดให้เสริมผิวทุก 2 ปี ตารางที่ 5.11 เป็นการวิเคราะห์เมื่อต้องทำการบูรณะทุก 12 ปี สาเหตุเนื่องมากจากค่า IRI มีค่าเท่ากับ 6.529 ซึ่งเกิน 6.00 ตามที่กำหนดไว้ เกณฑ์ดังกล่าวอ้างอิงมาจากข้อกำหนดในระบบการบริหารงานทางของกรมทางหลวง (TPMS) ที่ระบุว่าสายทางใดที่มีค่า IRI ตั้งแต่ 6.00 ขึ้นไปควรต้องซ่อมบำรุงโดยวิธีบูรณะ ซึ่งข้อกำหนดดังกล่าวอ้างอิงมาจากงานวิจัยของธนาคารโลกที่ได้นำเสนอผลการศึกษาไว้ในปี 1987 โดยระบุว่าถนนส่วนใหญ่ที่มีค่า IRI ประมาณ 5.50-6.00 ขึ้นไปจะมีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายในระดับชั้นโครงสร้างทางค่อนข้างสูง ดังนั้นการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมกับถนนที่มีค่า IRI ถึงระดับดังกล่าวจึงควรใช้วิธีบูรณะผิวแอสฟัลท์เป็นหลัก และจากการพิจารณาใน Columnที่ 3 สังเกตว่า IRI มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งและจะเกิน 6.00 ในปีที่ 12 ทำให้ต้องซ่อมบำรุงด้วยวิธีการบูรณะ ดังนั้นค่าใช้จ่าย ณ ปีดังกล่าวจึงต้องคำนวณจากสมการที่ 5.14 สำหรับตารางที่ 5.12 เป็นการวิเคราะห์เมื่อต้องทำการบูรณะทุก 13 ปี ดังนั้นการคำนวณค่าใช้จ่ายใน Column ที่ 12 จำเป็นต้องใช้สมการ 5.14 โดยเริ่มตั้งแต่ปีที่ 12 เป็นต้นไป เมื่อทำการวิเคราะห์จนครบระยะเวลาที่กำหนดจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.13 สังเกตว่าในปีที่ 5 จะมีค่า EUAC ต่ำสุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การเสริมผิวแอสฟัลท์ทุกระยะ 5 ปี สำหรับสายทางที่มีความลาดชัน 3-5% มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน และมีสัดส่วนรถหนัก 15% จะทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทางดังกล่าวต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.9: การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนเมื่อดำเนินการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 1 ปี

YEAR	AGE	IRI	PC	LT	MT	HT	LB	HB	RUC	ROUTINE	MAJOR	TOTAL	RATE	INFLATION	DISCOUNT	NPV
1	1	2.2025	2781414	2172840	693655	800551	794372	1147833	8390666	19007	1176418	9586091	0.0950	0.0250	0.1224	8540899
2	1	2.2025	2887579	2255776	720132	831108	824693	1191645	8710932	19084	1196319	9926336	0.0950	0.0250	0.1224	7879760
3	1	2.2025	2993744	2338712	746608	861664	855013	1235457	9031199	19162	1216220	10266581	0.0950	0.0250	0.1224	7261258
4	1	2.2025	3099909	2421648	773085	892221	885334	1279269	9351465	19239	1236121	10606825	0.0950	0.0250	0.1224	6683954
5	1	2.2025	3206074	2504583	799561	922778	915655	1323081	9671732	19316	1256022	10947070	0.0950	0.0250	0.1224	6146218
6	1	2.2025	3312239	2587519	826037	953334	945976	1366894	9991999	19393	1275923	11287315	0.0950	0.0250	0.1224	5646284
7	1	2.2025	3418404	2670455	852514	983891	976296	1410706	10312265	19471	1295824	11627560	0.0950	0.0250	0.1224	5182302
8	1	2.2025	3524568	2753391	878990	1014447	1006617	1454518	10632532	19548	1315725	11967805	0.0950	0.0250	0.1224	4752374
9	1	2.2025	3630733	2836327	905467	1045004	1036938	1498330	10952798	19625	1335626	12308049	0.0950	0.0250	0.1224	4354591
10	1	2.2025	3736898	2919263	931943	1075560	1067258	1542142	11273065	19702	1355527	12648294	0.0950	0.0250	0.1224	3987054
11	1	2.2025	3843063	3002199	958419	1106117	1097579	1585954	11593332	19780	1375428	12988539	0.0950	0.0250	0.1224	3647896
12	1	2.2025	3949228	3085135	984896	1136673	1127900	1629766	11913598	19857	1395329	13328784	0.0950	0.0250	0.1224	3335299
13	1	2.2025	4055393	3168071	1011372	1167230	1158220	1673578	12233865	19934	1415230	13669029	0.0950	0.0250	0.1224	3047501
14	1	2.2025	4161558	3251007	1037849	1197787	1188541	1717390	12554131	20011	1435131	14009274	0.0950	0.0250	0.1224	2782812
15	1	2.2025	4267723	3333943	1064325	1228343	1218862	1761202	12874398	20088	1455032	14349518	0.0950	0.0250	0.1224	2539613
16	1	2.2025	4373887	3416879	1090801	1258900	1249183	1805014	13194664	20166	1474933	14689763	0.0950	0.0250	0.1224	2316365
17	1	2.2025	4480052	3499815	1117278	1289456	1279503	1848827	13514931	20243	1494834	15030008	0.0950	0.0250	0.1224	2111609
18	1	2.2025	4586217	3582751	1143754	1320013	1309824	1892639	13835198	20320	1514735	15370253	0.0950	0.0250	0.1224	1923966
19	1	2.2025	4692382	3665687	1170231	1350569	1340145	1936451	14155464	20397	1534636	15710498	0.0950	0.0250	0.1224	1752138
20	1	2.2025	4798547	3748623	1196707	1381126	1370465	1980263	14475731	20475	1554537	16050742	0.0950	0.0250	0.1224	1594907
21	1	2.2025	4904712	3831559	1223183	1411682	1400786	2024075	14795997	20552	1574438	16390987	0.0950	0.0250	0.1224	1451134
22	1	2.2025	5010877	3914495	1249660	1442239	1431107	2067887	15116264	20629	1594339	16731232	0.0950	0.0250	0.1224	1319752
23	1	2.2025	5117042	3997431	1276136	1472796	1461427	2111699	15436531	20706	1614240	17071477	0.0950	0.0250	0.1224	1199768
24	1	2.2025	5223206	4080367	1302613	1503352	1491748	2155511	15756797	20784	1634141	17411722	0.0950	0.0250	0.1224	1090260
25	1	2.2025	5329371	4163303	1329089	1533909	1522069	2199323	16077064	20861	0	16097924	0.0950	0.0250	0.1224	898091
											Year Interval	1	AADT	5000	Total NPV	91,445,804
											GR	3-5%	%HV	15	EUAC	11,853,919

ตารางที่ 5.10: การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนเมื่อดำเนินการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 2 ปี

YEAR	AGE	IRI	PC	LT	MT	HT	LB	HB	RUC	ROUTINE	MAJOR	TOTAL	RATE	INFLATION	DISCOUNT	NPV
1	1	2.2025	2781414	2172840	693655	800551	794372	1147833	8390666	19007	0	8409673	0.0950	0.0250	0.1224	7492748
2	2	2.4312	2941809	2300675	736089	843636	836726	1201643	8860578	22445	1196319	10079342	0.0950	0.0250	0.1224	8001220
3	1	2.2025	2993744	2338712	746608	861664	855013	1235457	9031199	19162	0	9050361	0.0950	0.0250	0.1224	6401060
4	2	2.4312	3158126	2469849	790215	905670	898253	1290002	9512115	22627	1236121	10770863	0.0950	0.0250	0.1224	6787324
5	1	2.2025	3206074	2504583	799561	922778	915655	1323081	9671732	19316	0	9691048	0.0950	0.0250	0.1224	5441026
6	2	2.4312	3374444	2639022	844341	967704	959779	1378362	10163652	22808	1275923	11462384	0.0950	0.0250	0.1224	5733859
7	1	2.2025	3418404	2670455	852514	983891	976296	1410706	10312265	19471	0	10331736	0.0950	0.0250	0.1224	4604764
8	2	2.4312	3590761	2808196	898467	1029739	1021305	1466721	10815189	22990	1315725	12153904	0.0950	0.0250	0.1224	4826274
9	1	2.2025	3630733	2836327	905467	1045004	1036938	1498330	10952798	19625	0	10972423	0.0950	0.0250	0.1224	3882046
10	2	2.4312	3807079	2977369	952593	1091773	1082831	1555080	11466726	23172	1355527	12845425	0.0950	0.0250	0.1224	4049194
11	1	2.2025	3843063	3002199	958419	1106117	1097579	1585954	11593332	19780	0	11613111	0.0950	0.0250	0.1224	3261600
12	2	2.4312	4023396	3146543	1006720	1153807	1144358	1643440	12118263	23353	1395329	13536945	0.0950	0.0250	0.1224	3387387
13	1	2.2025	4055393	3168071	1011372	1167230	1158220	1673578	12233865	19934	0	12253799	0.0950	0.0250	0.1224	2731976
14	2	2.4312	4239713	3315716	1060846	1215842	1205884	1731799	12769800	23535	1435131	14228466	0.0950	0.0250	0.1224	2826352
15	1	2.2025	4267723	3333943	1064325	1228343	1218862	1761202	12874398	20088	0	12894486	0.0950	0.0250	0.1224	2282098
16	2	2.4312	4456031	3484890	1114972	1277876	1267410	1820159	13421337	23717	1474933	14919987	0.0950	0.0250	0.1224	2352668
17	1	2.2025	4480052	3499815	1117278	1289456	1279503	1848827	13514931	20243	0	13535174	0.0950	0.0250	0.1224	1901595
18	2	2.4312	4672348	3654063	1169098	1339910	1328936	1908518	14072874	23898	1514735	15611507	0.0950	0.0250	0.1224	1954164
19	1	2.2025	4692382	3665687	1170231	1350569	1340145	1936451	14155464	20397	0	14175862	0.0950	0.0250	0.1224	1580985
20	2	2.4312	4888666	3823237	1223224	1401945	1390463	1996877	14724411	24080	1554537	16303028	0.0950	0.0250	0.1224	1619976
21	1	2.2025	4904712	3831559	1223183	1411682	1400786	2024075	14795997	20552	0	14816549	0.0950	0.0250	0.1224	1311745
22	2	2.4312	5104983	3992410	1277350	1463979	1451989	2085237	15375948	24262	1594339	16994548	0.0950	0.0250	0.1224	1340522
23	1	2.2025	5117042	3997431	1276136	1472796	1461427	2111699	15436531	20706	0	15457237	0.0950	0.0250	0.1224	1086321
24	2	2.4312	5321300	4161584	1331477	1526013	1513515	2173596	16027485	24443	0	16051928	0.0950	0.0250	0.1224	1005115
											Year Interval	2	AADT	5000	Total NPV	85,862,023
											GR	3-5%	%HV	15	EUAC	11,211,138

ตารางที่ 5.11: การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนเมื่อดำเนินการบูรณะผิวแอสฟัลท์ทุก 12 ปี

YEAR	AGE	IRI	PC	LT	MT	HT	LB	HB	RUC	ROUTINE	MAJOR	TOTAL	RATE	INFLATION	DISCOUNT	NPV
1	1	2.2025	2781414	2172840	693655	800551	794372	1147833	8390666	19007	0	8409673	0.0950	0.0250	0.1224	7492748
2	2	2.4312	2941809	2300675	736089	843636	836726	1201643	8860578	22445	0	8883023	0.0950	0.0250	0.1224	7051554
3	3	2.6836	3114699	2438621	781511	889080	881953	1257888	9363752	24779	0	9388530	0.0950	0.0250	0.1224	6640238
4	4	2.9622	3302509	2588579	830332	937211	930634	1317072	9906337	26611	0	9932948	0.0950	0.0250	0.1224	6259306
5	5	3.2698	3508168	2752842	883021	988405	983475	1379812	10495724	28150	0	10523874	0.0950	0.0250	0.1224	5908615
6	6	3.6094	3735230	2934176	940113	1043091	1041341	1446859	11140809	29494	0	11170304	0.0950	0.0250	0.1224	5587751
7	7	3.9841	3988004	3135924	1002221	1101762	1105280	1519132	11852323	30700	0	11883023	0.0950	0.0250	0.1224	5296159
8	8	4.3978	4271727	3362136	1070046	1164987	1176578	1597758	12643233	31800	0	12675032	0.0950	0.0250	0.1224	5033212
9	9	4.8545	4592777	3617724	1144395	1233417	1256804	1684117	13529233	32817	0	13562051	0.0950	0.0250	0.1224	4798257
10	10	5.3585	4958924	3908656	1226193	1307805	1347879	1779900	14529358	33769	0	14563127	0.0950	0.0250	0.1224	4590656
11	11	5.9149	5379653	4242195	1316509	1389022	1452158	1887185	15666720	34666	0	15701386	0.0950	0.0250	0.1224	4409813
12	12	6.5291	5866551	4627187	1416570	1478073	1572526	2008524	16969432	35517	2325389	19330338	0.0950	0.0250	0.1224	4837084
13	1	2.2025	4055393	3168071	1011372	1167230	1158220	1673578	12233865	19934	0	12253799	0.0950	0.0250	0.1224	2731976
14	2	2.4312	4239713	3315716	1060846	1215842	1205884	1731799	12769800	23535	0	12793335	0.0950	0.0250	0.1224	2541277
15	3	2.6836	4440150	3476368	1114081	1267425	1257265	1793178	13348467	25977	0	13374445	0.0950	0.0250	0.1224	2367042
16	4	2.9622	4659750	3652415	1171576	1322379	1313099	1858354	13977573	27893	0	14005466	0.0950	0.0250	0.1224	2208461
17	5	3.2698	4902189	3846723	1233902	1381161	1374273	1928100	14666348	29501	0	14695848	0.0950	0.0250	0.1224	2064662
18	6	3.6094	5171903	4062741	1301707	1444292	1441869	2003361	15425873	30904	0	15456777	0.0950	0.0250	0.1224	1934796
19	7	3.9841	5474262	4304627	1375731	1512370	1517199	2085286	16269475	32161	0	16301636	0.0950	0.0250	0.1224	1818065
20	8	4.3978	5815771	4577402	1456821	1586079	1601860	2175279	17213213	33307	0	17246520	0.0950	0.0250	0.1224	1713728
21	9	4.8545	6204324	4887138	1545949	1666208	1697801	2275052	18276471	34367	0	18310838	0.0950	0.0250	0.1224	1621103
22	10	5.3585	6649514	5241191	1644226	1753661	1807396	2386701	19482688	35357	0	19518045	0.0950	0.0250	0.1224	1539574
23	11	5.9149	7163012	5648486	1752932	1849483	1933549	2512788	20860251	36290	0	20896541	0.0950	0.0250	0.1224	1468591
24	12	6.5291	7759037	6119868	1873541	1954884	2079806	2656452	22443588	37175	0	22480763	0.0950	0.0250	0.1224	1407665
											Year Interval	12	AADT	5000	Total NPV	91,322,335
											GR	3-5%	%HV	15	EUAC	11,924,099

ตารางที่ 5.12: การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนเมื่อดำเนินการบูรณะผิวแอสฟัลท์ทุก 13 ปี

YEAR	AGE	IRI	PC	LT	MT	HT	LB	HB	RUC	ROUTINE	MAJOR	TOTAL	RATE	INFLATION	DISCOUNT	NPV
1	1	2.2025	2781414	2172840	693655	800551	794372	1147833	8390666	19007	0	8409673	0.0950	0.0250	0.1224	7492748
2	2	2.4312	2941809	2300675	736089	843636	836726	1201643	8860578	22445	0	8883023	0.0950	0.0250	0.1224	7051554
3	3	2.6836	3114699	2438621	781511	889060	881953	1257886	9363752	24779	0	9388530	0.0950	0.0250	0.1224	6640238
4	4	2.9622	3302509	2588579	830332	937211	930034	1317072	9906337	26611	0	9932948	0.0950	0.0250	0.1224	6259306
5	5	3.2698	3508168	2752842	883021	988405	983475	1379812	10495724	28150	0	10523874	0.0950	0.0250	0.1224	5908615
6	6	3.6094	3735230	2934176	940113	1043091	1041341	1446859	11140809	29494	0	11170304	0.0950	0.0250	0.1224	5587751
7	7	3.9841	3988004	3135924	1002221	1101762	1105280	1519132	11852323	30700	0	11883023	0.0950	0.0250	0.1224	5296159
8	8	4.3978	4271727	3362136	1070046	1164987	1176578	1597758	12643233	31800	0	12675032	0.0950	0.0250	0.1224	5033212
9	9	4.8545	4592777	3617724	1144395	1233417	1256804	1684117	13529233	32817	0	13562051	0.0950	0.0250	0.1224	4798257
10	10	5.3585	4958924	3908656	1226193	1307805	1347879	1779900	14529358	33769	0	14563127	0.0950	0.0250	0.1224	4590656
11	11	5.9149	5379653	4242195	1316509	1389022	1452158	1887185	15666720	34666	0	15701386	0.0950	0.0250	0.1224	4409813
12	12	6.5291	5866551	4627187	1416570	1478073	1572526	2008524	16969432	35517	0	17004949	0.0950	0.0250	0.1224	4255195
13	13	7.2070	6433791	5074426	1527801	1576128	1712527	2147054	18471728	36329	2354967	20863024	0.0950	0.0250	0.1224	4651398
14	1	2.2025	4161558	3251007	1037849	1197787	1188541	1717390	12554131	20011	0	12574143	0.0950	0.0250	0.1224	2497736
15	2	2.4312	4347872	3400303	1087909	1246859	1236647	1775979	13095569	23626	0	13119194	0.0950	0.0250	0.1224	2321867
16	3	2.6836	4550604	3562847	1141795	1298954	1288541	1837786	13680527	26077	0	13706604	0.0950	0.0250	0.1224	2161335
17	4	2.9622	4772854	3741068	1200013	1354477	1344971	1903460	14316842	28000	0	14344842	0.0950	0.0250	0.1224	2015348
18	5	3.2698	5018357	3937879	1263142	1413891	1406840	1973791	15013900	29613	0	15043513	0.0950	0.0250	0.1224	1883066
19	6	3.6094	5291626	4156788	1331839	1477726	1475246	2049736	15782961	31021	0	15813983	0.0950	0.0250	0.1224	1763679
20	7	3.9841	5598117	4402019	1406856	1546587	1551525	2132466	16637571	32283	0	16669853	0.0950	0.0250	0.1224	1656426
21	8	4.3978	5944442	4678674	1489052	1621170	1637300	2223405	17594044	33433	0	17627477	0.0950	0.0250	0.1224	1560603
22	9	4.8545	6338620	4992922	1579411	1702273	1734550	2324297	18672074	34496	0	18706570	0.0950	0.0250	0.1224	1475566
23	10	5.3585	6790396	5352235	1679062	1790815	1845689	2437268	19895466	35490	0	19930955	0.0950	0.0250	0.1224	1400730
24	11	5.9149	7311625	5765677	1789301	1887855	1973665	2564922	21293045	36425	0	21329471	0.0950	0.0250	0.1224	1335576
25	12	6.5291	7916744	6244258	1911622	1994618	2122080	2710446	22899768	37313	0	22937081	0.0950	0.0250	0.1224	1279642
											Year Interval	13	AADT	5000	Total NPV	93,326,478
											GR	3-5%	%HV	15	EUAC	12,097,707

ตารางที่ 5.13: ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทางที่มีความลาดชัน 3 - 5% มีปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน และสัดส่วนของรถหนัก 15% ในรูปของค่า EUAC (บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้าง 7.00 เมตร)

Year	EUAC	
1	11,853,919	ณ.คาบเวลาดังกล่าวยังสามารถซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวแอสฟัลท์ได้ เนื่องจากค่า IRI ต่ำกว่า 6.00
2	11,211,138	
3	11,075,977	
4	11,060,911	
5	11,041,316 (Min. EUAC)	
6	11,163,951	
7	11,284,136	
8	11,352,718	
9	11,457,361	
10	11,609,501	
11	11,639,540	
12	11,924,099	ณ.คาบเวลาดังกล่าวควรซ่อมบำรุงโดยวิธีบูรณะ เนื่องจากค่า IRI มากกว่า 6.00 ตามเกณฑ์ TPMS
13	12,097,707	
14	12,158,990	
15	12,217,587	
16	12,450,263	
17	12,624,701	
18	12,872,276	
19	13,279,196	
20	13,456,501	
21	13,794,817	
22	14,286,458	
23	14,571,020	
24	15,100,347	
25	15,589,205	

5.3 ปัญหาและข้อจำกัดของข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลจากหน่วยงานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง ได้พบอุปสรรคและปัญหาดังต่อไปนี้

1. เนื่องจากข้อมูล IRI เริ่มมีการสำรวจเมื่อปี 2533 จนถึงปัจจุบันมีระยะเวลา 10 ปี ซึ่งถือว่าสั้นเกินไปที่จะนำมาใช้วิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางได้ตลอดอายุการใช้งาน ทำให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสามารถทำนายความเสียหายได้ดีในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น แต่ยังไม่สามารถใช้ในการพยากรณ์สภาพผิวทางในช่วงท้ายของอายุบริการได้แม่นยำเพียงพอ ซึ่งในต่างประเทศจะใช้ข้อมูลย้อนหลังประมาณ 30 ปี สำหรับการพัฒนาแบบจำลอง (Hajek, Phang, และ Prakash, 1990)

2. IRI เป็นดัชนีที่มีข้อด้อยในการสะท้อนสภาพความเสียหายบางชนิดเช่น Narrow Cracking ดังนั้นแบบจำลองที่พัฒนาได้ อาจไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการพิจารณาเลือกวิธีการซ่อมบำรุงให้เหมาะสมกับความเสียหายแต่ละประเภทได้

3. เนื่องจากประวัติการสำรวจและบันทึกค่า IRI มีระยะเวลาสั้น ทำให้การทำนายสภาพความเสียหายของผิวทางโดยใช้แบบจำลองตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าภายหลังที่มีการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์จะส่งผลให้สภาพผิวทางมีสภาพดีใกล้เคียงกับตอนก่อสร้างเสร็จใหม่ และมีอัตราการเสียหายเท่ากันในทุกคาบเวลาภายหลังการซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งานของถนน ซึ่งในความเป็นจริงที่มีการวิจัยในต่างประเทศ (Hajek, Phang และ Prakash, 1990) ระบุว่า จำนวนครั้งและคาบเวลาของการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ในครั้งก่อน รวมทั้งสภาพผิวทางก่อนการซ่อมบำรุง ส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดความเสียหายของผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงในครั้งต่อไป

4. การวิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง ไม่ได้พิจารณาปัจจัยเรื่องคุณภาพในการก่อสร้างสายทางเดิมของผู้รับจ้าง และน้ำหนักบรรทุกเกินพิกัดของรถบรรทุก เนื่องจากไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลที่แท้จริงได้

5. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานไม่ได้พิจารณาผลเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องงบประมาณการซ่อมบำรุง เนื่องจากการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบเฉพาะในกลุ่มสายทางที่มีลักษณะเหมือนกันเท่านั้นแต่ไม่เปรียบเทียบข้ามกลุ่ม ซึ่งการวิเคราะห์ในระดับโครงข่ายภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ จำเป็นต้องใช้วิธีการอื่นที่เหมาะสมกว่า เช่น Optimization Method เป็นต้น

6. ข้อมูลดิบที่ได้จากแหล่งข้อมูลยังมีการเก็บรวบรวมที่ไม่เป็นระเบียบและเหมาะสมต่อการใช้งานได้ทันที ทำให้ต้องทำการคัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่สมบูรณ์และถูกต้องเพียงพอที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ ส่งผลให้ต้องเสียเวลาอย่างมากในการจัดเตรียมข้อมูลดังกล่าว

7. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งในการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางมีการเก็บรวบรวมไม่ครบทุกจังหวัดทำให้ต้องมีการประมาณโดยอาศัยข้อมูลจากพื้นที่ใกล้เคียง นอกจากนี้ค่าที่วัดได้มาจากสถานีวัดน้ำฝนซึ่งไม่ได้เป็นปริมาณจริงที่เก็บจากโครงการทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ ดังสังเกตได้จากค่า R^2 ที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อนำตัวแปรปริมาณน้ำฝนเข้ามาพิจารณาในแบบจำลอง

8. ข้อมูลค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติถูกเก็บรวบรวมในลักษณะงบประมาณรวมทั้งหมดที่ขออนุมัติจากแขวงการทางทั่วประเทศทำให้ไม่สามารถทราบข้อมูลของค่าใช้จ่ายที่แท้จริงในการซ่อมบำรุงแต่ละสายทางได้ นอกจากนี้กิจกรรมสำหรับงานบำรุงปกติประกอบด้วยลักษณะงานหลายประเภทและแต่ละประเภทก็มีวิธีการและค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติไม่สามารถดำเนินการวิเคราะห์จากข้อมูลภาคสนามได้เนื่องจากมีข้อมูลไม่เพียงพอ ทำให้จำเป็นต้องใช้แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติของ JICA เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นแบบจำลองเพียงอย่างเดียวในประเทศไทยที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

9. การวิเคราะห์ดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจะแสดงในลักษณะของดัชนีรวมของยานพาหนะทุกประเภท เนื่องจากข้อมูลดัชนีราคาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับหมวดยานพาหนะและการขนส่งที่เก็บรวบรวมในปัจจุบันไม่ได้ทำการแยกประเภทของยานพาหนะแต่ละชนิดไว้ ทำให้การประมาณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในอนาคตเป็นการพิจารณาแนวโน้มในภาพรวมทั้งหมดโดยไม่แบ่งตามประเภทของยานพาหนะ

5.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทางรวมทั้งตัวอย่างการวิเคราะห์ ตลอดจนปัญหาและข้อจำกัดของข้อมูล โดยขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลองและค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ ส่วนปัญหาและข้อจำกัดของข้อมูลในหัวข้อที่ 5.3 ได้อธิบายถึง อุปสรรคและข้อจำกัดในการเก็บและวิเคราะห์แบบจำลองซึ่งทำให้ทราบว่าแบบจำลองและผลการวิเคราะห์ที่ได้เหมาะสมสำหรับการใช้งานในลักษณะใด รวมถึงข้อควรปรับปรุงเพื่อให้แบบจำลองมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น ในบทถัดไปจะกล่าวถึง ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนว่าแต่ละลักษณะของสายทางมีคาบเวลาการซ่อมบำรุงที่ทำให้ EUAC ต่ำสุด ณ คาบเวลาใด นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการโดยทดสอบอัตราผลตอบแทนระหว่าง 4-20 เปอร์เซ็นต์ ว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาซ่อมบำรุงอย่างไร จากนั้นจึงมาพิจารณาความเหมาะสมเพื่อนำมาใช้งานโดยได้รับ

คำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงทางของกรมทางหลวง ซึ่งทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเกณฑ์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในปัจจุบันของกรมทางหลวง สำหรับใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงทางให้เกิดประสิทธิภาพต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
ผลการวิจัย

ในบทที่ผ่านมาได้ทราบถึงการวิเคราะห์แบบจำลองซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางและการคิดค่าใช้จ่ายสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน ตลอดจนแสดงถึงขั้นตอนและตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ในบทนี้กล่าวถึงผลการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายภายหลังการคำนวณเพื่อหาค่า Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) ที่ต่ำสุดของคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ในแต่ละลักษณะสายทาง จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาขอรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง เพื่อปรับ-ปรุงให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการทดสอบความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของโครงการอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ (Minimum Attractive Rate of Return: MARR) เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลาซ่อมบำรุง และในส่วนสุดท้ายกล่าวถึงความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์เดิมที่ปฏิบัติอยู่ในปัจจุบัน อันจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการงานบำรุงทางของกรมทางหลวงต่อไป

6.1 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

การกำหนดลักษณะสายทางเพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ลักษณะภูมิประเทศ ปริมาณจราจร และสัดส่วนของรถหนัก สำหรับลักษณะภูมิอากาศที่ใช้ปริมาณน้ำฝนเป็นเกณฑ์จะไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากปัญหาในเรื่องความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล อีกทั้งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 5

การวิเคราะห์ในขั้นแรกได้แบ่งเกณฑ์ลักษณะภูมิประเทศตามความลาดชันของพื้นที่ออกเป็น 3 กลุ่ม สัดส่วนของรถหนัก 9 กลุ่ม และปริมาณจราจร 13 กลุ่ม ซึ่งยึดถือตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มของกรมทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 6.1-6.3 สำหรับวิธีการวิเคราะห์จะใช้รูปแบบตารางคำนวณดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 5.2.3 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในรูปของคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ที่ให้ค่า EUAC ต่ำสุดตลอดอายุการใช้งานของถนน สำหรับการวิเคราะห์ในลำดับต่อมาจะนำผลที่ได้จากขั้นตอนแรกมาขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านงานบำรุงทางของกรมทางหลวง เพื่อปรับให้สามารถใช้งานได้สอดคล้องและเหมาะสมกับการปฏิบัติจริงในภาคสนามมากที่สุด

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการวิเคราะห์สำหรับสายทางในลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ (Gradient 0-3%) สังเกตได้ว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรและสัดส่วนรถหนักสูงมีแนวโน้มที่ทำให้คาบเวลาซ่อมบำรุงสั้นกว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรและสัดส่วนรถหนักต่ำกว่า เนื่องจากสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงกว่ามีอัตราการเกิดความเสียหายของผิวทางเร็วกว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำกว่า

ดังนั้นผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าสภาพความเสียหายของผิวทางเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คาบเวลาการซ่อมบำรุงสั้นลงเมื่อสายทางดังกล่าวมีปริมาณจราจรและสัดส่วนรถหนักสูงขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนตลอดอายุการใช้งานมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงปริมาณจราจรระดับหนึ่งที่ทำให้สัดส่วนค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนมีค่าสูงมากจนต้องมีการกำหนดแผนซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่สามารถทำให้ผิวทางมีสภาพดีอยู่ตลอดเวลา เพราะการเพิ่มขึ้นของสภาพความเสียหายเพียงเล็กน้อยจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6.1-6.3 พบว่า ณ ระดับปริมาณจราจรตั้งแต่ 50,000 คันต่อวัน คาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์มีระยะเวลาสั้นมาก (ทุกๆ1-2 ปี) ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของสัดส่วนค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนของทั้งสายทางมีค่าสูงมากและมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อสภาพความเสียหายเพิ่มมากขึ้น สำหรับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า EUAC กับคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ของลักษณะสายทางแบบอื่นได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ. ซึ่งผลจากการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้สามารถทราบถึงพฤติกรรมอย่างชัดเจนของค่า EUAC กับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงจะทำให้ค่า EUAC มีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อคาบเวลาซ่อมบำรุงมีระยะนานขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากอิทธิพลของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่มีสัดส่วนสูงขึ้นตามอายุบริการของสายทาง

ตารางที่ 6.2 เป็นเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน (Gradient 3-5%) และตารางที่ 6.3 สำหรับภูมิประเทศเป็นเนินสลับภูเขาจนถึงเป็นภูเขาสูง (Gradient >5%) สังเกตว่าลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งต่อการกำหนดคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ ทั้งนี้ลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชันมากขึ้นจะส่งผลต่อคาบเวลาที่สั้นลง สาเหตุเนื่องมาจากความลาดชันเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของสภาพความเสียหายผิวทางดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 5

ตารางที่ 6.4 แสดงสัดส่วนของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทแบ่งตามกลุ่มปริมาณจราจรสำหรับสายทางที่มีสัดส่วนรถหนัก 15% พบว่าปริมาณจราจรมีผลต่อสัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนอย่างมาก ดังสังเกตได้จากสัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณจราจรของสายทางนั้นสูงกว่า 1,000 คันต่อวัน คือมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ นั่นหมายถึงผลกระทบเรื่องค่าใช้จ่ายที่เกิด

กับผู้ใช้ถนนมีอิทธิพลอย่างสูงสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรเกินระดับดังกล่าว ดังนั้นการวางแผนงานซ่อมบำรุงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยเรื่องระดับปริมาณจราจรเป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างหนึ่งในการตัดสินใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสายทางที่มีปริมาณจราจรสูง

ตารางที่ 6.4: สัดส่วนค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทตลอดอายุการใช้งาน แบ่งตามกลุ่มปริมาณจราจร สำหรับสายทางที่มีสัดส่วนรถหนัก 15 เปอร์เซ็นต์

AADT	สัดส่วนค่าใช้จ่ายแต่ละประเภท (%)			รวม
	ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ	ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา	ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน	
< 200	0.693	75.36	23.95	100.00
201 – 500	0.641	63.80	35.56	100.00
501 – 1,000	0.517	45.27	54.21	100.00
1,001 – 2,000	0.364	29.27	70.37	100.00
2,001 – 4,000	0.216	17.17	82.61	100.00
4,001 – 6,000	0.142	11.05	88.81	100.00
6,001 – 10,000	0.093	7.18	92.73	100.00
10,001 – 20,000	0.059	3.93	96.01	100.00
20,001 – 30,000	0.031	2.37	97.60	100.00
30,001 – 50,000	0.027	1.45	98.52	100.00
50,001 – 70,000	0.013	0.94	99.05	100.00
70,001 – 100,000	0.007	0.62	99.37	100.00
> 100,000	0.006	0.50	99.49	100.00

6.2 การปรับปรุงเกณฑ์ซ่อมบำรุงสำหรับการใช้งาน

ภายหลังที่ได้ผลการวิเคราะห์ในเบื้องต้นดังตารางที่ 6.1-6.3 สังเกตได้ว่ากลุ่มสายทางที่มีระดับปริมาณจราจรและสัดส่วนรถหนักใกล้เคียงกันจะมีคาบเวลาการซ่อมบำรุงที่เท่ากันหรือแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการแบ่งย่อยกลุ่มปัจจัยที่ละเอียดเกินไป ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำเกณฑ์ดังกล่าวไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม จึงมีความจำเป็นต้องปรึกษาเพื่อขอรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงทางในการปรับปรุงเกณฑ์ดังกล่าวเพิ่มเติม สำหรับการปรับปรุงเกณฑ์การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์มีแนวทางการพิจารณา 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. **การกำหนดวัตถุประสงค์ของการปรับปรุง** วัตถุประสงค์ของการปรับปรุงมุ่งประเด็นเรื่องความเหมาะสม และสอดคล้องต่อการปฏิบัติงานจริงของกรมทางหลวงเป็นหลัก
2. **การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญสำหรับการปรึกษา** การคัดเลือกพิจารณาจากความรู้และประสบการณ์ในการทำงาน ทั้งทางด้านวิชาการ และการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงทาง โดยดำเนินการคัดเลือกวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่านจากกองบำรุง รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่านจากแขวงการทางของกรมทางหลวง สำหรับผู้เชี่ยวชาญจากกองบำรุงจะเน้นในส่วนการปรึกษาเชิงวิชาการ และการกำหนดนโยบายภาพรวมทั้งประเทศ ส่วนผู้เชี่ยวชาญจากแขวงการทางจะเน้นทางด้านการบริหารและปฏิบัติการภาคสนามเป็นหลัก โดยขั้นตอนต่อไปจะนำเกณฑ์ที่วิเคราะห์ได้จากตารางที่ 6.1-6.3 มาขอรับแนวทางการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมต่อการกำหนดนโยบาย และปฏิบัติงานภาคสนามในระดับที่ยอมรับได้
3. **การกำหนดประเด็นสำหรับพิจารณาแนวทางการปรับปรุง** ประเด็นหลักที่นำมาพิจารณาในการปรับปรุง ประกอบด้วย 5 หัวข้อ ได้แก่
    - ก. **ความเหมาะสมเชิงวิชาการ** พิจารณาผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก โดยมุ่งเน้นในส่วนของอิทธิพลต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเป็นสำคัญ
    - ข. **ความสะดวกในการใช้งาน** โดยพิจารณารูปแบบที่เหมาะสมในการนำเสนอเกณฑ์ซ่อมบำรุง เช่น รูปแบบตาราง นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงความเหมาะสมในการกำหนดตัวแปรที่นำมาใช้ในการตัดสินใจ ซึ่งเน้นเฉพาะตัวแปรที่มีผลกระทบอย่างสูงต่อการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาการซ่อมบำรุง
    - ค. **ความยืดหยุ่นในการใช้งาน** มุ่งเน้นในเรื่องการจัดทำเกณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นสำหรับการกำหนดนโยบาย และแผนการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมกับสถานการณ์
    - ง. **การประยุกต์ใช้ร่วมกับเกณฑ์ซ่อมบำรุงเดิม** โดยเน้นที่ความสามารถในการพิจารณาถึงความเหมาะสมทางด้าน วิศวกรรม สังคม และเศรษฐศาสตร์ ร่วมกัน
    - จ. **ความสอดคล้องกับหลักปฏิบัติของกรมทางหลวง** เป็นการพิจารณาแนวทางสำหรับการแบ่งย่อยกลุ่มปัจจัย ที่นำมาใช้กำหนดเกณฑ์ซ่อมบำรุงให้สอดคล้องกับวิธีหรือข้อกำหนดในปัจจุบันของกรมทางหลวง

แนวทางและข้อแนะนำในการปรับปรุงของผู้เชี่ยวชาญ สามารถสรุปได้ดังนี้ 1) คาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ควรกำหนดในลักษณะช่วงเวลาแทนการระบุเป็นปีที่แน่นอน เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการตัดสินใจ 2) ควรรวมกลุ่มสายทางที่มีระดับปริมาณจราจรและสัดส่วนรถหนักใกล้เคียงกัน มาจัดเป็นกลุ่มเดียวกันเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน และควรระบุคำอธิบายของกลุ่มปริมาณจราจรโดยอ้างอิงจากศัพท์ทางราชการของกรมทางหลวง เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ 3) กลุ่มสายทางที่มีปริมาณ

จราจรสูงควรพิจารณาผลกระทบที่มีต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนเป็นหลัก 4) ควรใช้รูปแบบตารางในการนำเสนอ 5) คาบการซ่อมบำรุงในแต่ละกลุ่มสายทางไม่ควรมีช่วงระยะเวลานานเกิน 3 ปี เนื่องจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเมื่อมีการชะลอหรือเร่งรัดเวลาการซ่อมแซมเกิน 3 ปี อาจมีผลต่อการเพิ่มขึ้นอย่างมากของค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานของสายทาง

ซึ่งข้อเสนอแนะที่กล่าวมาทั้งหมด สามารถนำมาปรับปรุงเกณฑ์การเสริมผิวแอสฟัลท์ได้ดังตารางที่ 6.5-6.7 โดยแบ่งกลุ่มปริมาณจราจรออกเป็น 6 กลุ่ม สัดส่วนรถหนัก 3 กลุ่ม และลักษณะสภาพภูมิประเทศ 3 กลุ่ม รวมทั้งกำหนดคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ให้อยู่ในรูปของช่วงเวลา เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานจริง แต่ทั้งนี้เกณฑ์ดังกล่าวยังเป็นเพียงข้อสรุปทางทฤษฎีโดยอาศัยประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญมาทำการปรับปรุงให้เกิดความยืดหยุ่นและเหมาะสมต่อการใช้งาน แต่ในทางปฏิบัติหน่วยงานไม่สามารถกำหนดเป็นนโยบายที่แน่นอนในทุกครั้งได้ เนื่องจากมีปัจจัยภายนอกอย่างอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องในการร่วมตัดสินใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ดังนั้นในการวางแผนและปฏิบัติงานจึงควรใช้ดุลยพินิจและข้อมูลที่สำคัญประการอื่นมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจ เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบันและอนาคต

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญต่อปัจจัยที่มีอิทธิพลในการตัดสินใจกำหนดนโยบายงานซ่อมบำรุงทางได้ข้อสรุปในภาพรวมว่า ปัจจัยสำคัญที่นำมาใช้ในการตัดสินใจร่วมกับผลกระทบทางด้านวิศวกรรม และเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย 3 ประเด็นหลัก ได้แก่

1. ความรุนแรงของสภาพความเสียหายสายทาง
2. จำนวนงบประมาณที่ได้รับ
3. ความจำเป็นทางสังคมและการพัฒนา

ตารางที่ 6.5-6.7 เป็นเกณฑ์การซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ภายหลังที่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งได้ข้อสรุปว่าคาบการซ่อมบำรุงควรเปลี่ยนมาใช้รูปแบบของช่วงเวลาแทนการกำหนดเป็นปีที่แน่นอน นอกจากนี้ยังทำการรวมกลุ่มสายทางที่มีคาบเวลาการเสริมผิวใกล้เคียงหรือเท่ากันมาจัดเป็นกลุ่มเดียวกันเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน สำหรับในช่องหมายเหตุได้ระบุแนวทางการกำหนดนโยบายซ่อมบำรุงในสายทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 20,000 คันต่อวัน โดยผู้เชี่ยวชาญแนะนำว่า สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 20,000 คันต่อวัน ควรเลือกใช้คาบเวลาสั้นที่สุด เนื่องจากผลกระทบของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีสัดส่วนสูงมาก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.4 ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญที่ลงความเห็นว่า ณ ระดับปริมาณจราจรตั้งแต่ 20,000 คันต่อวันขึ้นไป ควรคำนึงถึงผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ถนนเป็นสำคัญ

ดังที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้าแล้วว่า ปัจจัยเรื่องสภาพความเสียหายของสายทางเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการกำหนดนโยบายซ่อมบำรุง เนื่องจากถนนที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงมักเป็นเส้นทางคมนาคมสายหลักของประเทศ ดังนั้นจึงควรดูแลให้สามารถใช้งานได้ดีตลอดเวลา เพราะความเสียหายของถนนมักเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งต่อการสัญจรของผู้ใช้ทาง และยังรวมถึงความปลอดภัยในขณะขับขี่ ทำให้ในบางสายทางที่มีความเสียหายรุนแรง แม้ว่าจะมีปริมาณจราจรไม่สูง แต่ก็มีความจำเป็นต้องซ่อมบำรุงเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในระดับหนึ่ง

ปัจจัยประการที่สองที่มีความสำคัญอย่างยิ่งได้แก่ จำนวนงบประมาณที่ได้รับจัดสรร เนื่องจากในปัจจุบันสายทางที่ต้องดูแลมีอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้งบประมาณที่ได้รับในแต่ละปีไม่เพียงพอต่อการซ่อมบำรุงให้ครบทุกเส้นทางได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนใช้จ่ายงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ส่งผลให้ในบางสายทางจำเป็นต้องชะลอการซ่อมแซมออกไปแม้ว่าจะครบกำหนดระยะเวลาที่ได้วางแผนไว้แล้วก็ตาม

ประการสุดท้ายเป็นปัจจัยทางด้านสังคมและการพัฒนาชุมชน ส่วนใหญ่การร้องเรียนจากชาวบ้านและผู้ใช้ถนนในแต่ละพื้นที่มักเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องเร่งดำเนินการซ่อมแซม เนื่องจากเส้นทางดังกล่าวเกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่ประจำวันของประชาชนค่อนข้างมาก ตัวอย่างเช่น สายทางดังกล่าวอาจเป็นเส้นทางคมนาคมเพียงเส้นเดียวที่ใช้สำหรับติดต่อกับแหล่งชุมชน หรือเป็นเส้นทางที่มีความจำเป็นทางด้านสาธารณะสุข แม้ว่าปริมาณจราจรจะอยู่ในระดับต่ำ แต่มีความจำเป็นต้องดูแลให้สามารถใช้งานได้ดีอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้สายทางที่มีผลต่อการพัฒนาชุมชน เช่น ถนนที่ใช้เชื่อมโยงเป็นโครงข่ายกับทางหลวงสายหลักอื่นๆ หรือสำหรับใช้ในการรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มักเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดนโยบายงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงในปัจจุบัน

6.3 **ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว** (Sensitivity Analysis)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลกระทบต่อสภาพความเสียหายของสายทาง และปัจจัยจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพเศรษฐกิจ สำหรับปัจจัยทางกายภาพที่นำมาวิเคราะห์ความอ่อนไหวในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ปริมาณจราจร สัดส่วนรถหนัก และลักษณะสภาพภูมิประเทศ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 6.1-6.3 ในส่วนปัจจัยทางเศรษฐกิจจะพิจารณาเฉพาะผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทน ซึ่งคำนวณจากอัตราผลตอบแทนที่ต้องการรวมกับอัตราเงินเฟ้อ สำหรับผลจากการเปลี่ยนแปลงระดับราคาวัสดุและค่าแรงซึ่งถูกชี้วัดโดยดัชนีราคาที่เกี่ยวข้อง พิจารณาใน

ลักษณะของแนวโน้มที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยกำหนดไว้เป็นอัตราคงที่ ดังอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.1.2 (ง) และ 5.1.4 ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ความอ่อนไหวอันเนื่องมาจากผลของการเปลี่ยนแปลงระดับราคาวัสดุและค่าแรง ที่มีต่อคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ในงานวิจัยฉบับนี้

เกณฑ์การกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงในตารางที่ 6.5-6.7 เป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนโดยคำนวณจากอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง ณ ระดับ 9.5% และอัตราเงินเฟ้อ 2.5% ซึ่งเป็นอัตราอ้างอิงที่กรมทางหลวงใช้สำหรับวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการก่อสร้างในปัจจุบัน ดังนั้นอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่นำมาใช้วิเคราะห์จึงมีค่าประมาณ 12% แต่เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจของประเทศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจส่งผลต่อการกำหนดอัตราผลตอบแทนโครงการและทำให้คาบเวลาการซ่อมบำรุงเปลี่ยนแปลงได้ จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ต้องมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ (MARR) ที่มีต่อคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยการวิเคราะห์จะดำเนินการทดสอบ ณ ระดับอัตราตั้งแต่ 4 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 6.8-6.10

ตารางที่ 6.8-6.10 แสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยแบ่งตามกลุ่มปริมาณจราจรและสัดส่วนรถหนักสำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบ จากผลการทดสอบทำให้ทราบในภาพรวมว่า อัตราคิดลดหรือผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ ไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ สังเกตจากเมื่อพิจารณาความแตกต่างของคาบเวลา ณ อัตราผลตอบแทนใดๆเทียบกับระดับ 12% พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (± ไม่เกิน 1 ปี) และเมื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดพบว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 30,000 คันต่อวัน ถ้าอัตราคิดลดสูงเกินกว่า 10% โดยประมาณ จะมีแนวโน้มที่ทำให้คาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ลดลง ในทางตรงข้ามสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า 6,000 คันต่อวัน เมื่ออัตราคิดลดเพิ่มขึ้นโดยประมาณเกินกว่า 13% จะส่งผลให้มีแนวโน้มที่ทำให้คาบเวลาเพิ่มขึ้น โดยข้อสังเกตดังกล่าวเป็นผลสรุปของพฤติกรรมในภาพรวมทั้งหมด ซึ่งในบางลักษณะสายทางอาจมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาที่แตกต่างไป

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทำให้ได้ข้อสรุปว่า อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ในทุกลักษณะสายทาง ทำให้เกณฑ์การซ่อมบำรุงในตารางที่ 6.5-6.7 สามารถนำมาใช้งานได้ในขอบเขตของระดับอัตราผลตอบแทนระหว่าง 4 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคาบเวลาซ่อมบำรุงแต่อย่างใด ซึ่งจะทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการวางแผนและกำหนดนโยบายมากขึ้น

6.4 ความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการใช้งาน

เนื่องจากเกณฑ์ดังกล่าววิเคราะห์โดยคำนึงถึงพฤติกรรมทางเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก ในขณะที่เกณฑ์เดิมเป็นการวิเคราะห์จากพื้นฐานพฤติกรรมของวัสดุผิวทางเป็นสำคัญ ทำให้มุมมองในการใช้งานมีความแตกต่างกัน แบบเดิมพิจารณาถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุผิวทางโดยกำหนดให้คาบเวลาซ่อมบำรุงขึ้นกับระดับความเสียหายของผิวทางดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 2 เหตุผลของการใช้สภาพความเสียหายเป็นตัวกำหนดเนื่องมาจากเกณฑ์ดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นมาเมื่อ 20 กว่าปีที่แล้ว ซึ่งในสมัยก่อนปริมาณจราจรมีน้อยและการพัฒนาประเทศยังไม่รวดเร็วเท่าปัจจุบัน เป็นเหตุให้การคำนึงถึงผลลัพธ์ด้านเศรษฐศาสตร์ไม่มีความจำเป็นเท่าที่ควร แต่ในปัจจุบันประเทศมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนและงบประมาณซ่อมบำรุงของประเทศในระยะยาว ทำให้การพิจารณาถึงผลกระทบดังกล่าวเข้ามามีบทบาทสำคัญในการวางแผนและกำหนดนโยบายงานซ่อมบำรุงทางในปัจจุบัน

สำหรับความเหมาะสมที่นำมาใช้งานขึ้นกับวิธีการกำหนดนโยบายและแนวทางการปฏิบัติของหน่วยงานเพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด นอกจากนี้การคำนึงถึงความสามารถในการประยุกต์ใช้ร่วมกับเกณฑ์เดิมที่มีอยู่ก็มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นนโยบายที่ปฏิบัติมายาวนาน บุคลากรมีความเข้าใจและชำนาญอย่างสูง อีกทั้งการกำหนดแผนซ่อมบำรุงโดยใช้ปัจจัยเรื่องสภาพความเสียหายเป็นเกณฑ์ อาจกล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาโดยมองถึงความจำเป็นทางด้านวิศวกรรมและสังคมเป็นหลัก เนื่องจากเน้นให้ความสำคัญกับคุณภาพของการบริการมากกว่าปัจจัยด้านอื่น ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงควรพิจารณาส่วนดีของแต่ละเกณฑ์แล้วนำมาปรับปรุงให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ นอกจากนี้ในการกำหนดนโยบายควรพิจารณาปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญร่วมด้วย ได้แก่ ปัจจัยเรื่องสภาพบริการที่ยอมรับได้ จำนวนงบประมาณที่ได้รับจัดสรร และความจำเป็นทางด้านสังคมและการพัฒนา ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวางแผนนโยบายซ่อมบำรุง เนื่องจากเกี่ยวข้องทั้งในเรื่องการบริหารงบประมาณที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผลกระทบของสภาพบริการต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนโดยตรง และชีวิตความเป็นอยู่ประจำวันของประชาชนที่ใช้เส้นทางในการสัญจร

ตารางที่ 6.11 เป็นการเปรียบเทียบผลในภาพรวมทั้งหมดที่ได้จากเกณฑ์ซ่อมบำรุงแบบเดิมและเกณฑ์ใหม่ ได้ผลสรุปว่าคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์จากเกณฑ์ใหม่สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า 2,000 คันต่อวัน จะมีระยะเวลานานกว่าเกณฑ์เดิมโดยเฉลี่ยประมาณ 4 ปี ในขณะที่สายทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 20,000 คันต่อวัน มีคาบเวลาสั้นกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 3 ปี

สำหรับกลุ่มปริมาณจราจรระหว่าง 2,000-20,000 คันต่อวัน จะมีความแตกต่างกันตามลักษณะของสายทาง จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นเครื่องบ่งชี้ว่า การวางแผนงานซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสามารถเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับสภาพและลักษณะของแต่ละสายทางโดยขึ้นกับประเด็นที่จะให้ความสำคัญ ตัวอย่างเช่น สายทางที่มีปริมาณจราจรน้อยถ้าต้องคำนึงถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลักก็สามารถชะลอการซ่อมบำรุงโดยนำงบประมาณมาดำเนินการซ่อมแซมสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงก่อน ในทางตรงกันข้ามเมื่อจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบในส่วนอื่นด้วย เช่น ด้านวิศวกรรมหรือสังคม ก็อาจเลือกใช้เกณฑ์เดิมหรือแม้แต่นำเกณฑ์ทั้งสองแบบมาพิจารณาร่วมกัน รวมทั้งนำปัจจัยและข้อเสนอแนะอื่นมาใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือมากขึ้น

จากผลลัพธ์ดังกล่าว การนำเกณฑ์ใหม่มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเกณฑ์เดิมจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการวางแผนและกำหนดนโยบายอย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ และภายหลังจากการปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญทำให้ได้ข้อสรุปว่าเกณฑ์ดังกล่าวมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำมาใช้งานร่วมกับเกณฑ์เดิม และที่สำคัญเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6.11 พบว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 2,000-20,000 คันต่อวัน ซึ่งเป็นสายทางส่วนใหญ่ของกรมทางหลวง ดังนั้นถ้านำเกณฑ์ใหม่มาใช้ประกอบการตัดสินใจร่วมกันจะทำให้การวางแผนมีประสิทธิภาพอย่างมาก เนื่องจากสายทางกลุ่มดังกล่าวมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และวิศวกรรมในระดับใกล้เคียงกัน ทำให้มีส่วนช่วยลดความขัดแย้งในการกำหนดนโยบายระหว่างหน่วยงานที่รับผิดชอบได้ในระดับหนึ่ง

ในปัจจุบันกรมทางหลวงนำระบบบริหารจัดการงานทาง (Thailand Pavement Management System: TPMS) มาใช้สำหรับการจัดลำดับความสำคัญและวิธีการซ่อมบำรุงโดยพิจารณาผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก แต่ระบบดังกล่าวมีข้อจำกัดเรื่องการวางแผนงานซ่อมบำรุงในระยะยาว เนื่องจากต้องทำการเก็บข้อมูล IRI และสภาพความเสียหายตามเกณฑ์ที่กำหนดให้ครบทุกสายทางก่อนจึงสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญได้ จากข้อจำกัดดังกล่าวทำให้ระบบ TPMS สามารถทำการวิเคราะห์ได้เฉพาะในปีงบประมาณที่จะจัดสรรเท่านั้น แต่ไม่สามารถวางแผนหรือคาดการณ์จำนวนเงินงบประมาณที่ต้องใช้ในปีต่อๆไปได้ ดังนั้นการนำเกณฑ์ที่วิเคราะห์ได้ในหัวข้อ 6.1 มาประยุกต์ใช้สำหรับวางแผนร่วมกับระบบ TPMS จะทำให้หน่วยงานสามารถกำหนดทิศทางของนโยบายในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้การพัฒนาโปรแกรมและระบบฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับราคาวัสดุและค่าแรงในอนาคต ซึ่งทำให้เกณฑ์ที่วิเคราะห์ได้

ในปัจจุบันอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในอนาคต ดังนั้นการจัดทำระบบการวิเคราะห์และฐานข้อมูลที่ดีจะช่วยให้สามารถปรับปรุงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว มีความทันสมัย และสอดคล้องในการกำหนดนโยบายให้เหมาะสมกับสถานการณ์

ตารางที่ 6.11: เปรียบเทียบคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ระหว่างเกณฑ์เดิมและเกณฑ์ใหม่ที่มาจากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน

AADT	คาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา (ปี)		ระยะเวลาที่แตกต่างจากเกณฑ์เดิม (ปี)	
	เกณฑ์ใหม่	เกณฑ์เดิม		
< 500	8 – 14	7	+ (1 – 7)	ชะลอจากเกณฑ์เดิม
501 – 2,000	5 - 11	5 - 7	(+4)	
2,001 – 6,000	3 – 9	5	(- 2) / (+ 4)	ยืดหยุ่นตามลักษณะสายทาง
6,001 – 20,000	2 - 6	5	(- 3) / (+ 1)	
20,001 – 50,000	1 – 3	5	- (2 – 4)	เร่งรัดจากเกณฑ์เดิม
> 50,000	1 - 2	5	- (3 – 4)	

หมายเหตุ (-) หมายถึง สามารถชะลอระยะเวลาซ่อมบำรุงจากเกณฑ์เดิม เช่น +(1 – 7) คือ สามารถชะลอการซ่อมแซมภายในระยะเวลา 1-7 ปี จากเกณฑ์เดิม

(-) หมายถึง ควรเร่งรัดระยะเวลาการซ่อมบำรุงจากเกณฑ์เดิม เช่น –(2 – 4) คือ ควรเร่งรัดการซ่อมแซมให้เร็วขึ้นจากเกณฑ์เดิม 2-4 ปี

(+) / (-) หมายถึง อาจชะลอหรือเร่งรัดระยะเวลาการซ่อมบำรุงจากเกณฑ์เดิมโดยพิจารณาจากลักษณะสายทางตามเกณฑ์ในตารางที่ 6.5-6.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนเพื่อนำมากำหนดเกณฑ์สำหรับการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ 50 มม. ผลการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นผลวิเคราะห์โดยละเอียดสำหรับแต่ละลักษณะสายทาง โดยตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย ปริมาณจราจร สัดส่วนรถหนัก และลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1-6.3 ส่วนที่สองเป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนแรกมาขอรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อปรับปรุงให้สอดคล้องและเหมาะสมกับการปฏิบัติงานของกรมทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 6.5-6.7 หัวข้อต่อมาเป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวอันเนื่องมาจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ (MARR) ที่มีต่อคาบเวลาการซ่อมบำรุง ซึ่งได้ข้อสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทนไม่ส่งผลต่อคาบเวลาอย่างมีนัยสำคัญ หัวข้อสุดท้ายเป็นการพิจารณาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการใช้งาน โดยได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญหลายท่าน เพื่อให้ทราบถึงแนวทางที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเกณฑ์เดิมได้อย่างเหมาะสม สำหรับในบทต่อไปเป็นการกล่าวสรุปและข้อเสนอแนะจากการทำวิจัยในครั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

ในช่วงระยะเวลาหนึ่งทศวรรษที่ผ่านมาประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว การเติบโตทางเศรษฐกิจมีอัตราการขยายตัวมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ต่อ GDP ทำให้มีความจำเป็นต้องเร่งก่อสร้างระบบโครงสร้างพื้นฐานมารองรับกับอัตราการเติบโตที่รวดเร็ว ซึ่งถนนเป็นโครงสร้างพื้นฐานอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาประเทศ เนื่องจากเป็นระบบคมนาคมขนส่งที่มีความสะดวกรวดเร็ว และเกี่ยวพันอย่างใกล้ชิดกับความเป็นอยู่ประจำวันของประชาชน ซึ่งกรมทางหลวงเป็นหน่วยงานหนึ่งที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการควบคุมและดำเนินการก่อสร้าง รวมทั้งการบำรุงรักษาสายทางให้มีสภาพเหมาะสม เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ

ในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมารัฐบาลให้ความสำคัญกับการก่อสร้างโครงข่ายทางหลวงอย่างมาก สังเกตได้จากงบประมาณด้านก่อสร้างมีสัดส่วนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของงบประมาณทั้งหมดที่กรมทางหลวงได้รับ ในขณะเดียวกันทางหลวงเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดให้บริการแก่ประชาชนก็มีความจำเป็นที่ต้องดูแลรักษาให้มีสภาพพร้อมใช้งานได้ดีอยู่เสมอ ดังนั้นงานบำรุงรักษาจึงเป็นกิจกรรมหลักอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมาก ในแต่ละปีงบประมาณด้านการบำรุงทางถูกจัดสรรคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของงบประมาณทั้งหมด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนสายทางที่ต้องดูแลในปัจจุบันซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถดำเนินการซ่อมแซมได้อย่างเพียงพอ การใช้เกณฑ์การเสริมผิวแอสฟัลท์แบบเดิมของกรมทางหลวง ที่มุ่งประเด็นเฉพาะผลกระทบเรื่องสภาพความเสียหายของสายทางเป็นหลัก ยังไม่ใช่แนวทางที่มีประสิทธิผลเพียงพอ เนื่องจากไม่ได้พิจารณาถึงผลกระทบโดยรวมที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน ตัวอย่างเช่น ในบางสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ ทำให้สามารถชะลอการซ่อมบำรุงออกไปได้ถ้าพิจารณาถึงผลกระทบของค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด เนื่องจากมีค่าน้อย ในขณะที่บางสายทางที่มีปริมาณจราจรสูง ทำให้มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงและผู้ใช้ทางที่มากกว่า และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถ้าละเลยหรือไม่ได้รับการบำรุงที่เหมาะสม ดังนั้นการกำหนดเกณฑ์ซ่อมบำรุงโดยพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ จึงมีความสำคัญอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการวางแผนและกำหนดนโยบายซ่อมบำรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ที่งบประมาณของประเทศมีจำกัด อีกทั้งเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเกณฑ์ซ่อมบำรุงเดิม ก็ยิ่งทำให้การกำหนดนโยบายสามารถพิจารณาครอบคลุมทั้งปัจจัยด้านวิศวกรรม สังคม และเศรษฐศาสตร์ ควบคู่กัน

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองที่เกี่ยวข้องต่อการวิเคราะห์ โดยอาศัยผลการพยากรณ์สภาพความเสียหายของผิวทาง เพื่อหาคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทางต่ำสุด ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วย แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุง แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน และแบบจำลองการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองมีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ขั้นตอนการเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแบบจำลอง และขั้นตอนการวิเคราะห์ ในส่วนการเลือกปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ พิจารณาจากข้อมูลสนับสนุนของงานวิจัยที่ผ่านมา ความสามารถในการรวบรวมข้อมูลที่มีคุณภาพ รวมถึงความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง ในที่นี้ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะกำหนดขอบเขตสำหรับสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง เนื่องจากเป็นหน่วยงานที่มีสายทางในความรับผิดชอบกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค และส่วนใหญ่เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งสายหลักของประเทศ

การเลือกแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง ได้ใช้ดัชนีความเรียบสากล (IRI) เป็นตัวแปรในการกำหนดสภาพความเสียหายของผิวทาง สำหรับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่า IRI ได้ถูกแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลักได้แก่ ปัจจัยเรื่องอายุบริการของสายทางภายหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ ปัจจัยเรื่องสภาพแวดล้อมซึ่งประกอบด้วยสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ โดยกำหนดจากความลาด-ชันของพื้นที่และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือนตามลำดับ และปัจจัยปริมาณจราจรซึ่งประกอบด้วยปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันและสัดส่วนของรถหนัก โดยรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมอยู่ในลักษณะฟังก์ชัน Exponential โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ระหว่าง 0.6-0.8 ในการวิเคราะห์แบบจำลองดังกล่าวอาศัยการเก็บข้อมูลของสายทางที่มีการซ่อมบำรุงโดยวิธีเสริมและบูรณะผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม.เป็นเกณฑ์ โดยกำหนดความกว้างผิวทางต่อ 2 ช่องจราจร เท่ากับ 7.00 เมตร ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งของแบบจำลองดังกล่าว ในการทำนายสภาพความเสียหายของผิวทางสำหรับลักษณะสายทางแบบอื่น

สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ งานเสริมผิวแอสฟัลท์ และงานบูรณะ โดยกำหนดให้วิเคราะห์เป็นราคาต่อหน่วย (บาทต่อกิโลเมตรต่อปี-ความกว้าง 7.00 เมตร) ส่วนปัจจัยที่ส่งผลกระทบจะพิจารณาแยกตามประเภทของงานบำรุง ประกอบด้วยปัจจัยที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ ได้แก่ อายุบริการของผิวทางภายหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ และปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวอ้างอิงมาจากงานวิจัยของ JICA โดยมีการปรับปรุงให้สอดคล้องกับข้อมูลราคาในปี 2542 สำหรับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์และบูรณะ ได้พิจารณาจากปัจจัยทางเศรษฐกิจเป็นหลักโดย

ไม่ขึ้นกับสภาพความเสียหายของผิวทางดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.1 ทำให้ค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันในแต่ละปีเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของราคาวัสดุและค่าแรงงานบำรุงเท่านั้น

ในส่วนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนอ้างอิงมาจากแบบจำลอง THAI-RUE ซึ่งจัดทำโดยกรมทางหลวง จากนั้นได้ทำการปรับปรุงฐานข้อมูลราคาในแต่ละส่วนของแบบจำลอง โดยอาศัยข้อมูลของปี 2542 เป็นปีฐานสำหรับการวิเคราะห์ สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน ถูกนำมาใช้คำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของสายทาง จากนั้นจึงเปลี่ยนให้อยู่ในรูป Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) เพื่อขจัดปัญหาเรื่องความแตกต่างของระยะเวลาการวิเคราะห์โครงการ

นอกจากปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อสภาพความเสียหายของผิวทางแล้ว การวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายยังพิจารณาถึงผลกระทบจากปัจจัยทางด้านเศษฐกิจด้วย เนื่องจากแบบจำลองที่พัฒนาได้มาจากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลราคาของปี 2542 เป็นปีฐาน ดังนั้นการใช้แบบจำลองดังกล่าวสำหรับวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน อาจไม่สอดคล้องกับแนวโน้มของภาวะเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตได้ เนื่องจากผลของภาวะเศษฐกิจที่มีการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้ราคาวัสดุและค่าแรงมีความแตกต่างกันในแต่ละปี จากสมมติฐานดังกล่าวจึงได้มีการนำดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองแต่ละประเภทมาวิเคราะห์ เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับใช้คาดการณ์แนวโน้มของระดับราคางานบำรุงและค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในอนาคต ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้เก็บรวบรวมย้อนหลัง 10 ปี (ปี 2532-2542) เป็นผลให้แบบจำลองและผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น สำหรับรายละเอียดการวิเคราะห์ได้อธิบายไว้ในบทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า เมื่อเปรียบเทียบคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ที่มาจากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทางกับเกณฑ์เดิม ได้ผลความแตกต่างตามกลุ่มปริมาณจราจรดังนี้ สำหรับกลุ่มปริมาณจราจรต่ำกว่า 2,000 คันต่อวัน คาบเวลาที่ได้จากเกณฑ์ใหม่มีระยะเวลานานกว่าเกณฑ์เดิมโดยเฉลี่ยประมาณ 4 ปี ในขณะที่กลุ่มปริมาณจราจรมากกว่า 20,000 คันต่อวัน คาบเวลาจากเกณฑ์ใหม่จะสั้นกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 3 ปี ส่วนกลุ่มปริมาณจราจรระหว่าง 2,000-20,000 คันต่อวัน จะแตกต่างกันตามลักษณะสายทาง ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างระหว่างเกณฑ์ทั้งสองเป็นผลมาจากผลกระทบของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ซึ่งจะมีสัดส่วนสูงขึ้นเมื่อสายทางมีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น ดังพิจารณาได้จากตารางที่ 6.4 ซึ่งสัดส่วนค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจะสูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณจราจรมากกว่า 1,000 คันต่อวัน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายงานบำรุงทั้งหมดกับผู้ใช้ถนนพบว่า ณ ระดับปริมาณจราจรตั้งแต่ 1,000 คันต่อวันขึ้นไป สัดส่วน

ค่าใช้จ่ายงานบำรุงจะต่ำกว่าผู้ใช้ถนนประมาณ 2 เท่า และเพิ่มขึ้นจนมีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ยถึง 30 เท่า เมื่อระดับปริมาณจราจรมากกว่า 20,000 คันต่อวัน

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ทราบว่า การพิจารณาผลกระทบของผู้ใช้ถนนที่มีต่อคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ จะมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นเมื่อสายทางมีระดับปริมาณจราจรสูงขึ้น ซึ่งความสำคัญดังกล่าวมีผลต่อการกำหนดสภาพบริการต่ำสุดของสายทางที่ยอมรับได้ เพราะในอดีตการพิจารณาจะคำนึงเฉพาะปัจจัยเรื่องสภาพความเสียหายของถนนเป็นหลัก แต่แนวโน้มในปัจจุบันควรต้องคำนึงถึงความพอใจ และผลกระทบที่มีต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนร่วมด้วย เนื่องจากเป็นผู้ได้รับผลประโยชน์จากการใช้งานโดยตรง

การนำเกณฑ์ทั้งสองมาประยุกต์ใช้งานร่วมกันจะเกิดประโยชน์อย่างมากในเรื่องความยืดหยุ่นต่อการกำหนดแผนและนโยบายซ่อมบำรุงให้สอดคล้องและเหมาะสมกับสภาพการณ์จริง ตัวอย่างเช่น ในภาวะที่มีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ การใช้เกณฑ์ใหม่ซึ่งพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก ทำให้สามารถชะลอโครงการที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจน้อย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ เพื่อนำงบประมาณมาใช้ซ่อมบำรุงเส้นทางสายเศรษฐกิจหรือที่มีปริมาณจราจรสูงได้มากขึ้น ในขณะเดียวกันเมื่อต้องคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสังคมร่วมด้วย โดยกำหนดว่าประชาชนทุกคนควรมีสิทธิในการใช้ถนนที่มีสภาพดีในระดับหนึ่งและสามารถยอมรับได้ ทำให้การกำหนดความสำคัญในการซ่อมบำรุง จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยเรื่องสภาพความเสียหายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากต้องซ่อมบำรุงให้ถนนสามารถใช้งานได้ดีแม้ว่าปริมาณจราจรจะอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งการวางแผนซ่อมบำรุงสำหรับสายทางที่มีความจำเป็นทางด้านสังคม ควรนำเกณฑ์เดิมมาพิจารณาร่วมกับเกณฑ์ใหม่สำหรับใช้ในการตัดสินใจเพื่อผลประโยชน์โดยรวมของผู้ใช้ทาง นอกจากนั้นปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญได้แก่ ปัจจัยด้านวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาประเทศ ก็ควรนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบ เพื่อให้สามารถพิจารณาครอบคลุมถึงความจำเป็นในส่วนอื่นได้

7.2 **ข้อเสนอแนะ**

การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยวิธีวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน มีความเหมาะสมอย่างยิ่งเมื่อต้องคำนึงถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ เนื่องจากการวิเคราะห์ได้พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของถนน ซึ่งท้ายที่สุดค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นก็มาจากประชาชนทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นภาษีที่ต้องเสียให้กับรัฐเพื่อนำมาจัดสรรเป็นงบประมาณซ่อมบำรุง หรือค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียเมื่อต้องเดินทาง ซึ่งได้แก่ค่าใช้จ่ายการใช้รถและเวลาใน

การเดินทาง ดังนั้นการใช้เกณฑ์ดังกล่าวมาประยุกต์ร่วมกับเกณฑ์เดิมจะทำให้สามารถพิจารณาครอบคลุมทั้งในเรื่องผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางสังคมควบคู่กัน

การวิจัยในครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องวิธีการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาที่นำมาใช้วิเคราะห์ เนื่องจากพิจารณาเฉพาะวิธีการเสริมผิวแอสฟัลท์หนา 50 มม. เพราะเป็นวิธีซ่อมบำรุงหลักของกรมทางหลวงในปัจจุบัน แต่ในอนาคตเทคโนโลยีการซ่อมบำรุงมีการพัฒนามากขึ้น ทำให้มีวิธีการอย่างอื่นที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงกระบวนการแบบใหม่ที่ถูกนำมาใช้งาน เช่น วิธีการ Recycling เป็นต้น แต่ทั้งนี้วิธีการเสริมผิวแอสฟัลท์แบบเดิมก็ยังมีความจำเป็น เนื่องจากได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิผลทั้งในทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ **ประการที่สอง** แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางที่นำมาใช้วิเคราะห์ ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบจากการฉาบผิวแอสฟัลท์ (Seal Coating) ซึ่งในความเป็นจริงอาจมีผลต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาถึงผลกระทบจากปัจจัยเรื่องการฉาบผิวเพิ่มเติม เพื่อให้แบบจำลองมีความเที่ยงตรงมากขึ้น **ประการที่สาม** ดัชนีที่นำมากำหนดสภาพความเสียหายของผิวทางซึ่งได้แก่ ค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) จะสะท้อนเฉพาะสภาพบริการเท่านั้น แต่ไม่สามารถแสดงถึงพฤติกรรมความเสียหายของโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งข้อด้อยดังกล่าวทำให้การกำหนดวิธีซ่อมบำรุงอาจไม่สอดคล้องกับสภาพความเสียหายที่แท้จริง ดังนั้นงานวิจัยต่อไปที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมคือ การจัดทำดัชนีที่สามารถสะท้อนได้ทั้งพฤติกรรมของสภาพบริการและความเสียหายต่อโครงสร้างชั้นทางที่น่าเชื่อถือเพียงพอ รวมทั้งพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดสภาพความเสียหายได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ **ประการที่สี่** การวิเคราะห์แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายอาศัยข้อมูลในอดีตเพื่อใช้ทำนายแนวโน้มในอนาคต ซึ่งสภาพเศรษฐกิจที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้ระดับราคาวัสดุและค่าแรงที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์อาจเปลี่ยนแปลงไปจากสมมติฐานเดิม ดังนั้นเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการใช้งาน จึงควรจัดทำโปรแกรมและระบบฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการคำนวณ Life-Cycle Cost และวิเคราะห์ความอ่อนไหวในกรณีที่ปัจจัยต่างๆเกิดการเปลี่ยนแปลงในอนาคต อันจะทำให้การกำหนดนโยบายซ่อมบำรุงอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่ทันสมัย และน่าเชื่อถือตลอดเวลา **ประการสุดท้าย** เป็นการพัฒนาระบบบริหารจัดการงานบำรุงทาง (Pavement Management System) ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นในส่วนระบบฐานข้อมูล ระบบการวิเคราะห์และการตัดสินใจ รวมถึงระบบการจัดสรรงบประมาณ (Budgeting Module) ซึ่งในปัจจุบันระบบดังกล่าวยังมีข้อจำกัดหลายอย่างที่ต้องปรับปรุงให้เหมาะสมต่อการใช้งานจริงในประเทศไทย

เนื่องจากการพัฒนาเกณฑ์ซ่อมบำรุงดังกล่าว อ้างอิงมาจากข้อมูลและแนวทางปฏิบัติของกรมทางหลวงเป็นหลัก ทำให้ในเบื้องต้นอาจเหมาะสมสำหรับการใช้งานกับสายทางที่อยู่ในความรับผิด

ชอบของกรมทางหลวงเท่านั้น แต่แนวคิดเรื่องกระบวนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน (Life-Cycle Cost Analysis) ต่อการกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุง สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้กับโครงสร้างพื้นฐานประเภทอื่น ไม่ว่าจะเป็น สะพาน ทางด่วน อุโมงค์ ระบบบำบัดน้ำเสีย หรือรางรถไฟ เป็นต้น อีกทั้งในอนาคตถ้าหน่วยงานของรัฐหรือเอกชนอื่นได้เล็งเห็นถึงความสำคัญต่อการนำเอาแนวทางและวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งาน สำหรับกำหนดแนวทางการวางแผนและนโยบายซ่อมบำรุง ก็สามารถนำหลักการและแนวทางการทำวิจัยนี้มาประยุกต์เพื่อความเหมาะสมต่อการดำเนินงานขององค์กรต่อไปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมทางหลวง. 2526. คู่มือการศึกษาและวิเคราะห์ความเหมาะสมโครงการก่อสร้างและปรับปรุงทาง. กรุงเทพมหานคร: สำนักแผนและโครงการทางหลวง.

กรมทางหลวง. 2531. ระบบการบริหารจัดการงานบำรุงทางและคู่มือระบบ BSM. กรุงเทพมหานคร: กองบำรุง.

กรมทางหลวง. 2538. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางปะอิน - นครราชสีมา. กรุงเทพมหานคร: สำนักแผนและโครงการทางหลวง.

กรมทางหลวง. 2539. การปรับปรุงการคิดค่าปริมาณงานและค่าบำรุงปกติของผิวทางแอสฟัลท์และคอนกรีต. รายงานฉบับที่ วพ.155. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง.

กรมทางหลวง. 2540. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการก่อสร้างทางสายหลักเป็น 4 ช่องจราจร ระยะที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักแผนและโครงการทางหลวง.

กรมทางหลวง. 2542. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านจราจรของโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง. กรุงเทพมหานคร: สำนักแผนและโครงการทางหลวง.

กรมทางหลวง. 2542. มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักสำรวจและออกแบบ.

กัลยา วนิชย์บัญชา. 2542. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS for Windows. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศณุ ทรัพย์สมพล และคณะ. 2543. การพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยางโดยวิธีใช้ค่า IRI ในประเทศไทย. วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 11 ฉบับที่ 4: 29-35.

วัฒนา สุนทรธัย. 2542. เรียนสถิติด้วย SPSS ภาคสถิติอิงพารามิเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์วิทยพัฒน์.

แสงชัย เทพสิทธิทรากรณ์. 2534. ความเรียบของถนน (Road Roughness). ในรายงานการสัมมนาทางวิชาการประจำปี. สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กรุงเทพมหานคร.

สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า. 2542. ข้อมูลดัชนีราคาผู้ผลิตของประเทศตามกิจกรรมการผลิต และดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไป ระหว่างปี 2538 - 2542 . กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์.

ภาษาอังกฤษ

Abdullah, I., Al-Mansour, and Kumares, C. S. 1994. Economic Analysis of Effectiveness of Pavement Preventive Maintenance. Transportation Research Record 1442: 31-37.

Al-Suleiman, T. I., Kheder, M. S., and Al-Masaeid, H. R. 1992. Development of Pavement Performance Models for Rural Roads. Road and Transport Research Vol. 1, No. 4: 88-101.

Collura, J., Spring, G., and Black, B. K. 1993. Service Lives and Costs of Local Highway Maintenance and Rehabilitation Treatments. Transportation Research Record 1397: 90-95.

Decision Methodology for Maintenance and Upgrading: Costs, Traffic, and Benefits. 1980. TRB Commission on Sociotechnical Systems Compendium 11: 3-118.

Department of Highways. 1993. Vehicle Operating Cost in Thailand. Bangkok.

Department of Highways. 1995. Long-Term Strategic Study of Highway Planning and Investment. Bangkok, May.

Department of Highways. 1998. Thailand Road User Effects Model. Bangkok, August.

Essam, A. S., et al. 1991. Development of Methodology to Estimate Pavement Maintenance and Repair Costs for Different Ranges of Pavement Condition Index. Transportation Research Record 1123: 30-39.

Friedrich, W.J. 1986. Modeling of Life-Cycle Costs of Pavement Rehabilitation.Transportation Research Record 1060: 1-8.

George, K. P., Rajagopal, A. S., and Lim, L. K. 1989. Models for Predicting Pavement Deterioration. Transportation Research Record 1215: 7-14.

Hajek, J. J., Phang, W. A., and Prakash, A. 1990. Estimating the Life of Asphalt Overlays Using Long-Term Pavement Performance Data. Transportation Research Record 1117: 143-151.

Lee, Ying-Haur, Mohseni, A., and Darter, M. I. 1993. Simplified Pavement Performance Models. Transportation Research Record 1397: 7-14.

Mamlouk, S. M., Zaniewski, P. J., and He, W. 2000. Analysis and Design Optimization of Flexible Pavement. Journal of Transportation Engineering March/April: 161-167.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Markow, J. M. 1990. Life-Cycle Cost Evaluation of the Effects of Pavement Maintenance. Transportation Research Record 1276: 37-47.

Martin, C. T. 1994. Pavement Behaviour Prediction for Life-Cycle Costing. Research Report ARR No. 255, December.

Martin, C. T. 1996. A Review of Existing Pavement Performance Relationships. Research Report ARR No. 282, June.

Paterson, William D.O. 1987. Road Deterioration and Maintenance Effects: Model for Planning and Management. The Highway Design and Maintenance Standard Study Transportation Department, The World Bank, Washington, D.C.

Raithby, K.D. and Sterling, A.B. 1972. Some Effects of Loading History on the Fatigue Performance of Rolled Asphalt. Transport and Road Research Laboratory 496, Department of the Environment, Structural Properties Division, Crowthorne, Berkshive.

Rajagopal, A.S. and George, K.P.1991. Pavement Maintenance Effectiveness.Transportation Research Record 1276: 62-68.

Ramaswamy, R. and Ben-Akiva, M. 1990. Estimation of Highway Pavement Deterioration from In-service Pavement Data. Transportation Research Record 1272: 96-106.

Reno, A. T., Hyman, W. A., and Shaw, M. E. 1994. Guidelines for Effective Maintenance – Budgeting Strategies. NCHRP 366: 37-38.

Robert, J. and Roper, R. 1998. The ARRB Integrated Project Level Pavement Performance and Life-Cycle Costing Model for Sealed Granular Pavements. Research Report ARR No. 324, September.

Watanatada, T., Dhareshwer, A. M., and Rezenda Lima, P. R. S. 1987. Vehicle Speeds and Operating Costs: Models for Road Planning and Management. The Highway Design and Maintenance Standard Study Transportation Department, The World Bank, Washington, D.C.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกณฑ์การกำหนดสภาพความเสียหายและมาตรฐานชั้นทาง สำหรับทางหลวงทั่วประเทศ

เกณฑ์การกำหนดสภาพความเสียหาย

เกณฑ์การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์ในปัจจุบันของกรมทางหลวง พิจารณาจากผลกระทบเรื่องสภาพความเสียหายของสายทางเป็นหลัก (Deterioration Basis) ซึ่งวิธีการตัดสินใจซ่อมบำรุงสามารถทำได้โดยการคำนวณพื้นที่ความเสียหายแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยทำการแบ่งประเภทความเสียหายของผิวจราจรออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. ความเสียหายเบาที่ผิวจราจร (Minor Carriageway Deterioration)
2. ความเสียหายหนักที่ผิวจราจร (Major Carriageway Deterioration)

1. ความเสียหายเบาที่ผิวจราจร

กรมทางหลวงได้ทำการกำหนดหลักเกณฑ์สำหรับพิจารณาชนิดและสภาพความเสียหายไว้ 3 ประเภท ได้แก่

ก. พื้นที่ที่มีรอยแตกแบบไม่ต่อเนื่อง สำหรับทางหลวงบางชนิดอาจมีรอยแตกเส้นเดียวในทางตามยาวหรือตามขวางของสายทาง ในกรณีดังกล่าวให้ถือว่าเป็นความเสียหายเบาและพื้นที่รอยแตกคำนวณโดยใช้ความยาวของรอยแตกคูณด้วย 0.5 เมตร ถ้าเป็นรอยแตกขนานห่างกันไม่เกิน 0.5 เมตร ให้วัดพื้นที่โดยตีกรอบสี่เหลี่ยมขนานกับรอยแตกโดยให้ออกจากรอยแตกไปด้านนอกข้างละ 0.25 เมตร

ข. พื้นที่ที่มียางซึมขึ้นบนผิว (Bleeding) สังเกตได้โดย

- มีรอยของยางรถปรากฏอยู่
- ไม่สามารถมองเห็นหินผสมปรากฏบนผิวหน้าได้ เนื่องจากยางซึมขึ้นปิด
- หรือใช้เหรียญ 5 บาท วางลงบนผิวแล้วใช้เท้าเหยียบประมาณ 10 วินาที ถ้ามีรอยวงกลมของเหรียญปรากฏบนผิวให้ถือว่ายางซึมขึ้น

ค. พื้นที่ที่มีหินหลุดล่อนเกินกว่าร้อยละ 20 ในบางกรณีการหลุดล่อนนี้อาจเป็นแนวยาวแคบๆ โดยพื้นที่ที่ทำการวัดควรใช้ความยาว 0.5 เมตร แต่ถ้ามี 2 แนวใกล้กัน ให้วัดแบบวิธีวัดรอยแตกขนานดังข้อ ก.

2. ความเสียหายหนักที่ผิวจราจร

กรมทางหลวงได้กำหนดชนิดของความเสียหายหนักไว้ 4 ประเภท ได้แก่

ก. พื้นที่ที่เกิดหลุมบ่อ (Potholing) หรือพื้นที่ที่หินหลุดลอกลึกเกิน 20 มม.

ข. พื้นที่มีรอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected Cracking) โดยไม่รวมกับพื้นที่เสียหายเบาหรือรอยแตกที่ไม่ต่อเนื่องแต่ขนานกันและห่างกันไม่เกิน 50 มม.

ค. รอยปะ (Patching) ที่สูงกว่าผิวทางเดิมเกิน 20 มม.

ง. พื้นที่ที่มีการยุบตัว ทำให้พื้นที่ข้างเคียงสูงกว่าระดับผิวทางเดิม โดยทั่วไปในข้อนี้ไม่รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากร่องล้อ แต่ถ้าความเสียหายที่เกิดจากร่องล้อลึกเกินกว่า 100 มม. ให้ถือเป็นความเสียหายหนักด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1: มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ

ชั้นทาง	พิเศษ	1	2	3	4	5	เขตเมือง	ทางขนาน
ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน	มากกว่า 8,000	4,000 - 8,000	2,000 - 4,000	1,000 - 2,000	300 - 1,000	น้อยกว่า 300	-	-
อัตราความเร็วที่ใช้ออกแบบ กม./ชม.								
- ทางราบ	90 - 110				70 - 90	60 - 80	60	70 - 80
- ทางเนิน	80 - 110				55 - 70	50 - 60	60	70 - 80
- ทางเขา	70 - 90				40 - 55	30 - 50	60	60 - 70
ความลาดชันสูงสุด %								
- ทางราบ	4	4			4	4	ตามสภาพพื้นที่	4
- ทางเนิน	6	6			8	8	ตามสภาพพื้นที่	6
- ทางเขา	6	8			12	12	ตามสภาพพื้นที่	8
ประเภทผิวทางจราจรที่เสนอแนะและไหล่ทาง	ชั้นสูง			กลาง-สูง		ลูกรัง	ชั้นสูง	กลาง - สูง
ความกว้างของผิวจราจร (เมตร)	อย่างน้อย ข้างละ 7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	ช่องจราจรละ 3.00 - 3.50	ช่วงจราจรละ 3.00 - 3.50
ความกว้างของไหล่ทาง (เมตร)	ซ้าย 2.50-3.00 ขวา 1.00-1.50	2.50	2.00	1.50	1.00	-	2.50 หรือเป็นทางเท้า	อย่างน้อย 2.00 ม. หรือเป็นทางเท้า
ความกว้างของผิวจราจรสะพาน (เมตร)	11.00 (MIN)	12.00	11.00	11.00	11.00	11.00	สะพานกว้างตามรูปแบบ ULTIMATE DESIGN หรืออย่างน้อย 11.00 ม.	
ความกว้างของเขตทาง (เมตร)	60 - 80		40 - 60		30 - 40		ตามความเหมาะสม	-
ยกโค้งราบสูงสุด	10%						6%	10%

หมายเหตุ: มาตรฐานทางชั้น 4 และ 5 ไม่แนะนำสำหรับทางหลวงแผ่นดิน

ที่มา: สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง 2542

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

1. แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนแบ่งตามประเภทยานพาหนะ

แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่นำเสนอมาจากการวิเคราะห์โดยการแทนค่าคงที่ต่างๆลงในแต่ละส่วนของแบบจำลอง HDM-III แล้วนำมาหารูปแบบความสัมพันธ์กับค่า IRI โดยวิธีวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อใช้เป็นแบบจำลองมาตรฐานสำหรับการใช้งาน สำหรับรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบของแบบจำลองการคำนวณค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนได้อธิบายโดยแยกประเภทไว้ในหัวข้อถัดไป

Passenger Car:

$$RUC_{PC} = 0.0284IRI^2+0.1861IRI+3.3215 \qquad R^2 = 0.957 \qquad (ข.1)$$

Light Truck:

$$RUC_{LT} = 0.0201IRI^2+0.1585IRI+2.4446 \qquad R^2 = 0.962 \qquad (ข.2)$$

Medium Truck:

$$RUC_{MT} = 0.0055IRI^2+0.4698IRI+4.0503 \qquad R^2 = 0.999 \qquad (ข.3)$$

Heavy Truck:

$$RUC_{HT} = 0.0068IRI^2+0.4924IRI+6.8310 \qquad R^2 = 0.999 \qquad (ข.4)$$

Light Bus:

$$RUC_{LB} = 0.0324IRI^2+0.1601IRI+4.3524 \qquad R^2 = 0.972 \qquad (ข.5)$$

Heavy Bus:

$$RUC_{HB} = 0.0919IRI^2+0.3856IRI+20.8227 \qquad R^2 = 0.998 \qquad (ข.6)$$

เมื่อ RUC = ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนอ้างอิงจากราคาในปี 2542 (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

IRI = ดัชนีความเรียบสากล (เมตรต่อกิโลเมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. FUEL CONSUMPTION MODEL

$$FUEL = b_o + b_1 IRI + b_2 GR \quad (ข.7)$$

$$FUEL_{min} = C_o IRI \quad (ข.8)$$

where FUEL = fuel consumption in lite/km.

$FUEL_{min}$ = minimum fuel consumption in lite/km.

GR = gradient in percent (%)

IRI = roughness in IRI (m./km.)

b_0, b_1, b_2, C_0 = fuel model constants based on vehicle type

ตารางที่ ข-1: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

Vehicle Type	b_0	b_1	b_2	C_0
PC	0.0238	0.00328	0.0156	0.002259
LB	0.0322	0.0042	0.0212	0.002867
HB	0.138	0.0127	0.161	0.005096
LT	0.0256	0.00397	0.01687	0.002824
MT	0.05115	0.00652	0.0597	0.003446
HT	0.178	0.0185	0.208	0.006179

3. LUBRICANT CONSUMPTION MODEL

$$AOIL = \frac{1}{1{,}000}\left[CO_o + 0.151 IRI\right] \quad (ข.9)$$

where AOIL = volume of lubricant consumed per km (lites/km.)

IRI = roughness is IRI (m./km.)

CO_0 = consumption model parameters based on vehicle type

ตารางที่ ข-2: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

Vehicle Type	CO_0
PC	0.05
LT	0.25
MT	0.95
HT	1.55
LB	0.95
HB	1.55

4. TYRE CONSUMTION MODEL

For Passenger Cars, Light Trucks and Light Buses

$$TYRE = \frac{NTV}{1{,}000}\left[0.0169 + 0.001781\ IRI\right] \quad 0 < IRI < 12.30 \qquad (ข.10)$$

$$= \frac{0.0388\,NTV}{1{,}000} \quad IRI \geq 12.30 \qquad (ข.11)$$

where TYRE = number of tyres consumed per km (No./km.)

NTV = number of tyres per vehicle (No.)

For Medium Trucks, Heavy Trucks and Heavy Buses

$$TYRE = \frac{NTV}{1{,}000}\left[\frac{(1 + 0.25NR)}{(1 + NR)} . \frac{TW}{VOL} + 0.0027\right] \qquad (ข.12)$$

$$NR = 1.30e^{(-0.03224\,IRI)-1} = 0.478e^{-0.03224\,IRI} \qquad (ข.13)$$

where NR = predicted number of carcass retreadings (No.)

VOL = average volume of wearable rubber per tyre (dm^3)

TW = predicted volume of rubber loss (dm^3/1000 tire – km)

ตารางที่ ข-3: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองอัตราการสิ้นเปลืองยางรถ

Vehicle Type	NTV	TW	VOL	TW/VOL
PC	4	-	-	-
LT	4	-	-	-
LB	4	-	-	-
MT	6	0.1484	12.16	0.01220
HT	10	0.1177	14.30	0.00823
HB	6	0.0720	13.80	0.00522

5. VEHICLE MAINTENANCE PART COST MODEL

For Passenger Cars, Light Tucks and Light Buses

$$\text{Maint} = b_0 e^{b_1 IRI} \qquad IRI \leq 9.23 \qquad \text{(ข.14)}$$

$$= C_0 + C_1 IRI \qquad IRI > 9.23 \qquad \text{(ข.15)}$$

ตารางที่ ข-4: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองค่าใช้จ่ายอะไหล่สำหรับยานพาหนะบรรทุกเบา

Vehicle Type	b_0	b_1	C_0	C_1
PC	0.000697	0.178	0.00232	0.000642
LT	0.000618	0.178	0.00206	0.000569
LB	0.000575	0.178	0.00192	0.000530

For Medium Trucks, Heavy Trucks and Heavy Buses

$$\text{Maint} = a_0 + a_1 IRI \qquad IRI > 0 \qquad \text{(ข.16)}$$

$$= d_0 e^{d_1 IRI} \qquad IRI > 0 \qquad \text{(ข.17)}$$

ตารางที่ ข-5: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองค่าใช้จ่ายอะไหล่สำหรับยานพาหนะบรรทุกหนัก

Vehicle Type	a_0	a_1	d_o	d_1
MT	0.000104	0.000340	-	-
HT	0.000229	0.000105	-	-
HB	-	-	0.000255	0.0463

where Maint = part cost per 1000 km. as a fraction of the new vehicle price

b_o, b_1, C_o, C_1 = constant parameter base on vehicle type

6. VEHICLE MAINTENANCE LABOUR HOURS MODEL

For Passenger Cars, Light Trucks and Light Buses

$$LH = a_0 e^{a_1 IRI} \qquad IRI \leq 9.23 \qquad \text{(ข.18)}$$

$$= b_0[\, b_1 + b_2 IRI \,]^{b_3} \qquad IRI > 9.23 \qquad \text{(ข.19)}$$

where LH = predicted number of maintenance hours per 1000 km.
(Hrs./1000 km.)

IRI = roughness in IRI (m./km)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-6: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองชั่วโมงซ่อมบำรุงสำหรับยานพาหนะประเภทบรรทุกเบา

Vehicle Type	a_0	a_1	b_0	b_1	b_2	b_3
PC	5.147	0.0974	274.36	0.00232	0.000642	0.547
LT	2.912	0.0974	165.47	0.00206	0.000569	0.547
LB	2.554	0.0974	151.13	0.00192	0.000530	0.547

For Medium Trucks, Heavy Trucks and Heavy Buses

$$LH = C_0 [C_1 + C_2 IRI]^{C_3} \qquad IRI > 0 \qquad \text{(ข.20)}$$

$$= d_0 e^{d_1 IRI} \qquad IRI > 0 \qquad \text{(ข.21)}$$

ตารางที่ ข-7: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองชั่วโมงซ่อมบำรุงสำหรับยานพาหนะประเภทบรรทุกหนัก

Vehicle Type	C_0	C_1	C_2	C_3	d_0	d_1
MT	276.17	0.000104	0.000340	0.519	-	-
HT	440.71	0.000229	0.000105	0.519	-	-
HB	-	-	-	-	10.925	0.0954

7. DEPRECIATION COST MODEL

$$DEPCST = \frac{0.85\,NVPLT}{LIFEKM_0} \qquad 0 < IRI < 1.8 \qquad \text{(ข.22)}$$

$$= \frac{0.85\,NVPLT}{LIFEKM_0}\left[1 + e^{\left[\frac{-65.8553}{IRI^{1.9194}}\right]}\right] \qquad 1.8 \leq IRI \leq 5 \qquad \text{(ข.23)}$$

$$= \frac{(0.8 + 0.01IRI)NVPLT}{LIFEKM_0}\left[1 + e\left[\frac{-65.8553}{IRI^{1.9194}}\right]\right] \qquad 5 < IRI < 18 \quad (ข.24)$$

$$= \frac{0.98NVPLT}{LIFEKM_0}\left[1 + e\left[\frac{-65.8553}{IRI^{1.9194}}\right]\right] \qquad IRI \geq 18 \quad (ข.25)$$

where DEPCST = depreciation cost in (cost/km.)

NVPLT = replacement vehicle price less tyres

$LIFEKM_0$ = lifetime kilometreage in km/life

IRI = roughness in IRI (m./km.)

ตารางที่ ข-8: ระยะทางการใช้งานเฉลี่ยตลอดอายุยานพาหนะแต่ละประเภท

Vehicle Type	$LIFEKM_0$
PC	230,000
LT	240,000
MT	480,000
HT	1,200,000
LB	272,000
HB	840,000

8. INTEREST COST MODEL

$$INTCST = \frac{0.5.i.NVPLT}{AKM.} \qquad (ข.26)$$

where INTCST = interest cost in cost/km.

i = interest rate for leasing new vehicle as a decimal

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NVPLT = new vehicle price less tyre

AKM = average annual utilization in km/yr.

The model used to compute the average annual utilization is “Adjusted Utilization Method” which assumes each vehicle to operate on the section under consideration as fixed route over the analysis year.

$$AKM = \frac{AKM_0 HRD_0}{\left[HRD_0(1-HURATIO) + \left[\frac{AKM_0 . HURATIO}{V}\right]\right]} \quad \text{(ข.27)}$$

where AKM_0 = user – specified baseline average number of kilometers driven per vehicle per year

HRD_0 = user – specified number of hours driven per vehicle per year

HURATIO = user – specified hourly utilization ratio

V = speed of vehicle (km/h.)

ตารางที่ ข-9: อัตราส่วนชั่วโมงการใช้งานของยานพาหนะแต่ละประเภท

Vehicle Type	Hourly Utilization Ratio
PC	0.60
LT	0.80
LB, MB, HB	0.75
MT, HT	0.85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

So, $$INTCST = \frac{(i.NVPLT)(a_0 + a_1 IRI)}{a_2} . (FAC_{adj}) \quad \text{(ข.28)}$$

where NVPLT = new vehicle price less tyre

i = leasing interest rate for new vehicle as a decimal

IRI = roughness in IRI (m./km.)

a_0, a_1, a_2 = constant model parameter based on vehicle type

FAC_{adj} = adjusted factor for Thailand calibration

ตารางที่ ข-10: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองค่าใช้จ่ายดอกเบี้ยยานพาหนะแต่ละประเภท

Vehicle Type	a_0	a_1	a_2	FAC_{adj}
PC	1420	21.72	163×10^6	2.411
LB	862.5	40.73	176×10^6	2.659
HB	1162.5	93.17	651×10^6	3.230
LT	550	37.77	165×10^6	4.140
MT	435	54.31	232×10^6	4.950
HT	540	128.22	612×10^6	3.900

9. CREW TIME COST MODEL

The crew time expresses the crew requirement hours per km.-vehicle (CRH) as the number of crew-hours spent traveling per km.-vehicle. So, CRH is given by:

$$CRH = \frac{1}{V_{ss}}$$

$$= \frac{\left[C_1 + C_2 IRI^{C_3}\right]^{C_4}}{C_0} \text{ (hr./km.)} \qquad \text{(ข.29)}$$

where V_{ss} = steady – state vehicle speed in km./hr.

IRI = roughness in IRI (m./km.)

C_0 to C_4 = model parameter from Table ค-2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{Crew Cost} = CRH \cdot T_c$$

$$= \frac{T_c\left[C_1 + C_2 IRI^{C_3}\right]^{C_4}}{C_0} \qquad \text{(ข.30)}$$

where T_c = crew cost per hour-vehicle (Baht/hr.-vehicle)

ตารางที่ ข-11: อัตราค่าแรงชั่วโมงทำงานเฉลี่ยของพนักงานประจำรถแต่ละประเภท

Vehicle Type	Crew Cost in Baht/hr.-vehicle	
	Financial	Economic
LT	39.4	35.46
MT	85.6	77.04
HT	91.6	82.44
LB	46.3	41.67
HB	174.8	157.32

10. PASSENGER TIME COST MODEL

The passenger time expresses the passenger delays per km.-vehicle (PXH) as the number of passenger-hours spent traveling per km.-vehicle. So, PXH is given by:

$$PXH = \frac{PAX}{V_{ss}}$$

$$= \frac{PAX\left[C_1 + C_2 IRI^{C_3}\right]^{C_4}}{C_0} \quad \text{(hr./km.)} \qquad \text{(ข.31)}$$

where V_{ss} = steady - state vehicle speed in km./hr.

PAX = user - specified average number of passengers per vehicle

IRI = roughness in IRI (m./km.)

C_0 to C_4 = model parameter from Table ค-2

Passenger Time Cost = PXH . UPT_c

$$= \frac{UPT_c PAX\left[C_1 + C_2 IRI^{C_3}\right]^{C_4}}{C_0} \qquad \text{(ข.32)}$$

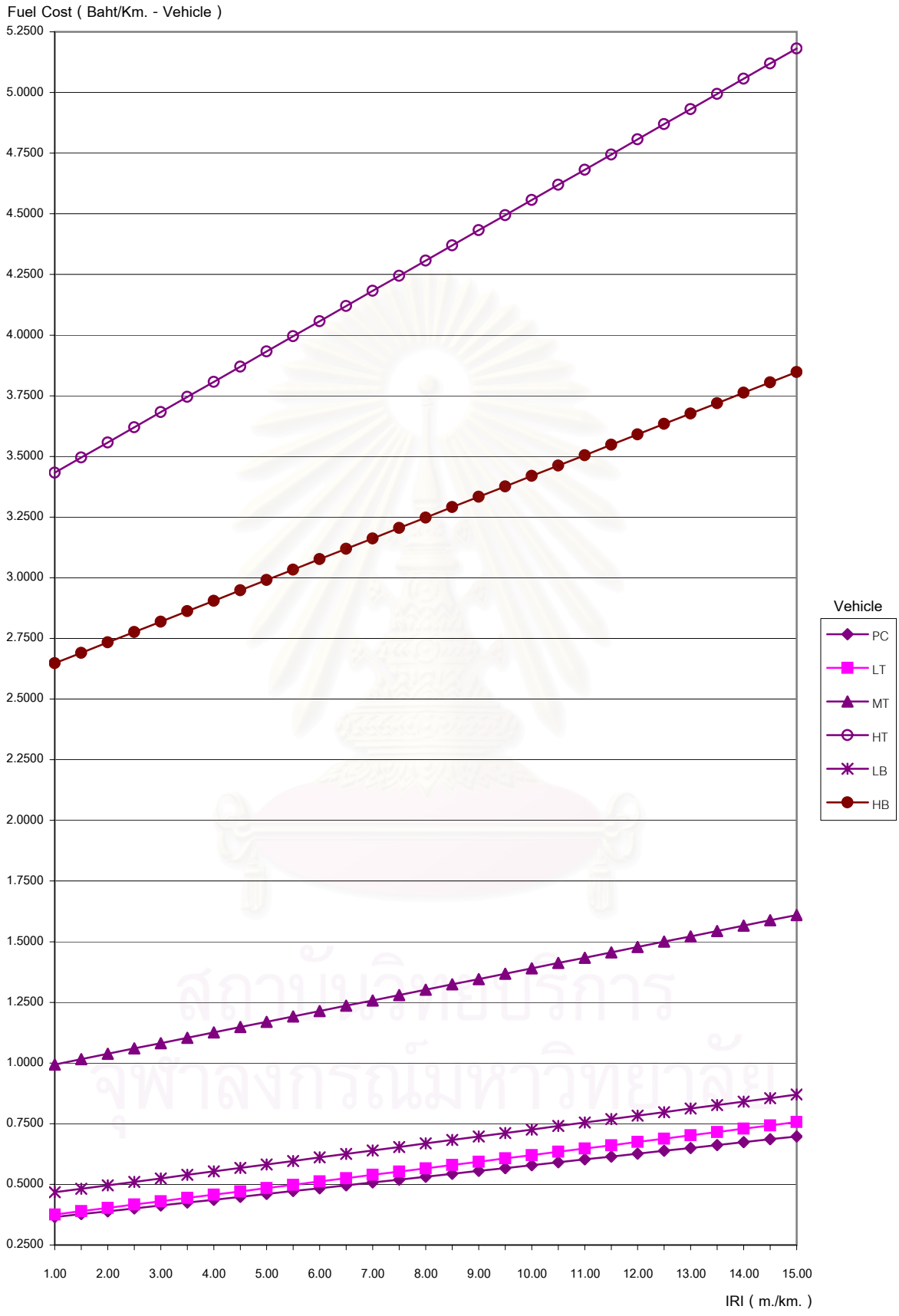
where UPT_c = unit passenger time cost per hour/person

UPT_c . PAX = total passenger time cost per hour/vehicle

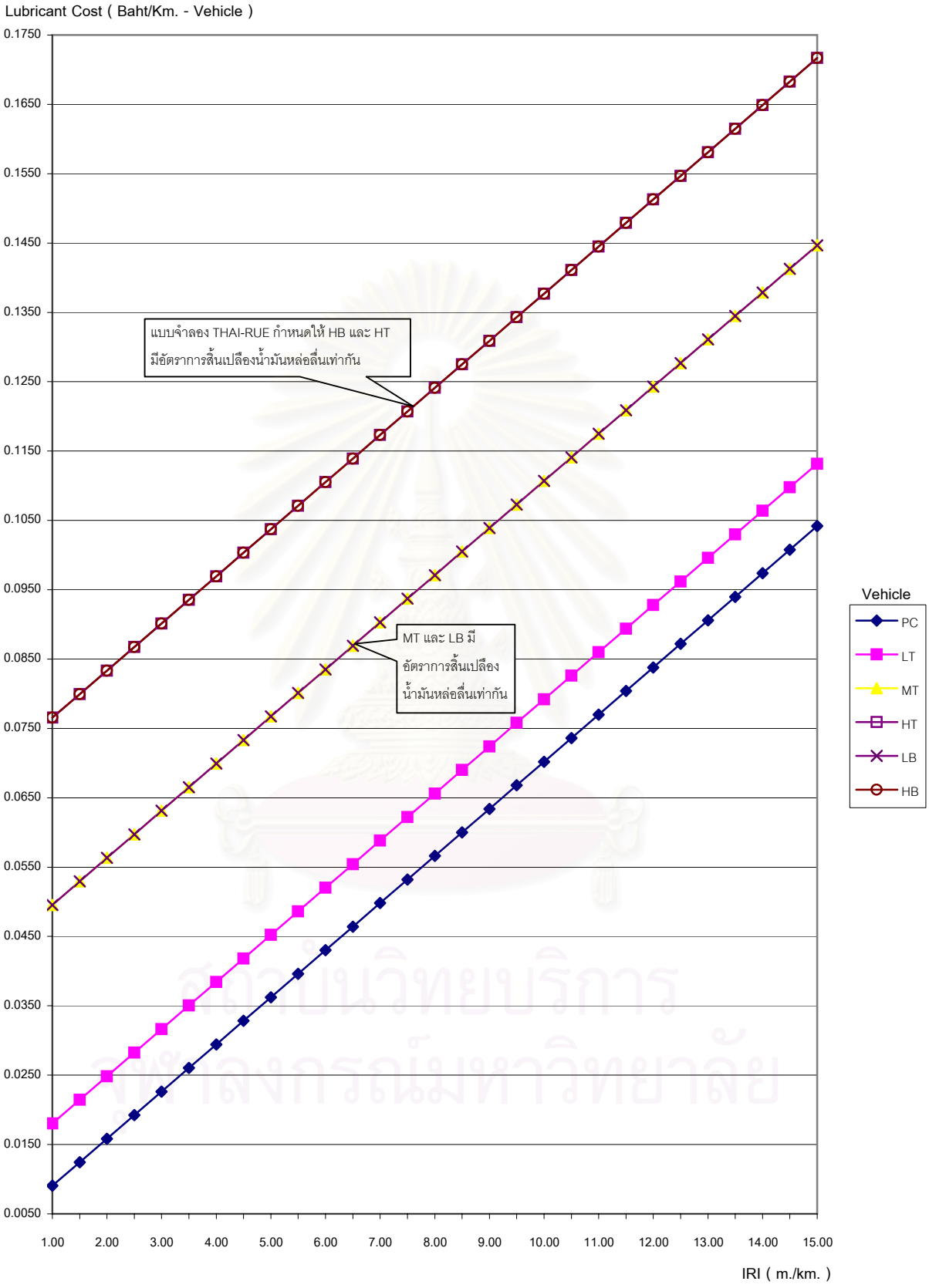
ตารางที่ ข-12: อัตราค่าแรงชั่วโมงทำงานเฉลี่ยของผู้โดยสารแบ่งตามประเภทยานพาหนะ

Vehicle Type	PAX	UPT_c (Baht/hr.)		PAX . UPT_c (Baht/hr.)	
		Financial	Economic	Financial	Economic
PC	2.5	39.80	35.82	99.5	89.55
LT	1	25.00	22.5	25	22.5
LB	7	25.00	22.5	175	157.5
HB	40	25.00	22.5	1,000	900

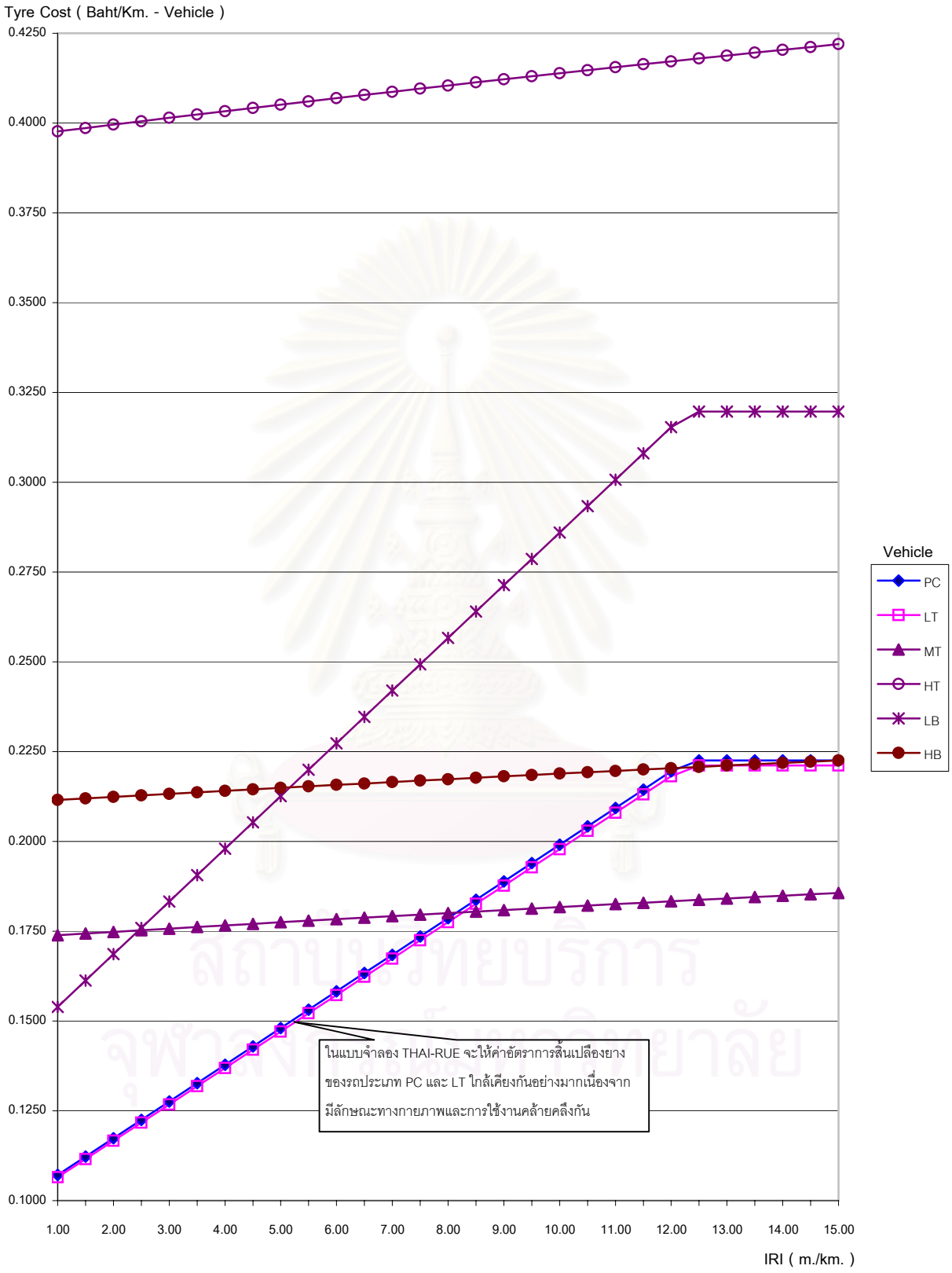
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



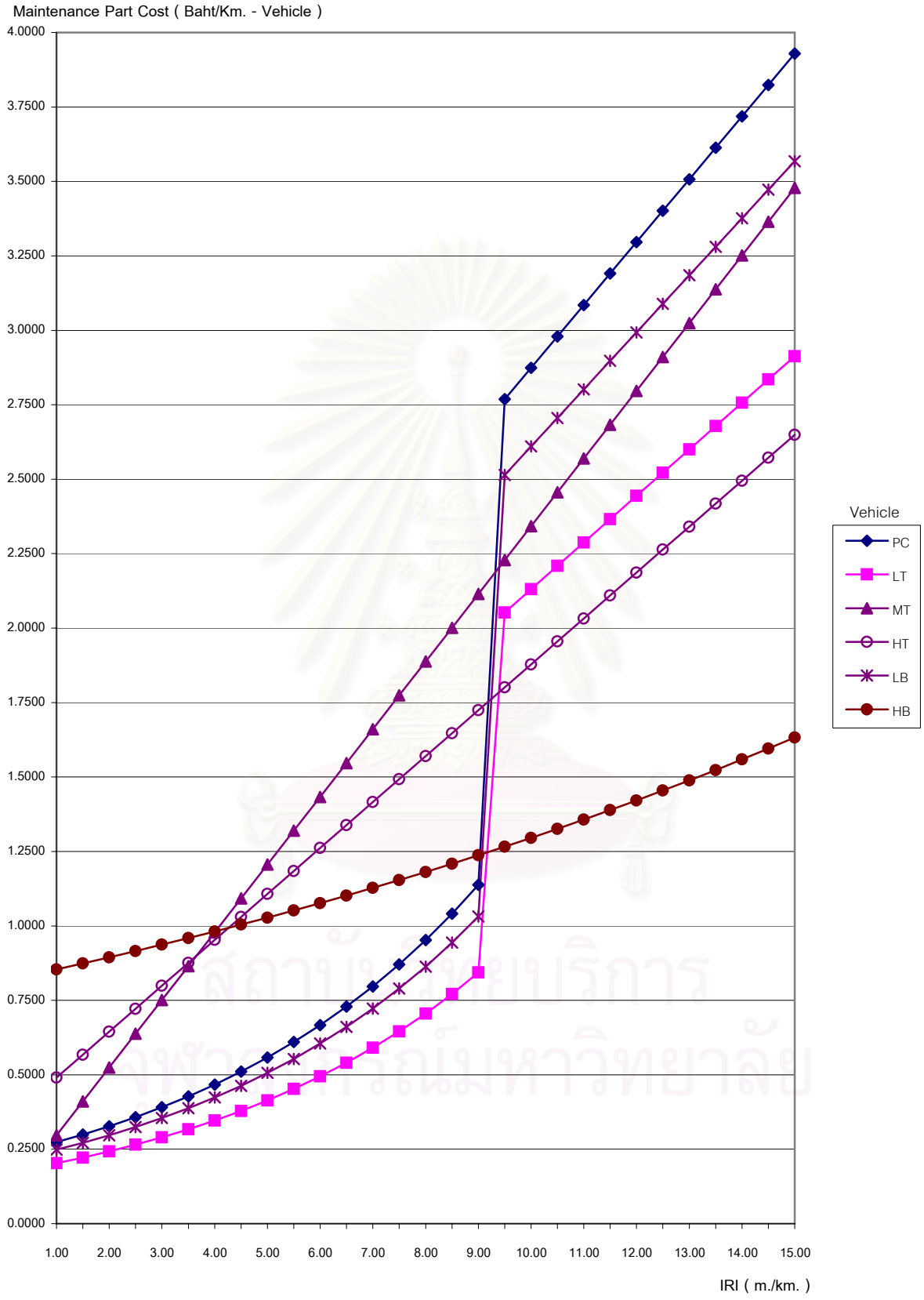
รูปที่ ข-1: ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/กิโลเมตร - คัน)



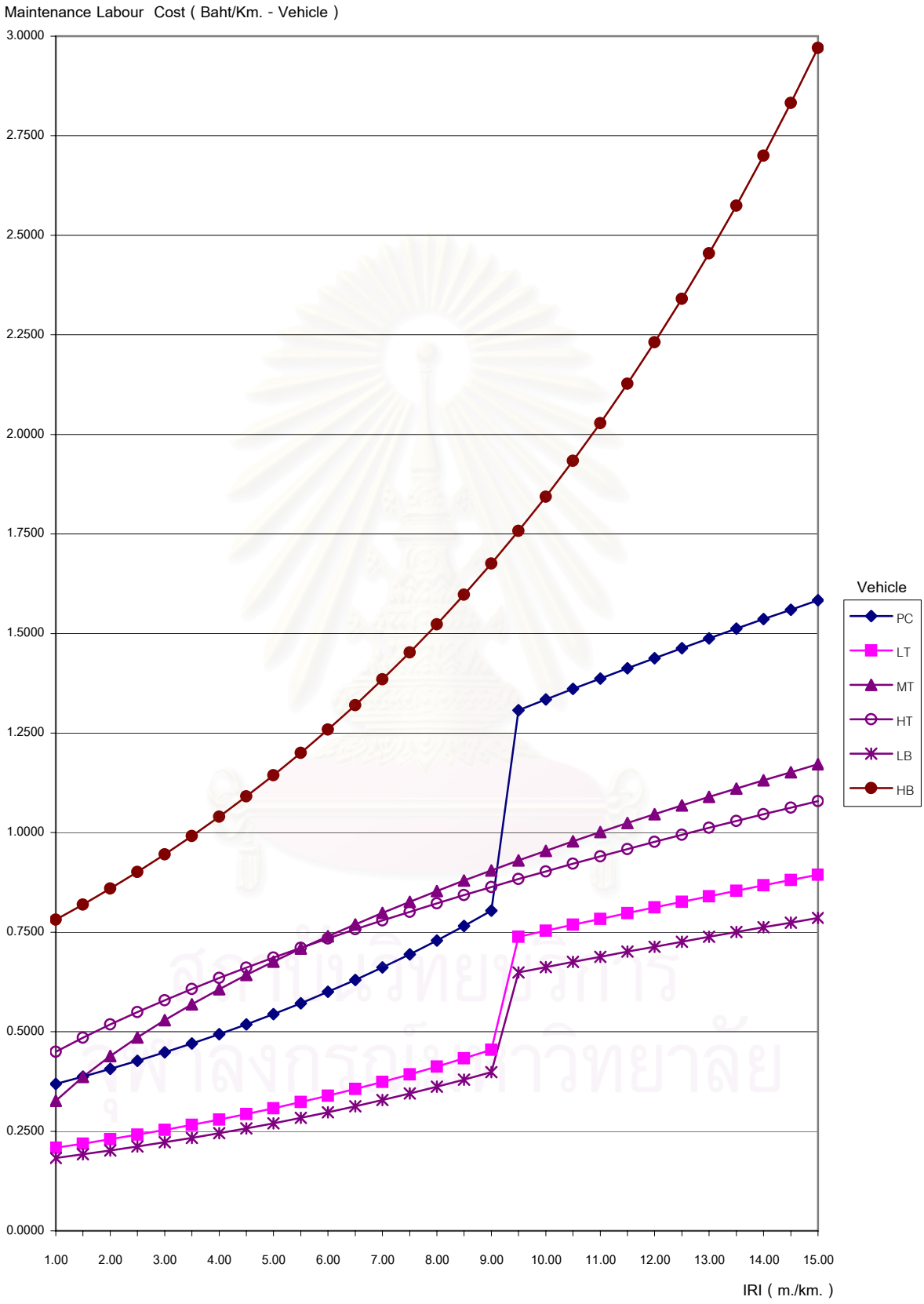
รูปที่ ข-2: ค่าใช้จ่ายน้ำมันหล่อลื่น (บาท/กิโลเมตร - คัน)



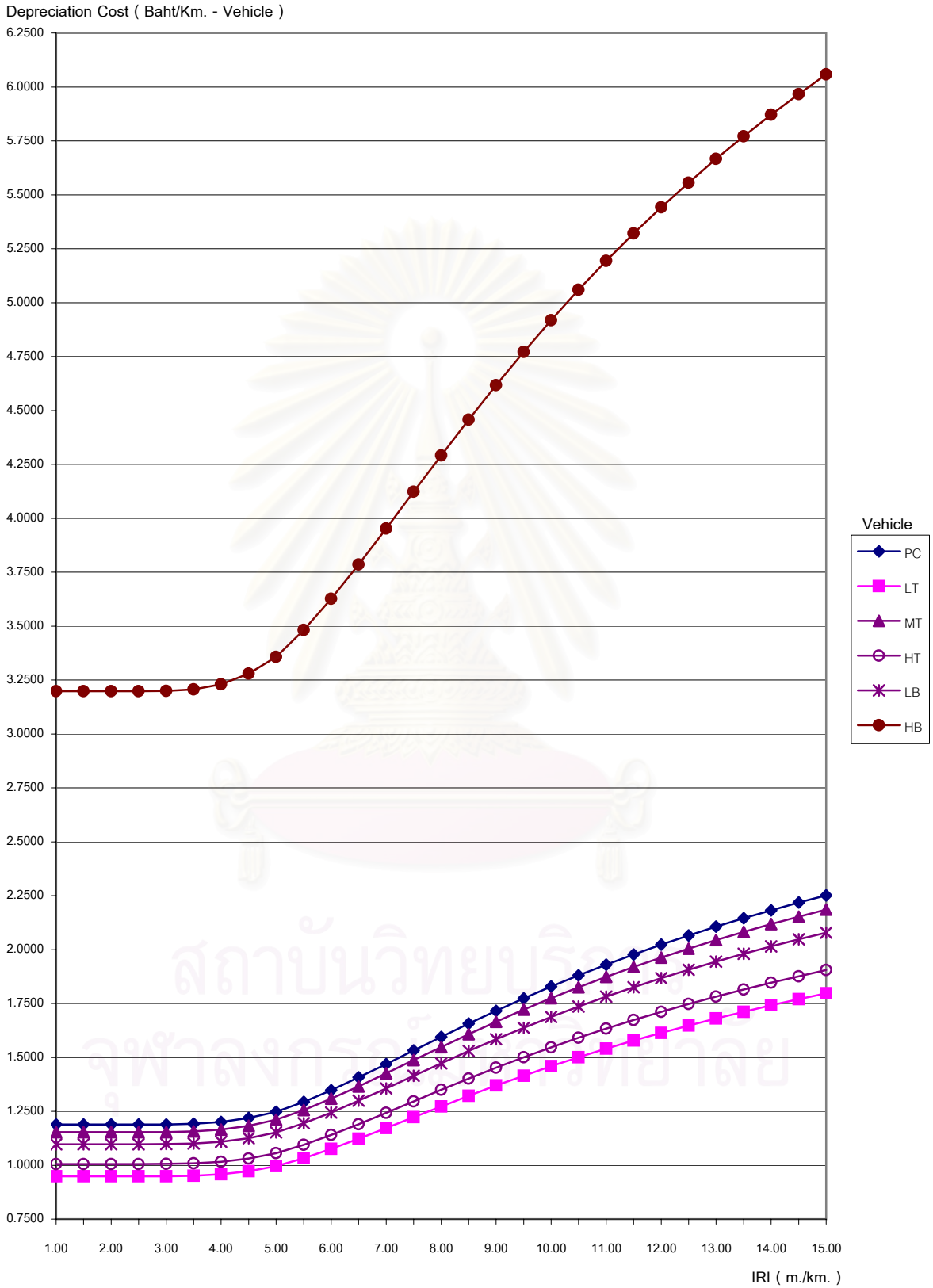
รูปที่ ข-3: ค่าใช้จ่ายยางรถ (บาท/กิโลเมตร - คัน)



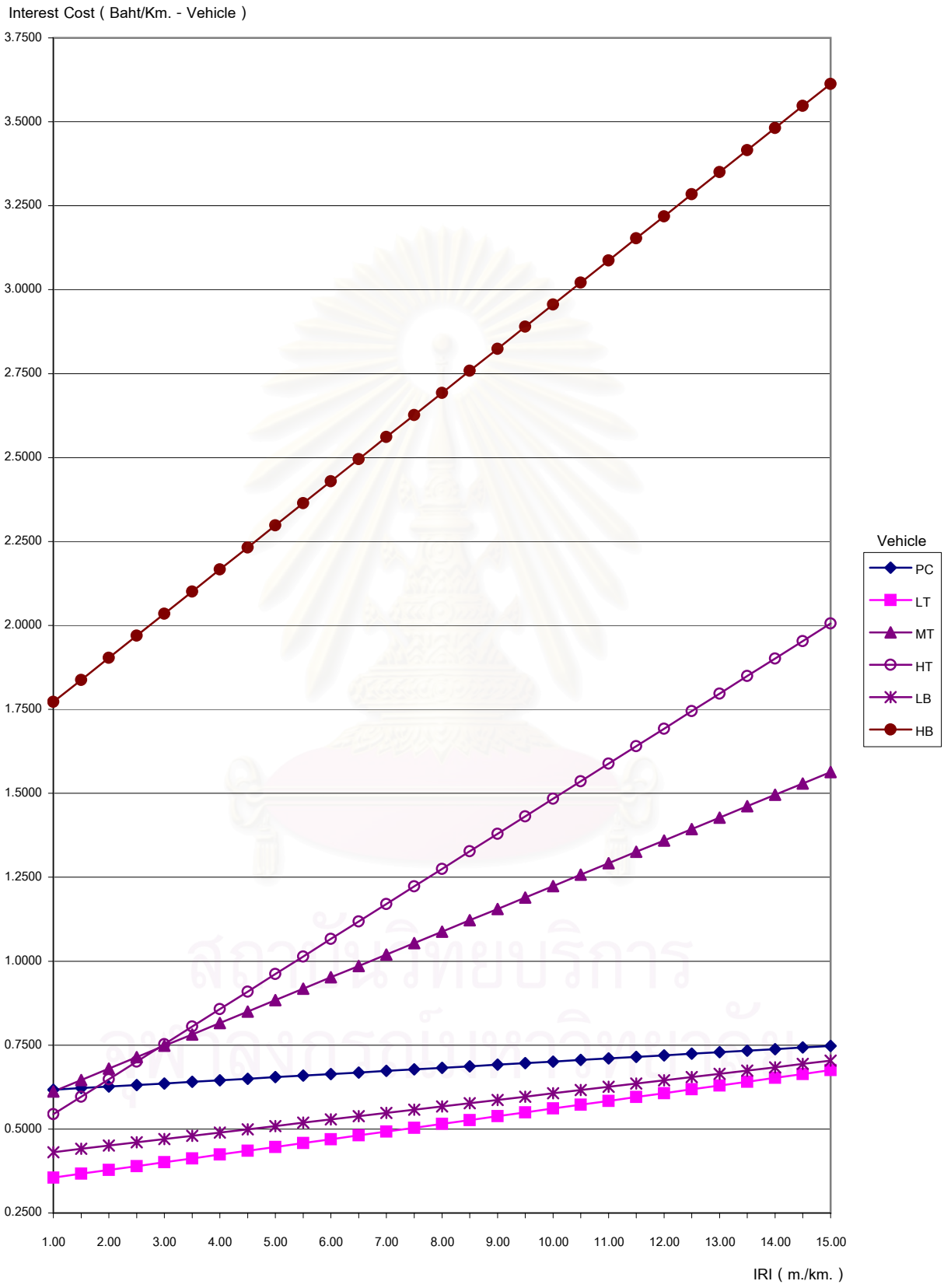
รูปที่ ข-4: ค่าใช้จ่ายชิ้นส่วนอะไหล่ยานพาหนะ (บาท/กิโลเมตร - คัน)



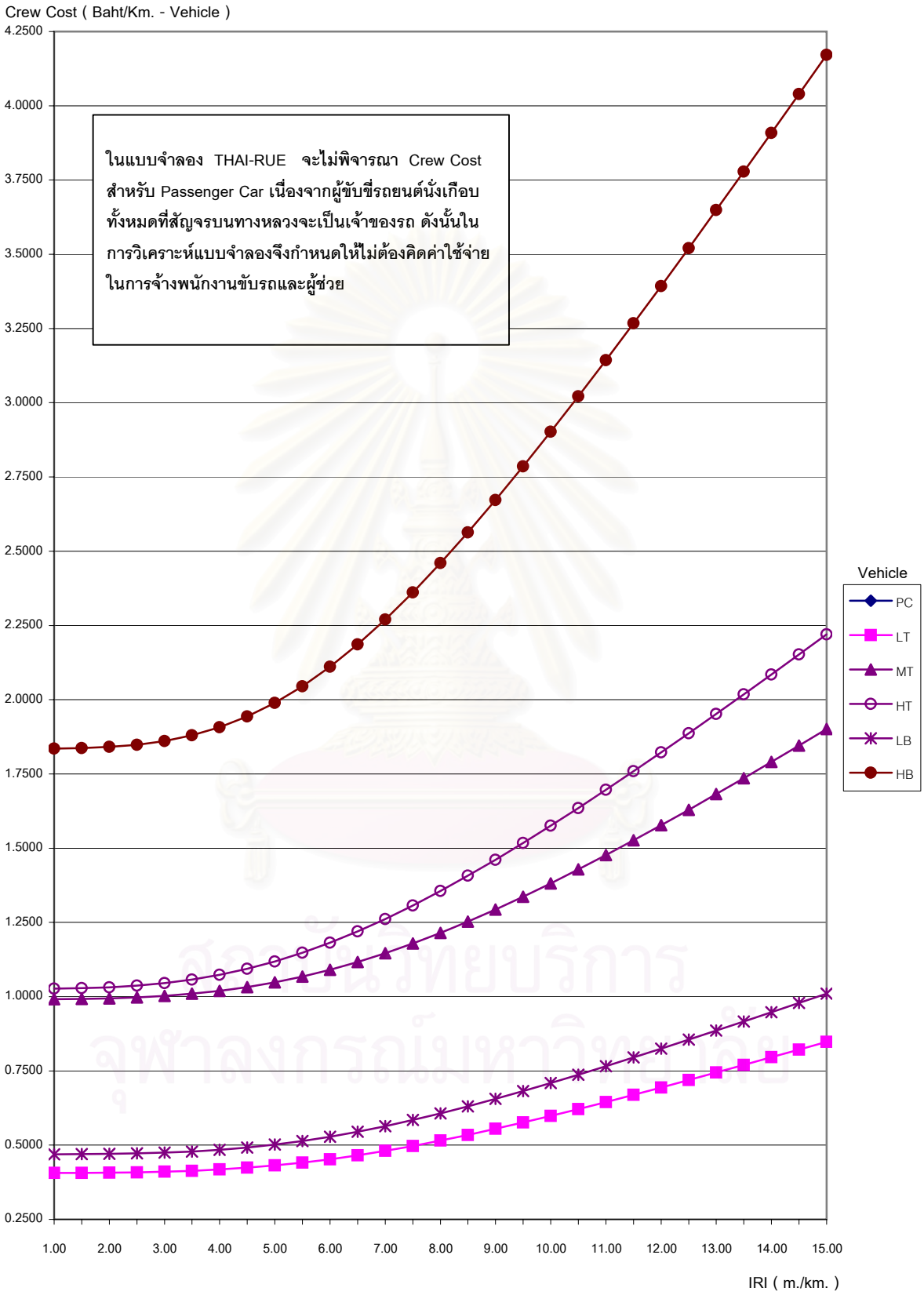
รูปที่ ข-5: ค่าใช้จ่ายพนักงานซ่อมบำรุงรถ (บาท/กิโลเมตร - คัน)



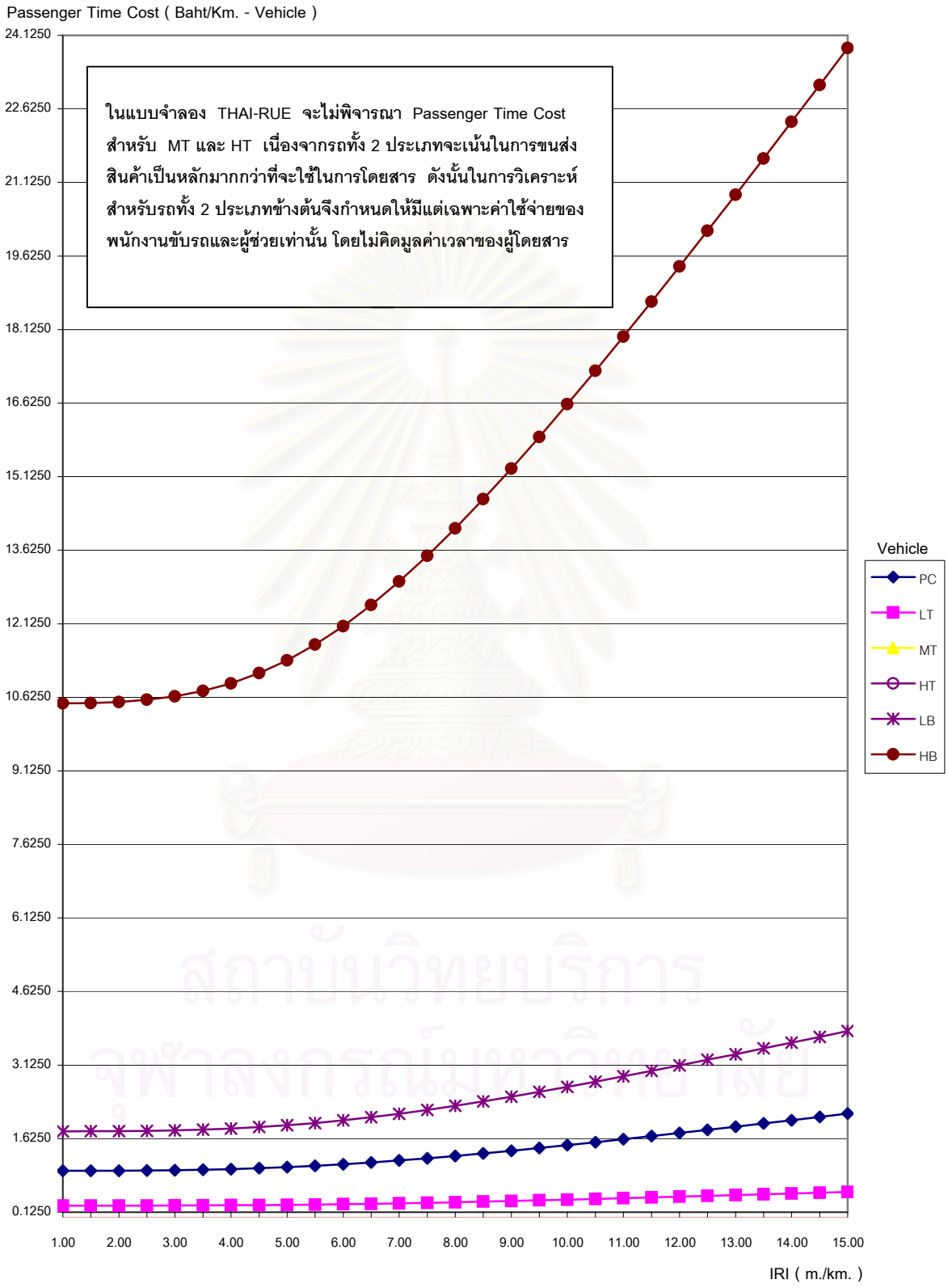
รูปที่ ข-6: ค่าใช้จ่ายค่าเสื่อมราคายานพาหนะ (บาท/กิโลเมตร - คัน)



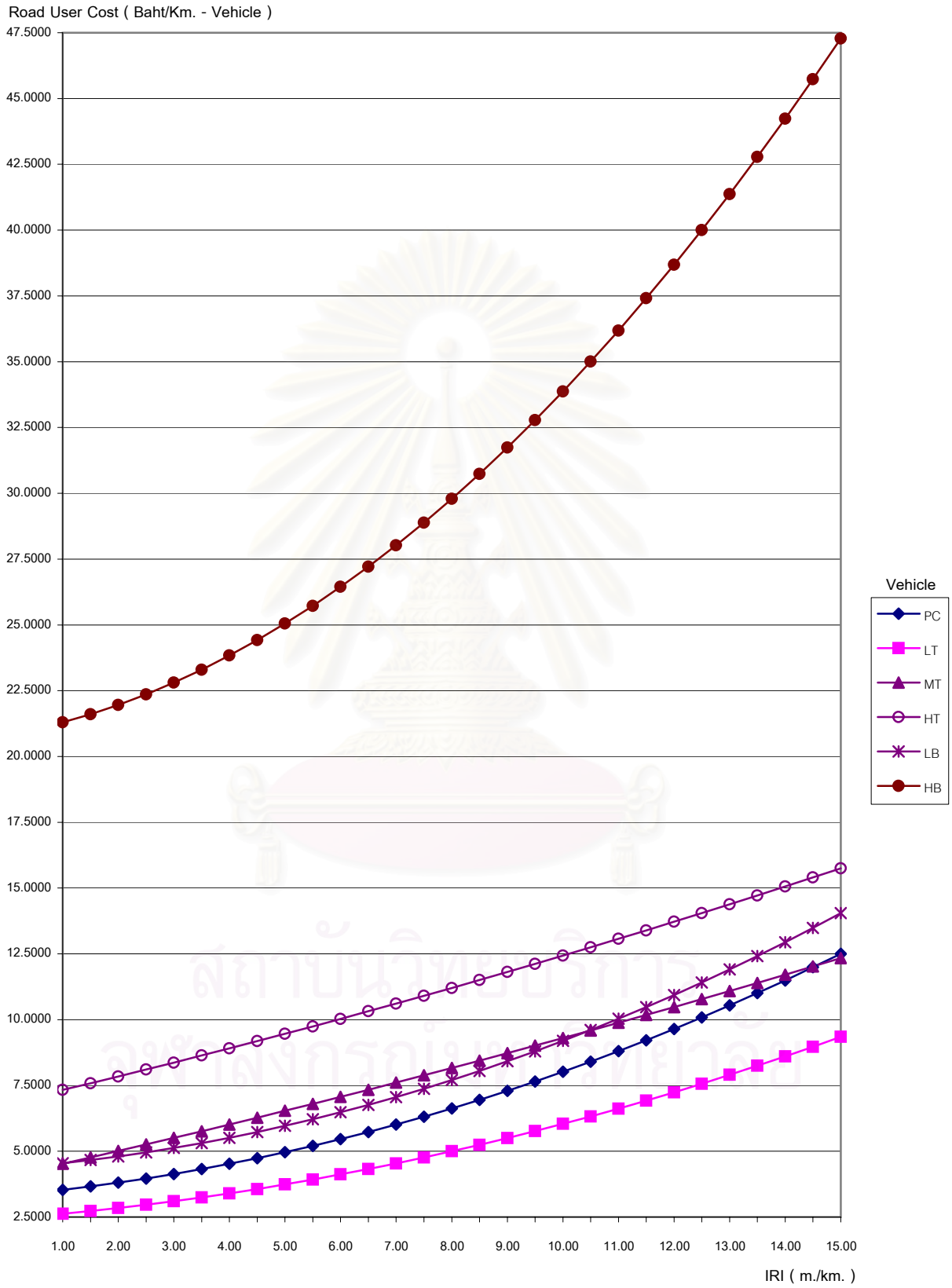
รูปที่ ข-7: ค่าใช้จ่ายดอกเบี้ยยานพาหนะ (บาท/กิโลเมตร - คัน)



รูปที่ ข-8: ค่าใช้จ่ายพนักงานประจำรถ (บาท/กิโลเมตร - คัน)



รูปที่ ข-9: มูลค่าเวลาของผู้โดยสารที่สูญเสียในการเดินทาง (บาท/กิโลเมตร - คัน)



รูปที่ ข-10: ค่าใช้จ่ายรวมของผู้ใช้ถนน (บาท/กิโลเมตร - คัน)

ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองการคำนวณความเร็วดุลยภาพ

From THAI-RUE study, the steady-state speed prediction model which depends on roughness has been expressed as equation (ค.1) .

$$V_{ss} = \frac{K_0}{\left[\left[\frac{1}{VDESIR}\right]^{\frac{1}{\beta}} + \left[\frac{1}{VROUGH}\right]^{\frac{1}{\beta}}\right]^{\beta}} \quad \text{(ค.1)}$$

where V_{ss} = is the Steady-State Velocity in (km./hr.)

VDESIR = the desired speed without constraints based on psychological economic, safety, and other limited by subjective factors (km./hr.)

VROUGH = the limiting speed based on road roughness and associated ride severity (km./hr.)

K_0 = is the model parameter

β = is the Weibull Shape parameter

And the effect of roughness on speed is calculated by equation (ค.2) .

$$VROUGH = \frac{ARV_{max}}{b_0 IRI} \quad \text{(ค.2)}$$

$$VROUGH = \frac{3.1397 ARV_{max}}{IRI} \quad \text{(ค.3)}$$

Where ARV_{max} = is the maximum average rectified velocity in mm/s

b_0 = is the regression parameter (default = 0.3185)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1: ค่าคงที่สำหรับตัวแปรในแบบจำลองการคำนวณความเร็วดุลยภาพ

Vehicle Type	Average Thailand Speed (km./hr.)	Calibrated VDESIR (km./hr.)	ARV_{max}	K_0	β
PC	87.4	92.2	203	1.003	0.274
LT	82.6	87.1	203	1.003	0.274
MT	70.1	77.3	200	1.008	0.304
HT	70.1	79.2	180	1.013	0.310
LB	82.6	88.6	200	1.003	0.274
HB	78.8	84.5	180	1.012	0.273

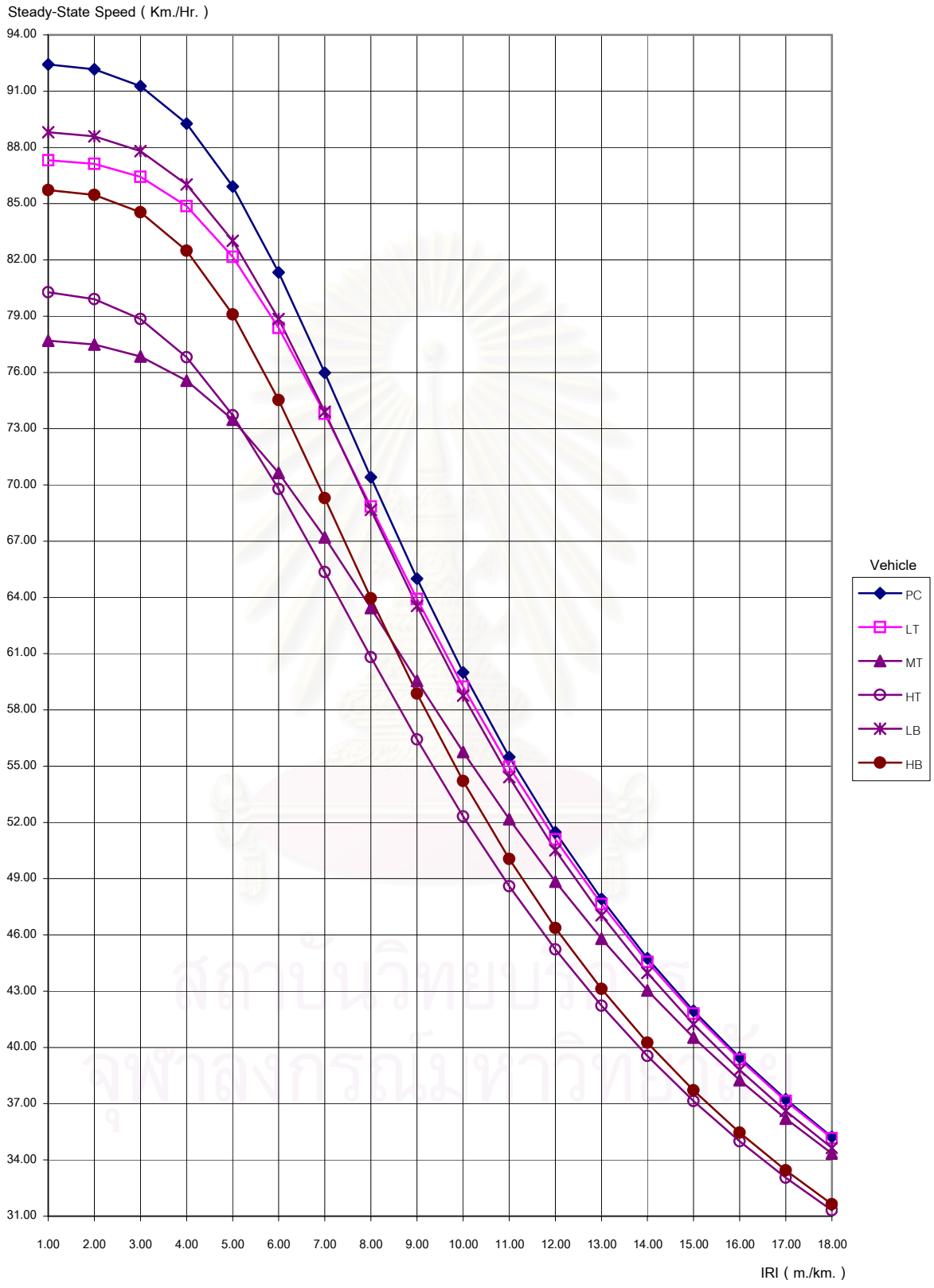
After substituting the values for VDESIR, ARV_{max}, K_0 and β in equation (ค.1) and (ค.3), the following standard model can be represented as equation (ค.4). The coefficient speed prediction model for the representative vehicles are given in table ค-2 .

$$V_{ss} = \frac{C_0}{\left[C_1 + C_2 . IRI^{C_3}\right]^{C_4}} \qquad (ค.4)$$

where C_0 to C_4 = is the model parameter based on vehicle type

ตารางที่ ค-2: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองการคำนวณความเร็วดุลยภาพ

Vehicle Type	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
PC	156	6.752	0.00582	3.649	0.274
LT	156	8.310	0.00582	3.649	0.274
MT	135	6.150	0.00626	3.289	0.304
HT	150	7.500	0.0133	3.226	0.310
LB	156	7.809	0.00615	3.650	0.274
HB	155	8.748	0.00829	3.663	0.273



รูปที่ ค-1: ความเร็วดุลยภาพสัมพันธ์กับ IRI (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

ภาคผนวก ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

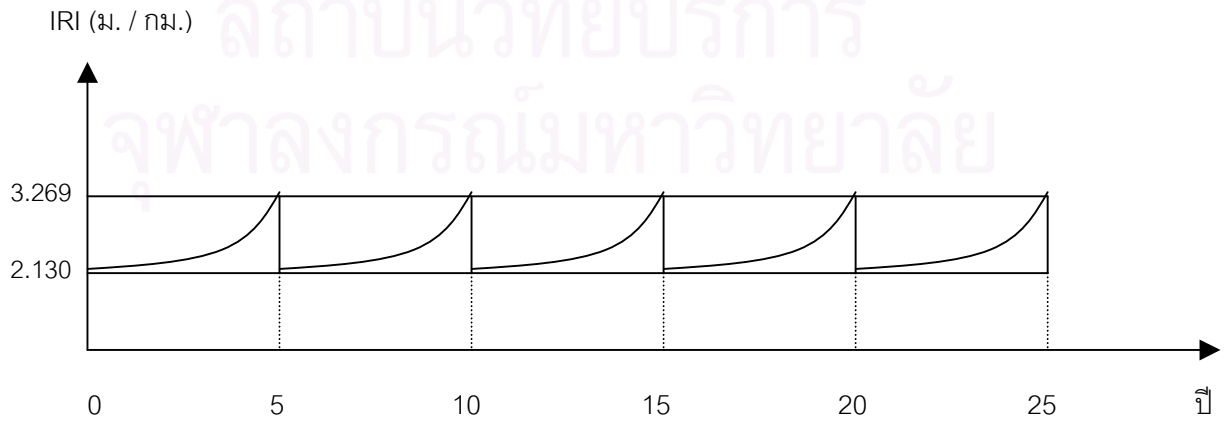
ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนอย่างละเอียด

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการวิเคราะห์สภาพความเสียหายของผิวทางเมื่อกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงที่แตกต่างกัน ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทสำหรับคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละปี และขั้นตอนการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิและค่า EUAC ซึ่งผลการวิเคราะห์ทำให้ได้คาบเวลาซ่อมบำรุงที่ให้ค่า EUAC ต่ำสุดตลอดอายุการใช้งานของสายทาง เพื่อนำมาใช้กำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ที่เหมาะสมต่อไป

สำหรับตัวอย่างที่นำเสนอเป็นการวิเคราะห์สายทางที่กำหนดให้เสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี ตลอดอายุการใช้งาน มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา (Gradient 3-5%) ปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน และสัดส่วนรถหนัก 15% โดยกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับเท่ากับ 12% และระยะเวลาการวิเคราะห์ 25 ปี

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์สภาพความเสียหายของผิวทาง

สภาพความเสียหายของผิวทางสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 5.1 โดยการกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาทุก 5 ปี (Age=5), ปริมาณจราจรเท่ากับ 5,000 คันต่อวัน (AVG.AADT=5,000), และสัดส่วนรถหนักเท่ากับ 15 % (%HV=15) ซึ่งภายหลังการแทนค่าลงในแบบจำลอง พบว่าค่า IRI ของสายทางที่มีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.269 ม./กม. ในปีที่ 5 ภายหลังการเสริมผิวทาง ดังแสดงในรูปที่ ง-1

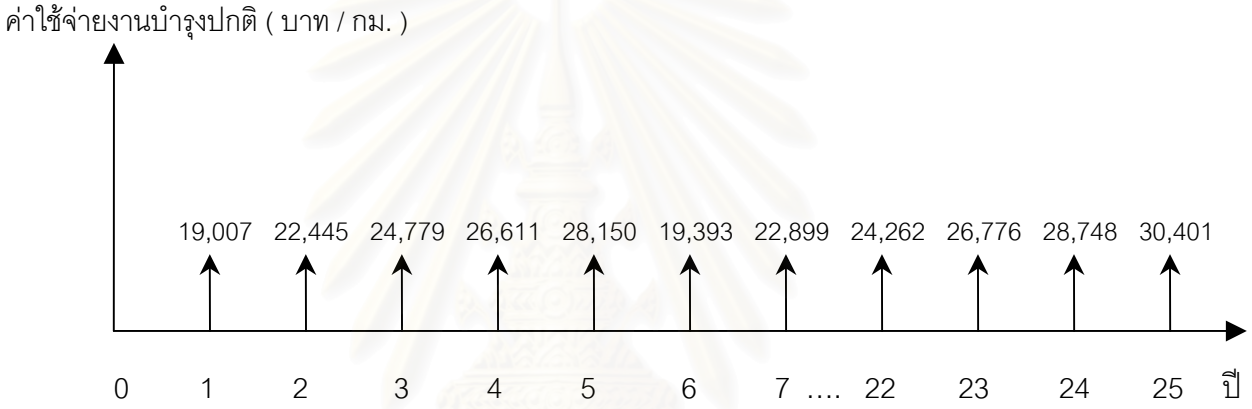


รูปที่ ง-1: ค่า IRI ของผิวทางเมื่อมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี ตลอดอายุการใช้งาน

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปี

ก. การคำนวณค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.12 สำหรับค่าตัวแปรที่นำมาแทนในสมการกำหนดให้ AGE = 5 ปี เนื่องจากในการวิเคราะห์กำหนดให้มีการเสริมผิวทางทุก 5 ปี และกำหนดค่า AADT = 5,000 คันต่อวัน จากนั้นจึงปรับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปีอันเนื่องมาจากผลของราคาหินคลุกและลูกรังที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายดังรูปที่ ง-2

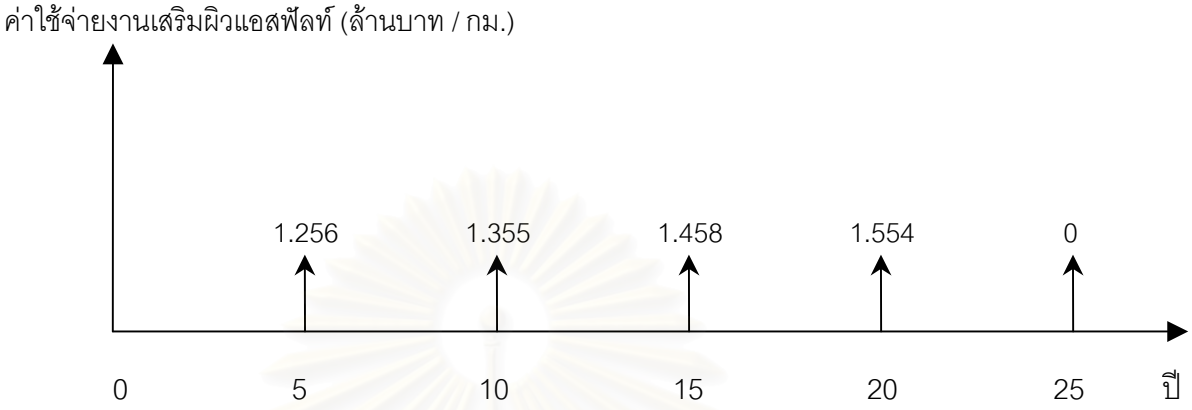


รูปที่ ง-2: ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติในแต่ละปีเมื่อมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี

ข. การคำนวณค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา

จากรูปที่ ง-1 พบว่าค่า IRI ในแต่ละปียังมีค่าสูงสุดไม่เกิน 6.00 ซึ่งตามเกณฑ์ของกรมทางหลวงกำหนดว่าสายทางที่มีค่า IRI น้อยกว่า 6.00 สามารถดำเนินการซ่อมแซมด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ได้ แต่ถ้า IRI มีค่าตั้งแต่ 6.00 ขึ้นไปควรซ่อมแซมด้วยวิธีการบูรณะ เนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางสูงมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงตามกำหนดเวลาจึงต้องคำนวณด้วยสมการที่ 5.13 โดยปรับดัชนีราคาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ดัชนีราคาแอสฟัลท์ น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และเครื่องจักรกลก่อสร้าง ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปี ตามลำดับ และเนื่องจากกำหนดให้เสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี ทำให้ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลาจึงเกิดขึ้นทุกๆ 5 ปี ตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ซึ่งผลการคำนวณค่าใช้จ่ายแสดงไว้ดังรูปที่ ง-3 สังเกตว่าในปีที่ 25 จะไม่มีค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวเกิดขึ้น เนื่องจาก ณ ปีดังกล่าวถือเป็นปีสิ้นสุดอายุการใช้งาน และจำเป็น

ต้องรื้อเพื่อก่อสร้างใหม่ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงกรมทางหลวงจะไม่ดำเนินการเสริมผิวหรือบูรณะใดๆ ทั้งสิ้น นอกจากนี้ยังถือว่าค่าซากมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากสมมุติให้ไม่มีการนำวัสดุเดิมมาใช้ก่อสร้างใหม่



รูปที่ ง-3: ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวแอสฟัลท์เมื่อกำหนดให้ดำเนินการทุก 5 ปี

ค. การคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน

ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีความสัมพันธ์กับค่า IRI ที่คำนวณได้จากหัวข้อที่ 1 สำหรับการวิเคราะห์จะกำหนดให้ใช้ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้น ณ เวลาสิ้นสุดของแต่ละปี โดยการคำนวณจะนำค่า IRI ที่วิเคราะห์ได้จากสมการที่ 5.1 มาแทนในแบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในภาคผนวก ข. แต่เนื่องจากค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองอยู่ในหน่วยของ บาทต่อกม.-คัน (แยกตามประเภทยานพาหนะ) ดังนั้นในการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นของทั้งสายทาง จึงจำเป็นต้องแปลงให้อยู่ในหน่วยของบาทต่อกม. - 2 ช่วงจราจร โดยใช้สมการที่ ง.1 และทำการปรับดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปีจากสมการที่ 5.19

$$RUC_{TOTAL} = 365 * AADT * \left(\begin{array}{l} (RUC_{PC} * \%\,PC) + (RUC_{LT} * \%\,LT) + (RUC_{MT} * \%\,MT) \\ +(RUC_{HT} * \%\,HT) + (RUC_{LB} * \%\,LB) + (RUC_{HB} * \%\,HB) \end{array} \right) \quad (ง.1)$$

เมื่อ RUC_{TOTAL} = ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแต่ละปี (บาท / กม.-2ช่องจราจร)

AADT = ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันของสายทาง (คัน / วัน - 2 ช่องจราจร)

ในตัวอย่างกำหนดให้ AADT = 5,000 คัน / วัน

RUC_{PC} = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรวมรถแท็กซี่ (บาท / กม.- คัน)

RUC_{LT} = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสำหรับรถบรรทุกขนาดเล็ก (บาท / กม.- คัน)

RUC_{MT} = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสำหรับรถบรรทุกขนาดกลาง (บาท / กม.- คัน)

RUC_{HT} = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ (บาท / กม.- คัน)

RUC_{LB} = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสำหรับรถโดยสารขนาดเล็ก (บาท / กม.- คัน)

RUC_{HB} = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ (บาท / กม.- คัน)

% PC = สัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเฉลี่ยทั้งประเทศ

% LT = สัดส่วนของรถบรรทุกขนาดเล็กเฉลี่ยทั้งประเทศ

% MT = สัดส่วนของรถบรรทุกขนาดกลางเฉลี่ยทั้งประเทศ

% HT = สัดส่วนของรถบรรทุกขนาดใหญ่เฉลี่ยทั้งประเทศ

% LB = สัดส่วนของรถโดยสารขนาดเล็กเฉลี่ยทั้งประเทศ

% HB = สัดส่วนของรถโดยสารขนาดใหญ่เฉลี่ยทั้งประเทศ

สำหรับสัดส่วนเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละประเภทที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลของกองวิศวกรรมจราจร ระหว่างปี 2538-2542 (ไม่รวมกรุงเทพมหานคร) กำหนดไว้ดังนี้ เฉพาะในกลุ่มประเภทรถหนัก ซึ่งประกอบด้วย รถบรรทุกขนาดกลาง (MT), รถบรรทุกขนาดใหญ่ (HT) และรถโดยสารขนาดใหญ่ (HB) มีสัดส่วนเฉลี่ย 45.5%, 36.4% และ 18.1% ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประเภทรถเบาซึ่งประกอบด้วย รถยนต์นั่งส่วนบุคคลรวมรถแท็กซี่ (PC), รถบรรทุกขนาดเล็ก (LT) และรถโดยสารขนาดเล็ก (LB) มีสัดส่วนเฉลี่ย 43.6%, 46.2% และ 10.2% ตามลำดับ แต่เนื่องจากในตัวอย่างกำหนดให้สายทางมีสัดส่วนรถหนัก 15 % ดังนั้นก่อนทำการแทนค่าในสมการที่ ง.1 จึงต้องหาสัดส่วนจริงของรถแต่ละประเภทก่อน ซึ่งภายหลังการแทนค่าต่างๆ ในสมการที่ ง.1 ทำให้สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในแต่ละปีได้ดังรูปที่ ง-4 สำหรับสัดส่วนจริงของยานพาหนะแต่ละประเภทคำนวณได้ดังนี้

PC = 0.436*0.85=0.3706

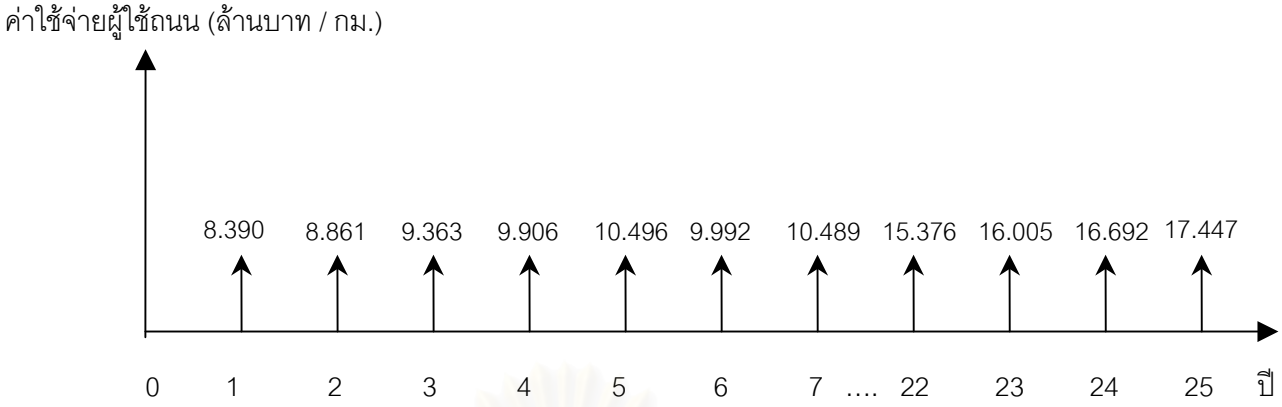
LT = 0.462*0.85=0.3927

LB = 0.102*0.85=0.0867

MT = 0.455*0.15=0.0683

HT = 0.364*0.15=0.0546

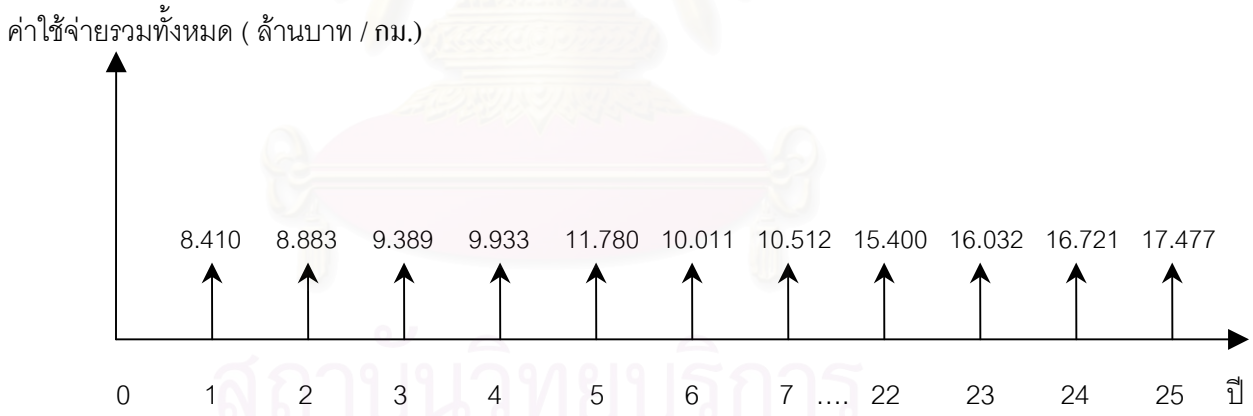
HB = 0.181*0.15=0.0271



รูปที่ ง-4: ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในแต่ละปีเมื่อสายทางมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี

ง. การคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทาง

ภายหลังการคำนวณค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทแล้วจึงนำมารวมเป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแต่ละปีได้ดังรูปที่ ง-5



รูปที่ ง-5: ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในแต่ละปีเมื่อสายทางมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 5 ปี

3. ขั้นตอนการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิและ EUAC

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแต่ละปีดังแสดงในรูปที่ ง-5 สามารถนำมาคำนวณเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิโดยกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ 12% จากนั้นจึงแปลงให้อยู่ในรูป EUAC ได้ดังตารางที่ ง-1 ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสายทางที่มีการเสริมผิวแอสฟัลท์

ทุก 5 ปี มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา (Gradient 3-5%) ปริมาณจราจร 5,000 คันต่อวัน และมีสัดส่วนรถหนัก 15% เมื่อกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้เท่ากับ 12% และระยะเวลาการวิเคราะห์ 25 ปี จะมีค่าใช้จ่ายในรูปมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 84.489 ล้านบาท/กม. และมีค่า EUAC เท่ากับ 11.041 ล้านบาท/กม.- ปี

สำหรับการวิเคราะห์ในลำดับต่อไปจะทำการเปลี่ยนคาบเวลาการเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยเริ่มกำหนดคาบเวลาทุก 1, 2, 3, 4, ปีเรื่อยไป และทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังแสดงในตัวอย่างจนกระทั่งได้ค่า EUAC ต่ำสุด ซึ่งคาบเวลาดังกล่าวถือเป็นคาบเวลาที่เหมาะสมสำหรับการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์เมื่อต้องคำนึงถึงผลกระทบของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนเป็นหลัก สำหรับสายทางในลักษณะอื่นสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่นำเสนอ

ตารางที่ ง-1: ค่า NPV และ EUAC ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทาง

	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปี (ล้านบาท / กม. – 2 ช่องจราจร)												Total
ปีที่	1	2	3	4	5	6	7	….	22	23	24	25	NPV
NPV (ล้านบาทต่อกม.)	7.493	7.052	6.640	6.259	6.614	5.008	4.685	….	1.215	1.127	1.046	0.975	84.489
												EUAC	11.041

ข้อสังเกต: 1. ในการกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงบางครั้งอาจไม่ครบรอบที่ระยะเวลา 25 ปีพอดี ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้เสริมผิวแอสฟัลท์ทุก 6 ปี จะครบรอบที่ระยะเวลา 24 ปีพอดี ในกรณีเช่นนี้ให้ถือว่าปีที่ 24 เป็นปีที่สิ้นสุดอายุการใช้งานและต้องมีการรื้อเพื่อก่อสร้างถนนใหม่ ทำให้ระยะเวลาสำหรับการวิเคราะห์เท่ากับ 24 ปี นอกจากนี้ในบางครั้งการกำหนดคาบเวลาทำให้รอบการซ่อมบำรุงไม่ครบรอบพอดี และเหลือเศษมากว่า 1 ปี ตัวอย่างเช่น การกำหนดคาบเวลาทุก 11 ปี จะทำให้มีรอบการซ่อมบำรุงเพียง 2 รอบ และเหลือเศษอีก 3 ปี ในกรณีเช่นนี้กำหนดให้ระยะเวลาการวิเคราะห์เท่ากับ 25 ปี เนื่องจากในทางปฏิบัติระยะเวลาที่เหลือเศษมากกว่า 1 ปี ยังถือว่าสายทางดังกล่าวสามารถใช้งานได้จนกระทั่งครบ 25 ปี ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญด้านงานบำรุงทางของกรมทางหลวง

2. สำหรับการกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงทุก 24 และ 25 ปี ให้ถือว่าสายทางเส้นดังกล่าวไม่มีการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ตลอดอายุการใช้งาน เนื่องจาก ณ คาบเวลาดังกล่าวเป็นปีที่สิ้นสุดการใช้งาน และครบกำหนดต้องรื้อเพื่อก่อสร้างถนนใหม่
3. ในกรณีเมื่อถึงกำหนดซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาและสภาพผิวทางมีค่า IRI ตั้งแต่ 6.00 ขึ้นไป การซ่อมแซมกำหนดให้ใช้วิธีบูรณะผิวแอสฟัลท์เนื่องจากโครงสร้างชั้นทางเกิดความเสียหาย แต่ในกรณีที่ IRI มีค่าน้อยกว่า 6.00 ให้เลือกใช้วิธีเสริมผิวแอสฟัลท์สำหรับซ่อมบำรุงผิวทาง ซึ่งแนวทางการกำหนดวิธีซ่อมบำรุงดังกล่าวมาจากเกณฑ์ของระบบบริหารจัดการงานทาง ของกรมทางหลวง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EUAC กับคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา

จากผลการวิเคราะห์ในบทที่ 6 ทำให้ได้คาบเวลาที่ทำให้ EUAC ต่ำสุดตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะนำมาเพื่อใช้ในการวางแผนงานบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก แต่ในทางปฏิบัติจริงกรมทางหลวงไม่สามารถดำเนินการให้ตรงตามระยะเวลาดังกล่าวได้ในทุกสายทาง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ส่งผลให้บางโครงการต้องชะลอการซ่อมบำรุงออกไป จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ต้องกำหนดแผนรองรับเพื่อลดผลกระทบจากการชะลอโครงการที่มีต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนและซ่อมบำรุงให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ด้วยเหตุนี้ทำให้ต้องมีการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า EUAC กับคาบเวลาที่ดำเนินการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคาบเวลา ซึ่งส่งผลต่อความยืดหยุ่นในการวางแผนและกำหนดนโยบายซ่อมบำรุงให้เหมาะสมกับสถานการณ์

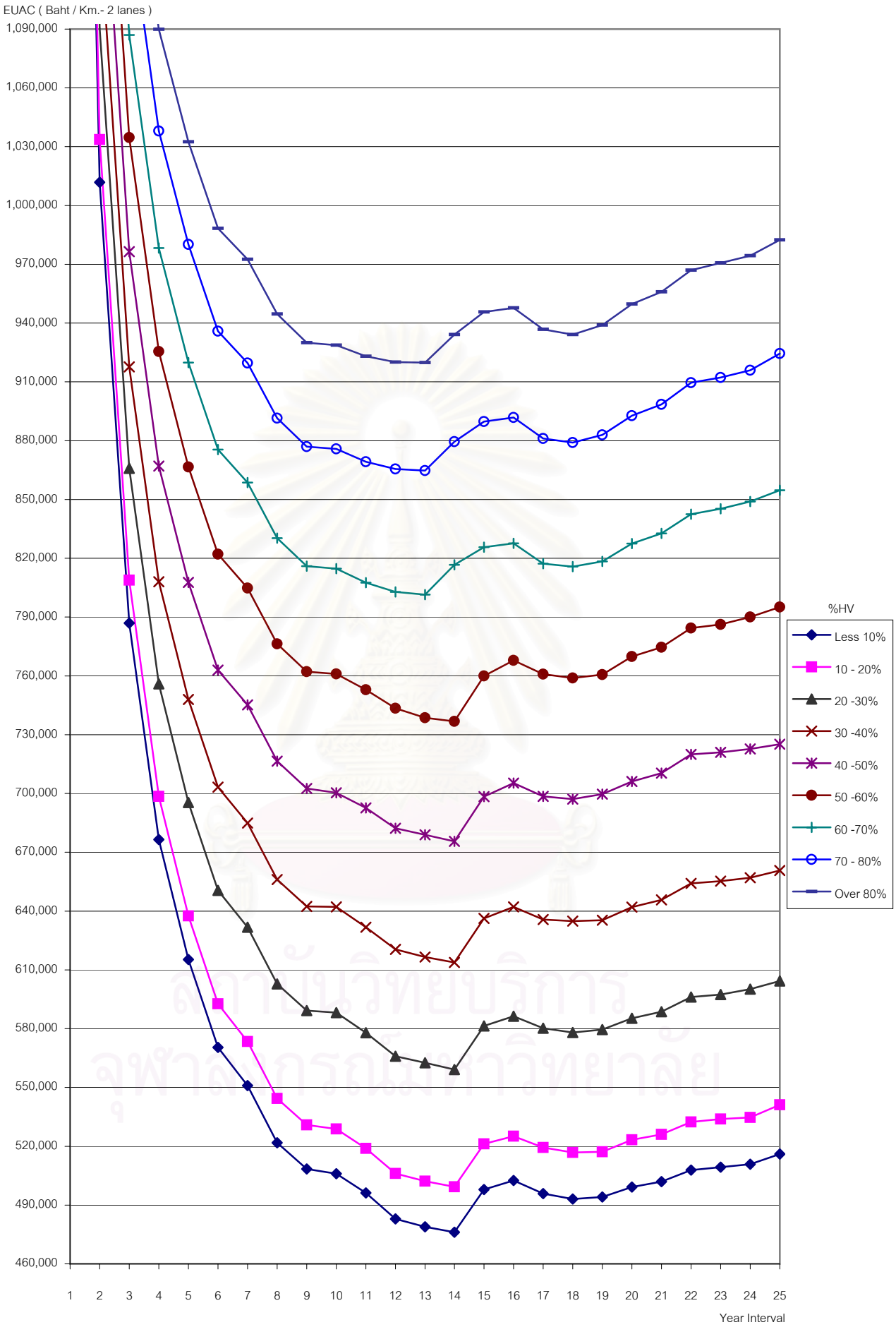
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า EUAC กับคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา

ตัวอย่างของกราฟ EUAC กับคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาด้วยวิธีเสริมผิวแอสฟัลท์ที่นำเสนอ เป็นของสายทางที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ซึ่งเป็นสายทางส่วนใหญ่ที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง สังเกตว่าสายทางที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า 2,000 คันต่อวันจะมีค่า EUAC ต่ำสุดเมื่อกำหนดคาบเวลาอยู่ระหว่าง 10-14 ปี สาเหตุเนื่องมาจากผลกระทบของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟ จ-1 ถึง จ-4 ซึ่งสังเกตว่าค่า EUAC จะมีค่าสูงมากเมื่อคาบเวลาซ่อมบำรุงมีระยะสั้นและจะลดลงจนกระทั่งถึงจุดต่ำสุด จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆและมีความแตกต่างกันไม่มาก แม้คาบเวลาจะเปลี่ยนแปลงไปเพียงใด สำหรับกลุ่มสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 2,000-10,000 คันต่อวัน ค่า EUAC ที่ได้จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงคาบเวลา 2-3 ปีแรก และมีอัตราช้าลงจนกระทั่งถึงจุดต่ำสุด ณ คาบเวลาระหว่าง 6-9 ปี สาเหตุเนื่องมาจากค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายงานบำรุง ดังแสดงอยู่ในกราฟรูปที่ จ-5 ถึง จ-7 สำหรับกลุ่มสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 10,000-70,000 คันต่อวัน ซึ่งถือเป็นกลุ่มที่มีปริมาณจราจรสูง ทำให้สัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีค่ามากกว่างานซ่อมบำรุงอย่างมาก ส่งผลให้ค่า EUAC ต่ำสุดเกิดขึ้น ณ คาบเวลาประมาณ 2-4 ปี นอกจากนี้ค่า EUAC จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเลยจุดต่ำสุดไปแล้ว สังเกตได้จากกราฟ จ-8 ถึง จ-11 ซึ่งจุดต่ำสุดจะใกล้กับจุดเริ่มต้นมากเนื่องจากอิทธิพลของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่เพิ่มขึ้นเมื่อคาบเวลาซ่อมบำรุงยืดนานออกไป ในส่วนกลุ่มสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงกว่า 70,000 คันต่อวัน ค่า EUAC ที่ได้จะต่ำสุด ณ จุดเริ่มต้น เนื่อง

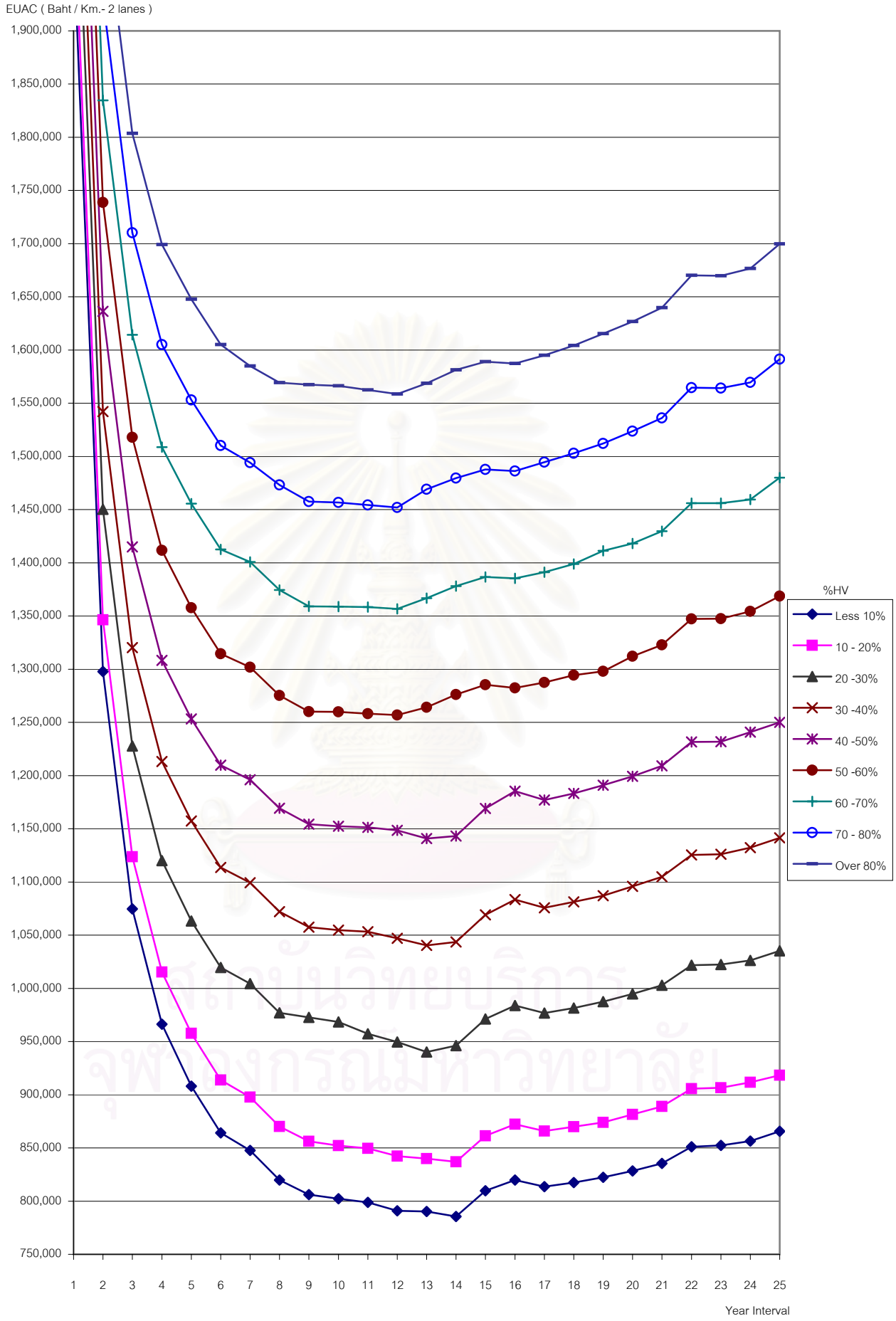
จากค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของทั้งสายทางมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อกำหนดคาบเวลาซ่อมบำรุงให้นานขึ้น เนื่องจากสายทางดังกล่าวมีอัตราการเกิดความเสียหายของผิวทางอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ณ สายทางที่มีปริมาณจราจรถึงระดับดังกล่าวควรต้องรักษาสภาพผิวทางให้ดีที่สุดเท่าที่จะดำเนินการได้ เนื่องจากผลกระทบจากความเสียหายของสายทางที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของสายทาง ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงไว้ในกราฟ จ-12 ถึง จ-13

ผลการวิเคราะห์ที่แสดงมาทั้งหมดมีประโยชน์ต่อผู้บริหารในการกำหนดแผนที่มีความยืดหยุ่นในแต่ละลักษณะสายทางได้ ตัวอย่างเช่น สายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำควรกำหนดคาบเวลาให้อยู่ในช่วงก่อนหรือหลังจุดต่ำสุดประมาณ 3-4 ปี ในขณะที่กลุ่มสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงควรดำเนินการให้ใกล้จุดต่ำสุดมากที่สุด และถ้ามีความจำเป็นต้องชะลอการซ่อมบำรุงก็ไม่ควรเกิน 2 ปี เนื่องจากมีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นกราฟ EUAC ที่วิเคราะห์ได้จะมีประโยชน์อย่างมากเมื่อจำเป็นต้องกำหนดนโยบายที่มีความยืดหยุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อไม่สามารถดำเนินการซ่อมบำรุงสายทางตามแผนที่วางไว้อันเนื่องมาจากข้อจำกัดต่างๆได้

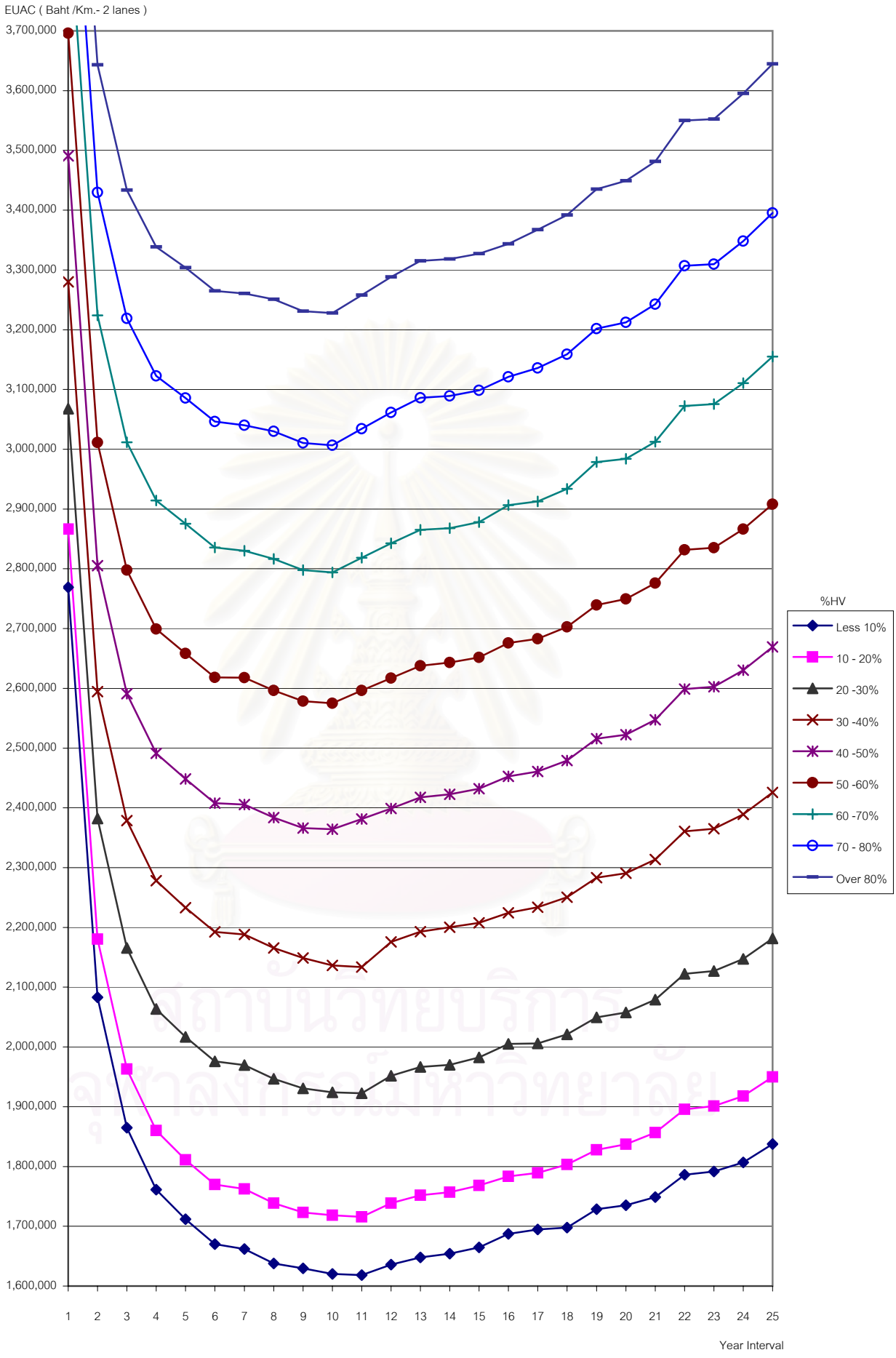
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



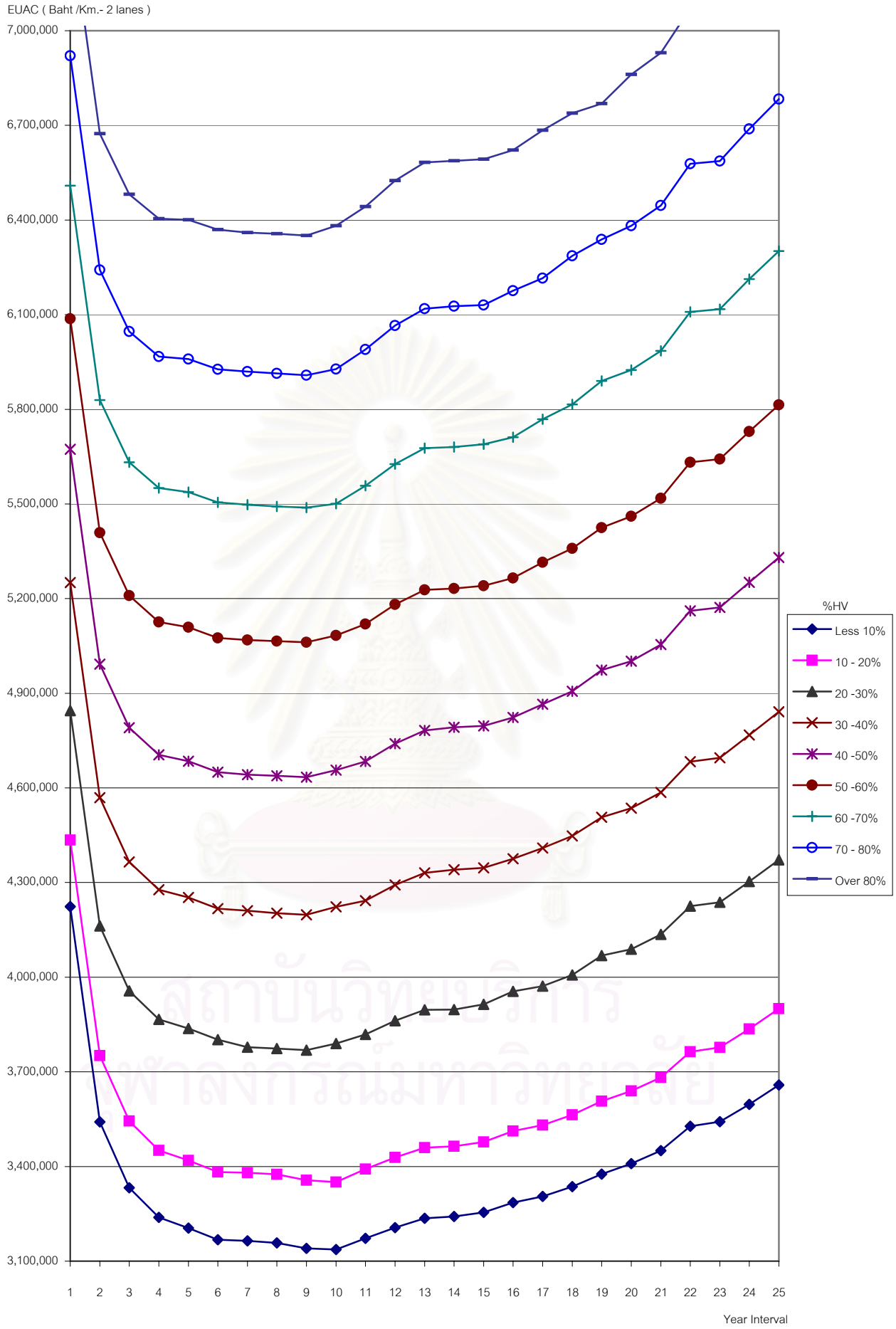
รูปที่ จ-1: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า 200 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



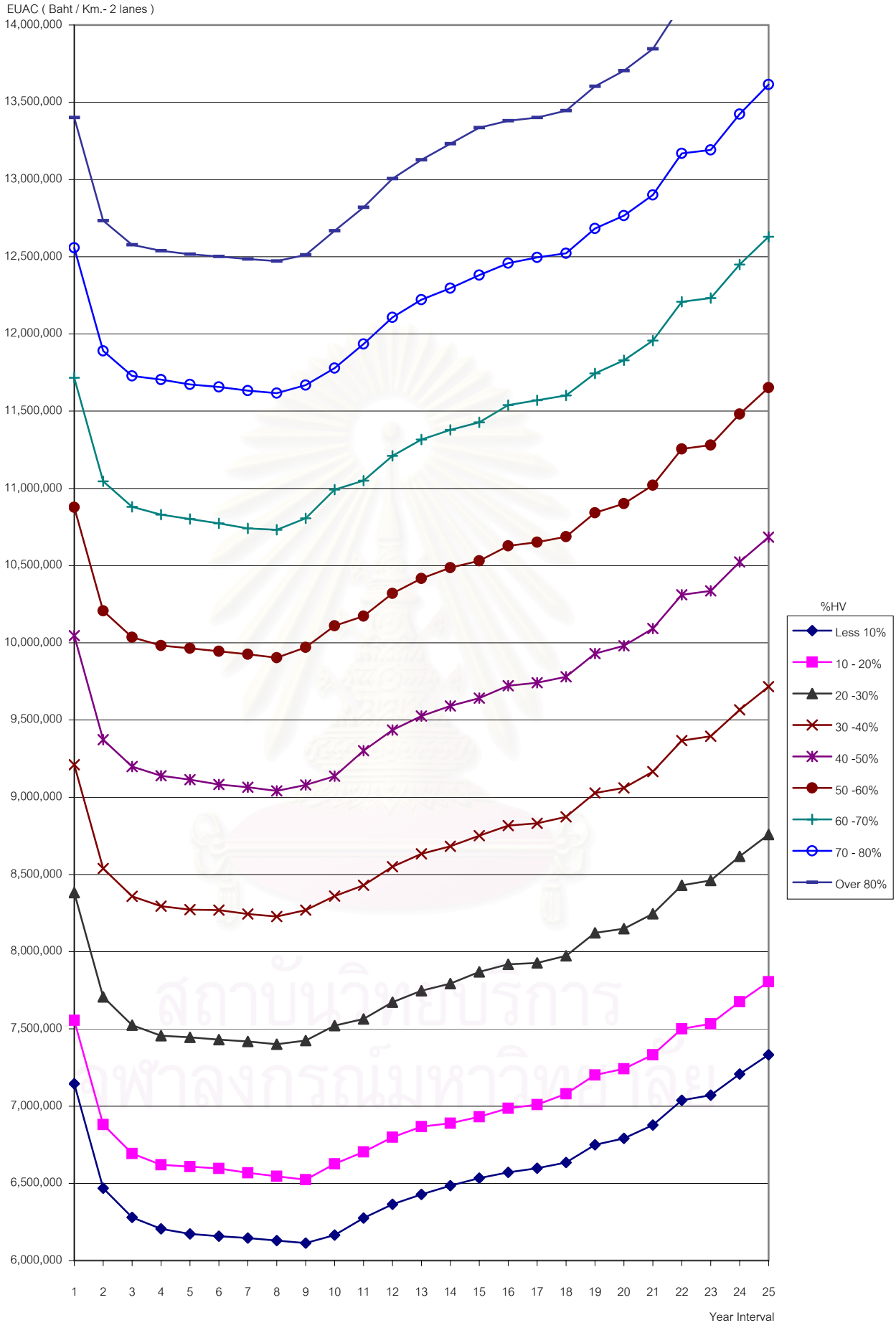
รูปที่ จ-2: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 201-500 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



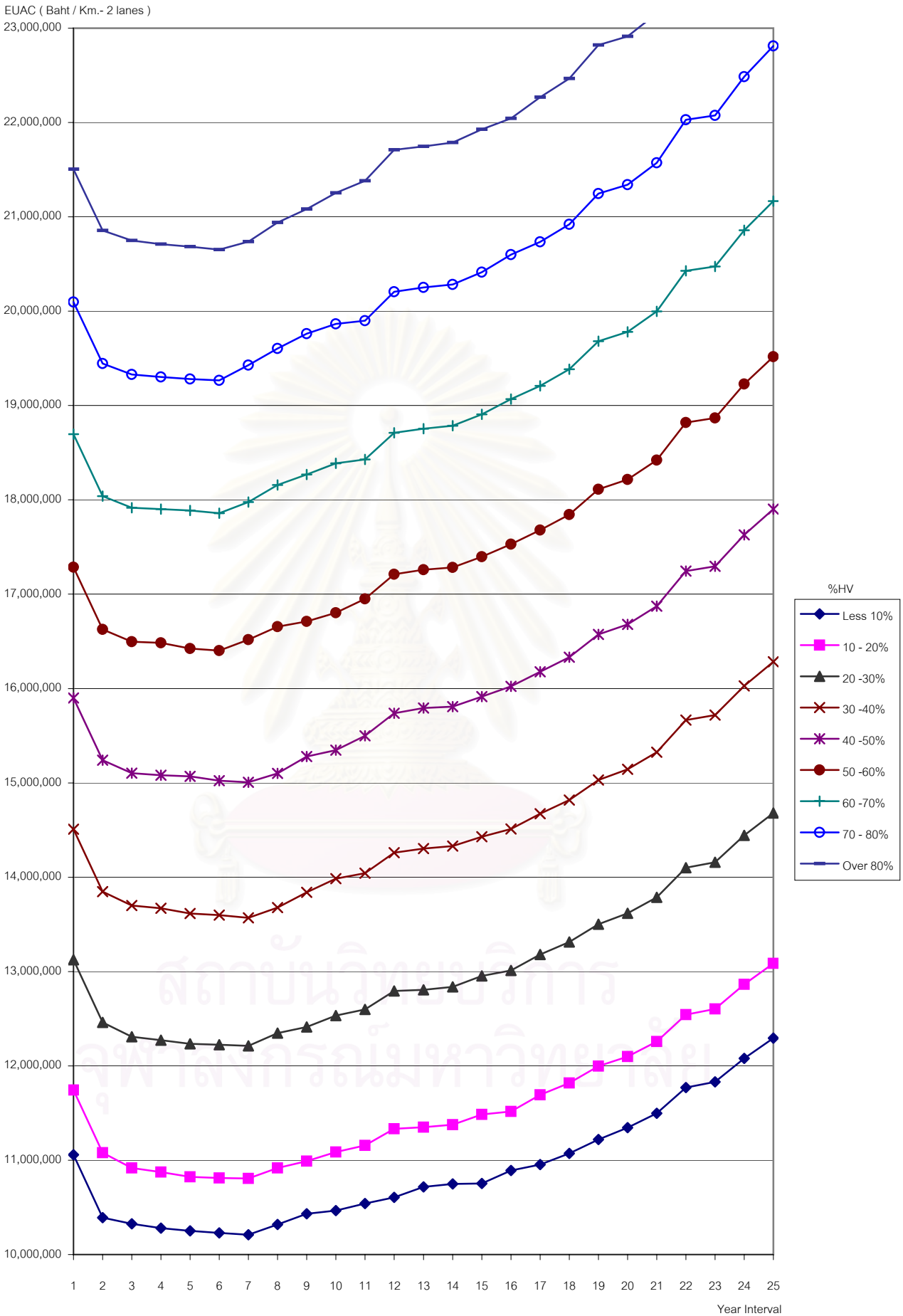
รูปที่ จ-3: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 501-1000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



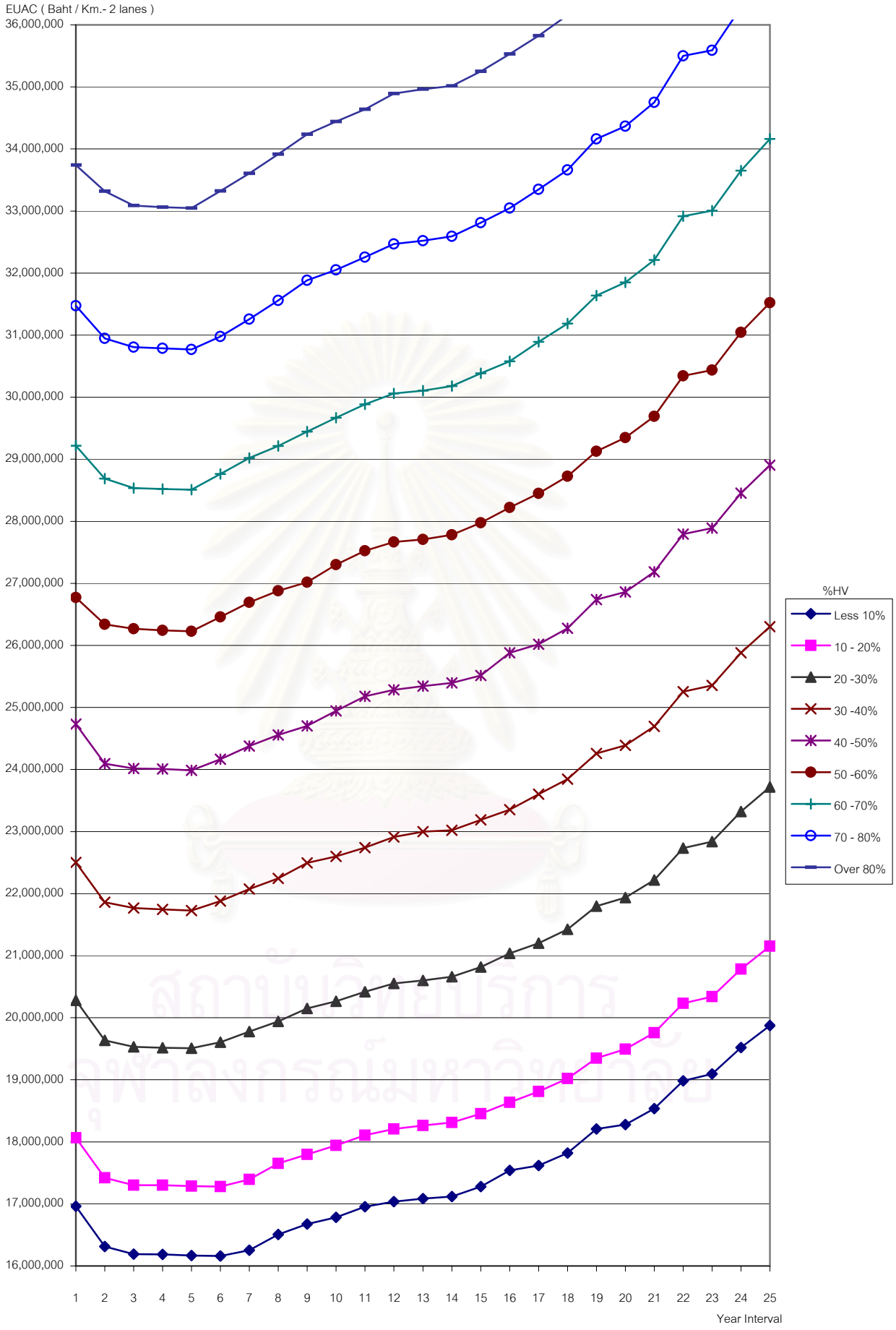
รูปที่ จ-4: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 1001-2000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



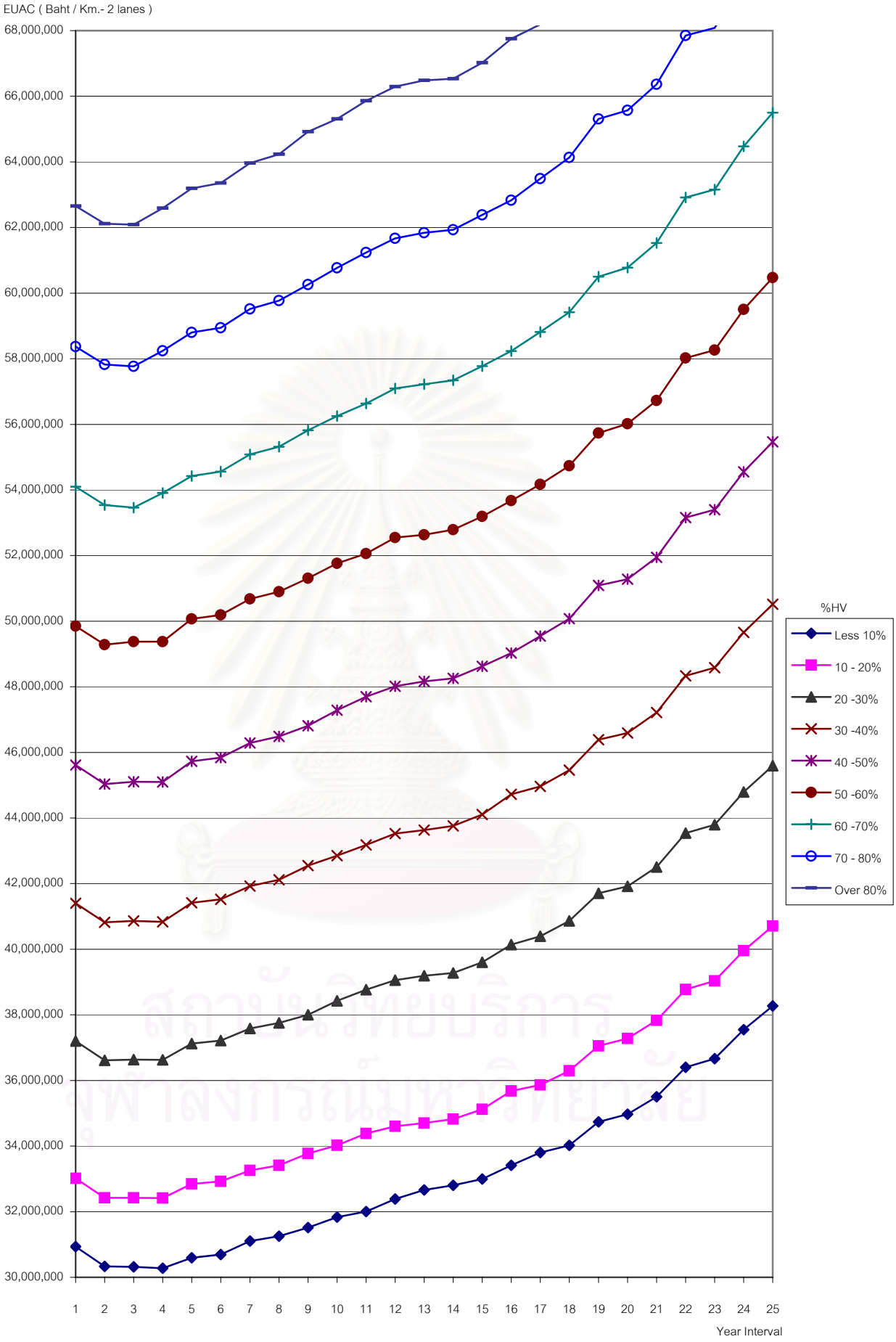
รูปที่ จ-5: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 2001-4000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



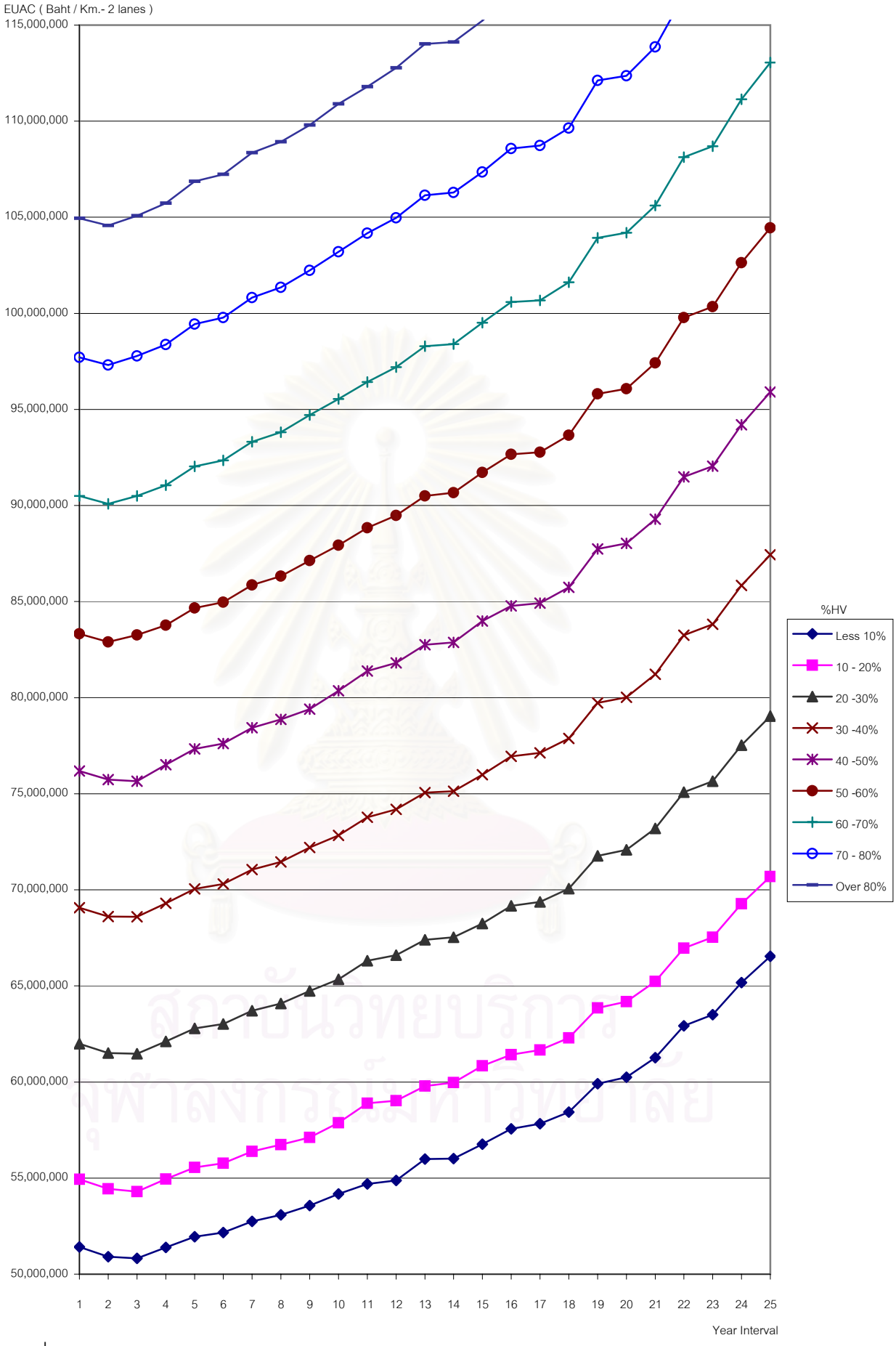
รูปที่ จ-6: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 4001-6000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



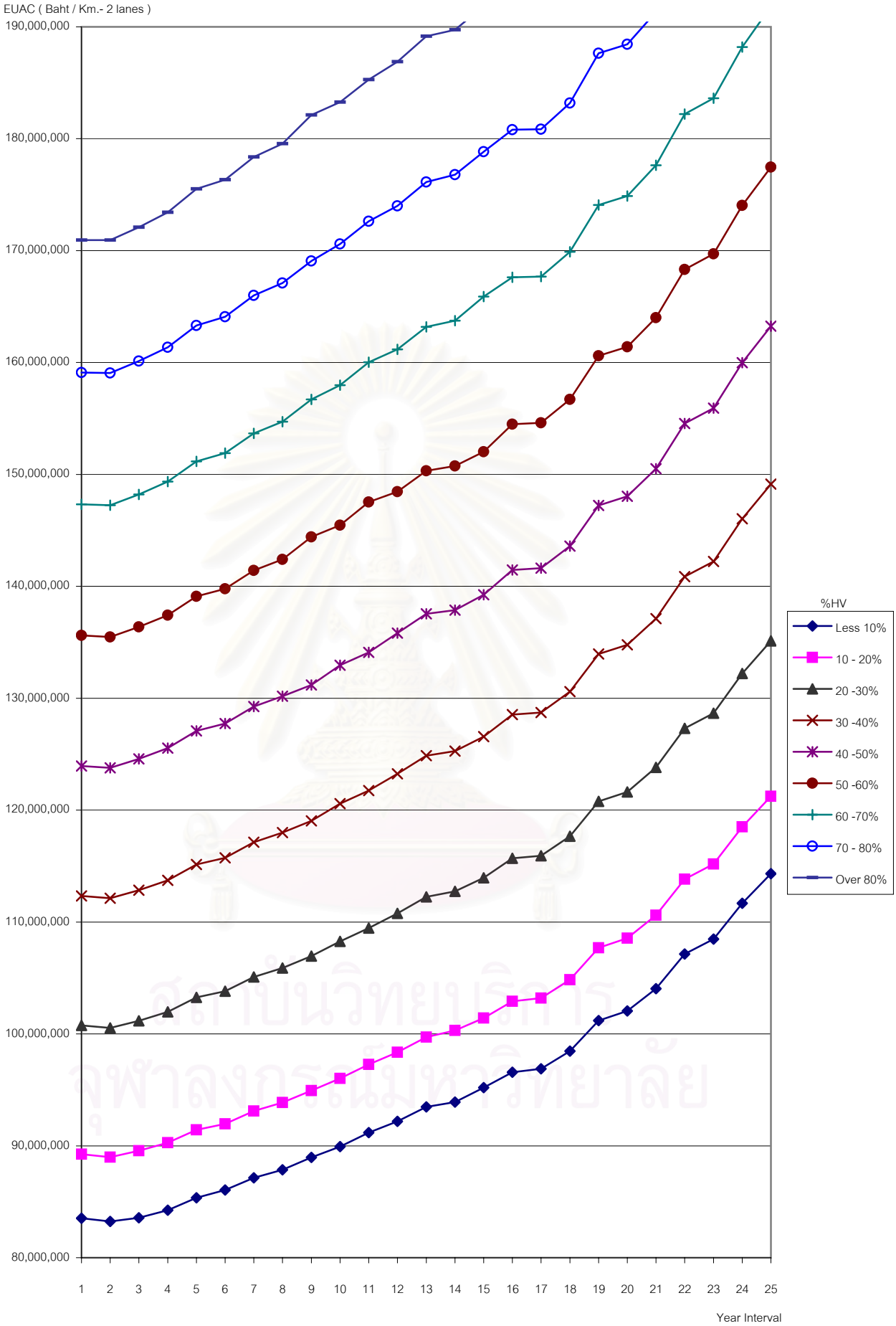
รูปที่ จ-7: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 6001-10000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



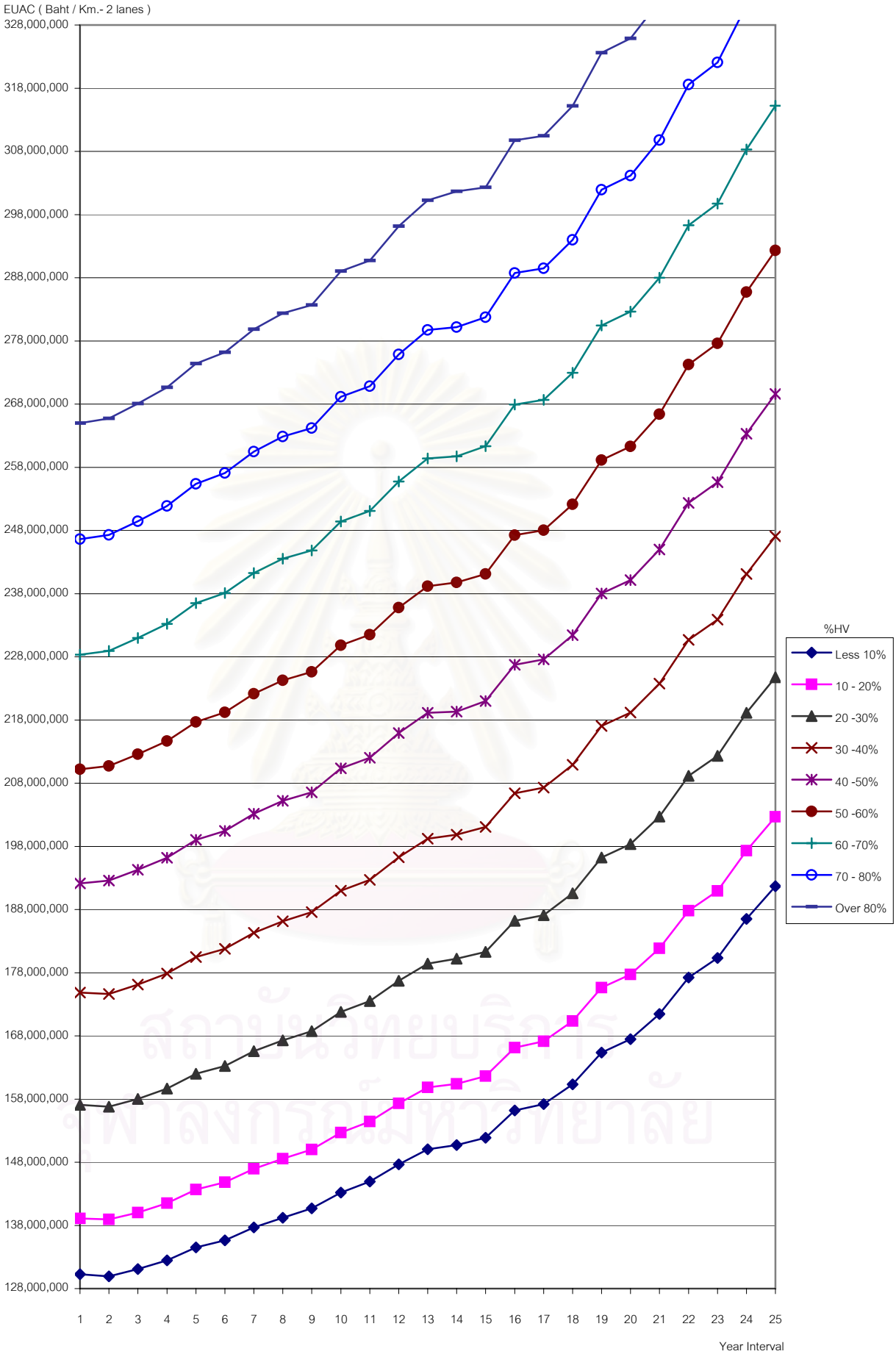
รูปที่ จ-8: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 10001-20000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



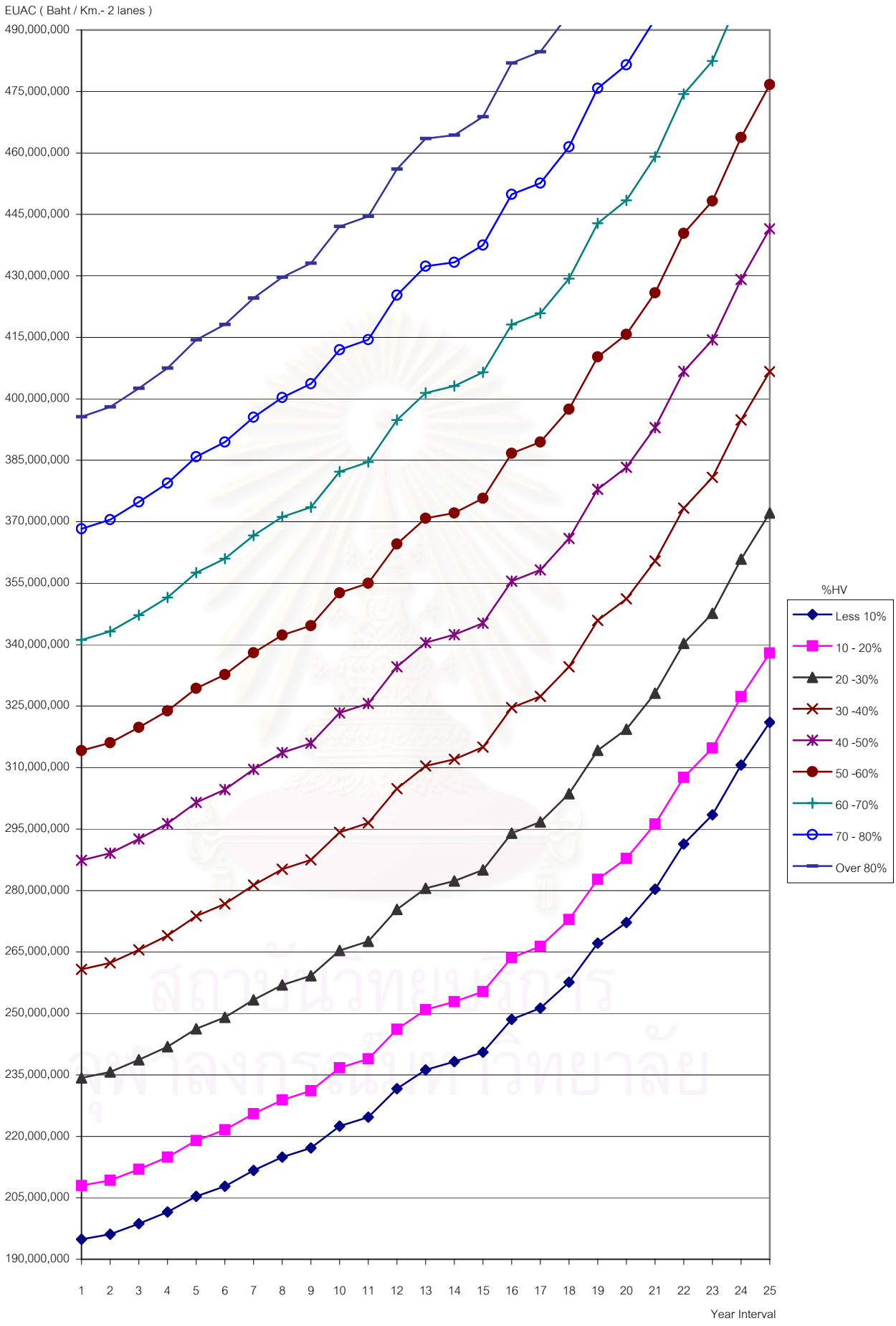
รูปที่ จ-9: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 20001-30000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



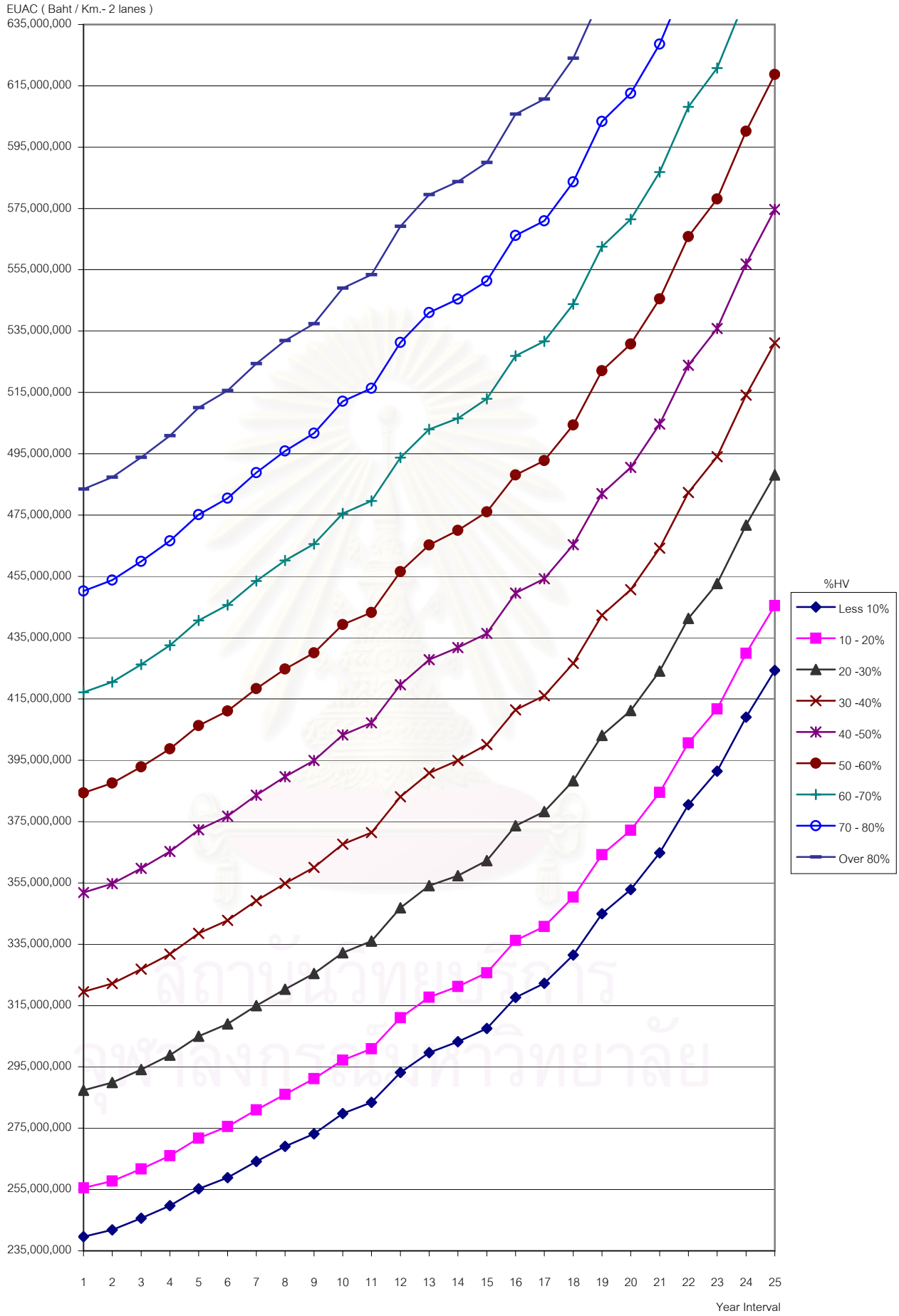
รูปที่ จ-10: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 30001-50000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



รูปที่ จ-11: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 50001-70000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



รูปที่ จ-12: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรระหว่าง 70001-100000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ



รูปที่ จ-13: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EUAC และคาบเวลาซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 100000 คันต่อวัน และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ

ประวัติผู้เขียน

นายกชกร โง้วศิริ เกิดวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2516 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541 ปัจจุบันรับราชการที่ สำนักแผนและโครงการทางหลวง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย