การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางโดยใช้แบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม

นาย ณัฐพล ทองกู้เกียรติกูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0994-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3 ก.ย. 2546
I20470436

OPTIMIZATION MODEL FOR PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING

Mr. Nuttaphon Thongkukiatkun

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 2002

ISBN 974-17-0994-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางโดยใช้แบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม
โดย	นาย ณัฐพล ทองกู้เกียรติกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ ลุวีระ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัฐพล ทองกู้เกียรติกูล: การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางโดยใช้แบบจำลองการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม. (OPTIMIZATION MODEL FOR PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING) อ. ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล, 162 หน้า: ISBN 974-17-0994-3.

แนวทางการบริหารงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงในปัจจุบัน ได้อาศัยเกณฑ์การบำรุงรักษาจาก 2 แนวทาง คือ ระบบ TPMS ซึ่งพิจารณาลำดับความสำคัญของการซ่อมบำรุงตามสภาพความเสียหายของผิวทางและอายุสายทางเป็นหลัก และระบบ TPMS Budgeting Module ซึ่งเป็นการพิจารณาวิธีบำรุงรักษาที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยข้อจำกัดในการใช้ TPMS Budgeting Module ได้แก่ ไม่สามารถปรับปรุงสูตรคำนวณและสมมติฐานตามสภาวะทางเศรษฐกิจได้เมื่อเวลาผ่านไป ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่สอดคล้องกับภาวะในปัจจุบัน และระบบสามารถเสนอแผนงานได้แบบปีต่อปีเท่านั้น อีกทั้งยังไม่มีการพิจารณาข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ ยังไม่เป็นคำตอบที่เหมาะสมกับสภาวะปัจจุบันที่สภาวะเศรษฐกิจเปลี่ยนแปลงไป งานวิจัยฉบับนี้ จึงได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Optimization Model) สำหรับคำนวณวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางเพื่อปรับปรุงการพิจารณางานบำรุงทางให้สามารถใช้เกณฑ์จาก ความเสียหายของผิวทาง ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และข้อจำกัดด้านงบประมาณร่วมกัน และสามารถพิจารณาวางแผนงบประมาณในระยะยาวได้

การพัฒนาแบบจำลอง ได้อาศัยข้อมูลจากฐานข้อมูลงานทางของกรมทางหลวง ได้แก่ ค่าดัชนีการเสื่อมสภาพของผิวทาง (IRI) ค่าความลาดชัน ความยาวของช่วงสายทาง และค่าปริมาณการจราจรของพาหนะแต่ละประเภท เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับประกอบการคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อมบำรุง คือค่าใช้จ่ายของภาครัฐที่ใช้ในงานซ่อมบำรุงแต่ละวิธี และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่เป็นค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ จากนั้นจึงกำหนดแนวทางการเลือกแผนงานบำรุงรักษา ซึ่งแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมนั้นสามารถพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการซ่อมบำรุงในแต่ละกรณีว่า แผนงานใดที่ก่อให้เกิดผลประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนหักด้วยค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงได้มากที่สุดในรูปของมูลค่าปัจจุบัน เมื่อกำหนดแนวทางในการพิจารณาเลือกแผนงานได้แล้ว จึงใช้รูปแบบสมการเชิงเส้นแทนสมการจุดประสงค์และสมการข้อจำกัดของแบบจำลองการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม (Optimization Model) ที่มีจุดประสงค์เพื่อเลือกกรณีของงานซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุด และไม่เกินวงเงินงบประมาณที่กำหนดไว้ โดยสามารถเปลี่ยนแปลงค่าสมมติฐานต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ได้ เช่น อัตราผลตอบแทนต่ำสุด และอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจร เป็นต้น

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นแผนงานบำรุงรักษาสำหรับช่วงสายทางที่อยู่ในระบบปัญหาว่า ช่วงสายทางใด จะทำการซ่อมบำรุงโดยวิธีใด ณ ปีปัจจุบัน หรือปีอื่น ๆ ถัดไปตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้ได้ค่าผลผลประโยชน์รวมของงานบำรุงทางสูงที่สุด โดยค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงทั้งหมดจะไม่เกินงบประมาณที่มีให้ในช่วงเวลานั้น ซึ่งผลลัพธ์นี้ สามารถช่วยการพิจารณาวางแผนงานซ่อมบำรุงทางโดยมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณได้ ทั้งแผนงานที่พิจารณาแบบปีต่อปีและแผนงานที่พิจารณาเป็นช่วงระยะเวลาเพื่อความยืดหยุ่นในด้านการพิจารณางบประมาณ นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงค่าสมมติฐานต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสมของสภาวะเศรษฐกิจ ซึ่งแนวทางการพัฒนาแบบจำลองนี้สามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้กับงานในลักษณะอื่นๆ ได้ต่อไปเช่นกัน

ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อนิสิต.....ณัฐพล ทองกู้เกียรติกูล.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2545	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4270319021: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: OPTIMIZATION / PAVEMENT MAINTENANCE / MODEL

NUTTAPHON THONGKUKIATKUN: OPTIMIZATION MODEL FOR PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WISANU SUBSOMPON, Ph.D., 162 pp. ISBN 974-17-0994-3.

In present, Thailand Department of Highways (DOH) manages pavement maintenance activities based on the result of TPMS and TPMS Budgeting Modules. TPMS is used to rate pavement performance, which usually depends on surface condition and pavement aging. TPMS Budgeting Module is employed to select the appropriate treatment based on economic analysis. However, TPMS Budgeting Module still has a few limitations. For instance, this module is unable to update the formula and assumptions according to the current situation, and does not consider budget limitation. Moreover, it can provide only year-by-year plan. This research has created the model for pavement maintenance planning, which can consider pavement performance with economic criteria as well as budgeting constraint to find the optimized plan for pavement maintenance in single or multi-years period.

The input data needed for this model is from current database of DOH. Such data is International Roughness Index, road gradient, section length, and average daily traffic by vehicle types. This data is used to calculate agency cost or maintenance cost and road user cost. The optimized maintenance plan is then chosen by comparing cost of each maintenance case. The benefit from road user cost saving and the agency cost from maintenance activity are considered in term of net present value. Linear equation is developed to define the objective and constraint functions that have an objective to find the highest benefit-cost value plan, under the budget constraint. Users can adjust assumptions for some parameters such as a minimum attractive rate of return and traffic growth rate.

The result of this model is sub-optimal maintenance plan for the selected road network in term of route section, treatment activity, and timing, which give the highest benefit - cost value plan within the budget limit. This result also helps users to select the suitable solution plan for pavement maintenance both single and multiyear period. In addition, the modifiable assumption of several parameters in this model makes the model more flexible when apply this model for any situation. Furthermore, this research methodology can be used to develop budgeting module for planning the maintenance activity of other infrastructure types.

Department	Civil Engineering	Student's signature Nuttaphon Thongkukiatkun
Field of study	Civil Engineering	
Academic year	2002	Advisor's signature W. Subsompon

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร. วิศณุ ทรัพย์สมพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยอย่างสูง อีกทั้งให้ความเอาใจใส่ดูแล และติดตามผลการทำวิจัยอย่างใกล้ชิดและสม่ำเสมอตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบทำให้ผลการวิจัยเกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ ซ่อวิเชียร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบูรณ์ ลุวีระ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงธอง นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมทางหลวงและข้าราชการ ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านข้อมูลและประสบการณ์ ตลอดจนความคิดเห็นที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งช่วยสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 6
1.4 วิธีการศึกษา 7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 การบำรุงรักษาทางในปัจจุบัน 9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำ Optimization 14
2.2.1 ลักษณะและตัวอย่างของปัญหา Optimization 14
2.2.2 องค์ประกอบของระบบ ในการใช้วิธี Optimization แก้ปัญหา 19
2.2.3 วิธีพิจารณาในการคำนวณค่าใช้จ่าย และแนวทางการพิจารณา แผนการซ่อมบำรุง 27
2.3 สรุป 32

บทที่ 3 การพัฒนาแบบจำลองและวิธีการดำเนินงานวิจัย 33
3.1 ลักษณะของปัญหางานบำรุงรักษาผิวทาง 33
3.2 การพิจารณาข้อกำหนดในการวิเคราะห์แบบจำลอง 41
3.2.1 การพิจารณาค่าที่ใช้ในการวัดผล 42
3.2.2 เกณฑ์การพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์ในการวางแผนงานบำรุงรักษา 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3 ผลกระทบของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน กรณีที่สายทาง
มีปริมาณการจราจรสูง 46
3.3 การพัฒนาแบบจำลอง 48
3.3.1 องค์ประกอบในการวิเคราะห์แบบจำลอง 48
3.3.2 รูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ 54
3.3.3 ลักษณะของแบบจำลองที่ได้ 54
3.4 การใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหา 58
3.4.1 เทคนิคในการแก้สมการแบบจำลอง 60
3.4.2 ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการในการใช้แบบจำลอง 63
3.4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ 64
3.5 สรุป 65

บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย 66
4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาโดยแบบจำลอง 66
4.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ 66
4.1.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษา 68
4.2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม 72
4.3 ปัญหาและข้อจำกัดของข้อมูล 79
4.4 สรุป 81

บทที่ 5 การทดสอบแบบจำลอง 82
5.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว 82
5.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องของการใช้งานแบบจำลอง 84
5.2.1 การพิจารณาเปรียบเทียบกับผลจากระบบวางแผนงานในปัจจุบัน 84
5.2.2 การพิจารณาผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎีการซ่อมบำรุงทาง 86
5.2.3 การเปรียบเทียบกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 90
5.3 การทดสอบความเชื่อถือได้ของแบบจำลอง 93

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4 สรุป 95

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 96

6.1 สรุปผลการวิจัย 96

6.2 ข้อเสนอแนะ 99

รายการอ้างอิง 102

ภาคผนวก 105

ภาคผนวก ก แบบจำลองที่ใช้หาค่าองค์ประกอบการวิเคราะห์ในแผนงานบำรุงรักษา 106

ภาคผนวก ข แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายงานบำรุงรักษาผิวทางโดยวิธีฉาบผิว 119

ภาคผนวก ค ตัวอย่างการวิเคราะห์หาแผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม 128

ภาคผนวก ง ตารางการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง 155

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 162

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง 2
ตารางที่ 1.2 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายงบประมาณของกรมทางหลวง 3
ตารางที่ 1.3 ความต้องการงบประมาณในการซ่อมบำรุงทางของกรมทางหลวง 4
ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การซ่อมบำรุงทางตามระยะเวลาของกรมทางหลวง 11
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การซ่อมบำรุงทางตามค่าดัชนีความเรียบของผิวทางของกรมทางหลวง 11
ตารางที่ 2.3 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทแบ่งตามกลุ่มปริมาณจราจรสำหรับ สายทางที่มีสัดส่วนรถหนัก 15% 29
ตารางที่ 3.1 มาตรฐานชั้นทางของกรมทางหลวง 33
ตารางที่ 3.2 การแบ่งช่วงของสภาพผิวทางตามค่าของ IRI 37
ตารางที่ 3.3 Treatment Matrix for TPMS Budgeting Module (AC Surface) 38
ตารางที่ 3.4 ค่าสถิติจากการสำรวจความเสียหายของผิวทางในความรับผิดชอบ ของกรมทางหลวง 39
ตารางที่ 3.5 Treatment Matrix ที่ได้ปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับวิธีการซ่อมบำรุงทาง ของกรมทางหลวงในปัจจุบัน 40
ตารางที่ 3.6 สัดส่วนเฉลี่ยค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทตลอดอายุการใช้งานแบ่งตามกลุ่ม สัดส่วนรถหนัก 47
ตารางที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองที่ 3.1 สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ 50
ตารางที่ 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองที่ 3.2 สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ 51
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของสายทางตัวอย่างที่นำมาพิจารณาวางแผนงานแบบปีต่อปี 69
ตารางที่ 4.2 ค่าปริมาณการจราจรของแต่ละสายทางต่อวันตามประเภทยานพาหนะ 69
ตารางที่ 4.3 แผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,900,000 บาท 70
ตารางที่ 4.4 แผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ 70
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลของสายทางตัวอย่างที่นำมาพิจารณาวางแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี 71
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลปริมาณการจราจรตามประเภทรถของ 2 สายทางตัวอย่าง 71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ตารางที่ 4.7 แผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,000,000 บาท 72
ตารางที่ 4.8 แผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ 72
ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงทั้ง 4 แบบ สำหรับสายทางที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นราบ 74
ตารางที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงทั้ง 4 แบบ สำหรับสายทางที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา 74
ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงทั้ง 4 แบบสำหรับสายทางที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินเขาสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง 75
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงทางที่เหมาะสมระหว่างผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมและจาก Treatment Matrix เมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ 85
ตารางที่ 5.2 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองตัวอย่างที่ 1 86
ตารางที่ 5.3 ค่าผลประโยชน์รวมจากการวิเคราะห์สายทางตัวอย่างในตารางที่ 5.2 87
ตารางที่ 5.4 ค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงทางทั้ง 3 จากสายทางตัวอย่างในตารางที่ 5.2 87
ตารางที่ 5.5 วิธีการซ่อมบำรุงแบบไม่พิจารณางบประมาณสำหรับสายทางทั้ง 3 87
ตารางที่ 5.6 วิธีการซ่อมบำรุงเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 300,000 และ 500,000 บาท 88
ตารางที่ 5.7 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองตัวอย่างที่ 2 88
ตารางที่ 5.8 ค่าผลประโยชน์รวมจากการวิเคราะห์สายทางตัวอย่างในตารางที่ 5.7 89
ตารางที่ 5.9 ค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงทางทั้ง 3 จากสายทางตัวอย่างในตารางที่ 5.7 89
ตารางที่ 5.10 วิธีการซ่อมบำรุงแบบไม่พิจารณางบประมาณสำหรับสายทางทั้ง 3 89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ตารางที่ 5.11 วิธีการซ่อมบำรุงเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 300,000 และ 500,000 บาท 90
ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบแผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทาง ตัวอย่างที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,900,000 บาท 91
ตารางที่ 5.13 การเปรียบเทียบแผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,000,000 บาท และไม่จำกัดงบประมาณ 92
ตารางที่ 5.14 ข้อมูลของสายทางตัวอย่างเพื่อทดสอบความเชื่อถือได้ของแบบจำลอง 93
ตารางที่ 5.15 แผนงานบำรุงรักษาที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในตารางที่ 5.14 94
ตารางที่ ก-1 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ 108
ตารางที่ ก-2 ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองที่ 3.2 สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ 109
ตารางที่ ก-3 ค่าเทียบเท่าของ PCU ของรถประเภทต่าง ๆ 111
ตารางที่ ก-4 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทางกับดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนโดยวิธี Backward 114
ตารางที่ ข-1 Factor สำหรับงานบำรุงทางแบบ Slurry seal 121
ตารางที่ ข-2 Traffic Factor สำหรับงานบำรุงทางแบบ Slurry Seal 122
ตาราง ข-3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิวทาง และดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างที่เกี่ยวข้อง ระหว่างปี 2536 – 2543 124
ตาราง ข-4 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทางกับดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนโดยวิธี Backward 125
ตารางที่ ค-1 ข้อมูลของสายทางตัวอย่างที่นำมาพิจารณา 130
ตารางที่ ค-2 ค่าปริมาณการจราจรของแต่ละสายทางต่อวันตามประเภทยานพาหนะ 130
ตารางที่ ค-3 ค่าใช้จ่ายของงานซ่อมบำรุงสายทางตัวอย่างทั้ง 7 ในปี 2542 เมื่อพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี 138
ตารางที่ ค-4 ผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุงสายทางตัวอย่างทั้ง 7 ในปี 2542 เมื่อพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี 138

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ตารางที่ ค-5 ค่าผลประโยชน์รวมของการซ่อมบำรุงสายทางทั้งหมดในปี 2542 เมื่อพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี 139
ตารางที่ ค-6 กรณีของงานซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด 25 กรณีแรก เมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,900,000 บาท 142
ตารางที่ ค-7: กรณีของงานซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด 25 กรณีแรก เมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ 143
ตารางที่ ค-8 แผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,900,000 บาท 144
ตารางที่ ค-9 แผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ 144
ตารางที่ ค-10 ค่าผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของช่วงสายทางที่ 4 147
ตารางที่ ค-11 ค่าผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของช่วงสายทางที่ 6 148
ตารางที่ ค-12 กรณีของงานซ่อมบำรุง 2 สายทางที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุด 25 กรณีแรก เมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 3 ปี จำกัดงบประมาณที่ 2,000,000 บาท 152
ตารางที่ ค-13 กรณีของงานซ่อมบำรุงสำหรับ 2 สายทางที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดโดยไม่จำกัดงบประมาณ 25 กรณีแรก เมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 3 ปี 153
ตารางที่ ค-14 แผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,000,000 บาท 154
ตารางที่ ค-15 แผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ 148
ตารางที่ ง-1 ค่าผลประโยชน์รวมที่ MARR = 0% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 156

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ตารางที่ ง-2 ค่าผลประโยชน์รวมที่ MARR = 7% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 157

ตารางที่ ง-3 ค่าผลประโยชน์รวมที่ MARR = 20% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 158

ตารางที่ ง-4 ค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร =5%, MARR = 12% และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 159

ตารางที่ ง-5 ค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร =10%, MARR = 12% และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 160

ตารางที่ ง-6 ค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร =-10%, MARR = 12% และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 161

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 ประเภทของปัญหา Optimization 15
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของระบบ Management System 19
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนและองค์ประกอบในการพิจารณาแผนงานบำรุงทาง 21
รูปที่ 3.1 กระบวนการในการพัฒนาแบบจำลอง 33
รูปที่ 3.2 ลักษณะของปัญหางานซ่อมบำรุงผิวทาง 42
รูปที่ 3.3 สมมติฐานของระยะเวลาที่พิจารณาในแผนงานซ่อมบำรุงทาง 44
รูปที่ 3.4 สมมติฐานการคิดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุง 44
รูปที่ 3.5 แบบจำลองต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่าองค์ประกอบ 49
รูปที่ 3.6 ลักษณะการวิเคราะห์ของแบบจำลอง 59
รูปที่ 3.7 การแก้ปัญหาโดย Integer problem โดยวิธี Branch and Bound 60
รูปที่ 3.8 จำนวนกรณีทั้งหมดของแผนงานซ่อมบำรุง 62
รูปที่ 3.9 ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการในการใช้แบบจำลอง 63
รูปที่ ก-1 การนำค่าจากแบบจำลองผลกระทบจากการทำฉาบผิวมาใช้ 110

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ถนนนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศ ซึ่งการพัฒนาระบบทางหลวงได้เป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ จากตัวเลขอ้างอิงตามประเทศที่พัฒนาแล้ว ความต้องการถนนเพื่อให้เกิดความทั่วถึงกันในทุกหมู่บ้านและตำบลในประเทศไทยตามแผนที่เป็นความยาวประมาณ 300,000 กิโลเมตร โดยมีหลายหน่วยงานรับผิดชอบในงานทางหลวง เช่น กรมทางหลวง กรมโยธาธิการ สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท เทศบาลและหน่วยงานอื่น ๆ ซึ่งมีความยาวทางหลวงในปัจจุบันประมาณ 140,000 กิโลเมตร ซึ่งนับว่ายังจะต้องมีการก่อสร้างถนนอีกจำนวนมากเพื่อขยายสายทางให้เพียงพอกับความต้องการ

จากการที่มีปริมาณของสายทางเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ทำให้ประเทศไทยรวมทั้งกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลาย ประสบปัญหาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อมบำรุงถนนที่ได้ก่อสร้างเอาไว้ เมื่อสายทางเหล่านี้ได้ถึงกำหนดเวลาที่ต้องทำการซ่อมบำรุงพร้อม ๆ กัน ดังที่ได้เคยเกิดขึ้นแล้วในประเทศพัฒนาแล้วทั้งในอเมริกาและยุโรป อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเหล่านี้ยังมีสัดส่วนเป็นเงินจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับงบประมาณที่ได้รับ ปัญหาในด้านการบริหารงานบำรุงรักษาทางจึงเป็นส่วนสำคัญที่ควรมีการพิจารณาถึง

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

หลังจากที่มีการก่อสร้างและเปิดใช้บริการถนนแก่ผู้ใช้แล้ว งานที่สำคัญในลำดับต่อมาก็คืองานบำรุงรักษาถนนเพื่อให้ถนนอยู่ในสภาพการใช้งานที่ดีและมีอายุการใช้งานได้ยืนยาว สำหรับประเทศไทยในการดำเนินการที่ผ่านมา กรมทางหลวงซึ่งเป็นหน่วยงานราชการหนึ่งที่รับผิดชอบการก่อสร้างและซ่อมบำรุงถนนปริมาณกว่าครึ่งหนึ่งของสายทางทั้งหมดในประเทศไทย สามารถดูแลรักษาสภาพทางหลวงในความรับผิดชอบได้ดีในระดับหนึ่ง ซึ่งจากข้อมูลในปี พ.ศ.2543 กรมทางหลวงมีถนนในความรับผิดชอบทั้งสิ้นประมาณ 55,641 กิโลเมตร โดยมีงบประมาณทางด้านการบำรุงรักษาทั้งหมดประมาณ 9,797.5 ล้านบาท คิดเป็นประมาณ 20% ของงบประมาณทั้งหมด และนับว่ามาเป็นที่สองรองจากงบประมาณทางด้านก่อสร้างทาง[1] อย่างไรก็ตามถ้าเทียบกับปริมาณถนนที่มีอยู่ทั้งหมดแล้วก็นับว่าเป็นงบประมาณที่น้อยเกินกว่าที่จะสามารถดูแลสายทางให้อยู่ในสภาพที่ดี

---

[1] ที่มา: เว็บไซต์กรมทางหลวง http://www.doh.motc.go.th/, 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2543

ทั้งหมดได้ จากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณจึงทำให้ต้องมีการเลือกวิธีการและเส้นทางที่จะต้องมีการซ่อมบำรุง กรมทางหลวงจึงได้มีการนำระบบบริหารงานบำรุงทาง (Pavement Management System) มาใช้เพื่อช่วยในการจัดสรรงบประมาณในการซ่อมบำรุงผิวทางที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระยะทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงแสดงได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1: แสดงระยะทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง

ภาค	ทางบำรุง (กม.) ระยะทางต่อ 2 ช่องจราจร					ทางก่อสร้างและรักษาสภาพ (กม.)	รวมระยะทางทั้งสิ้น (กม.)
	คอนกรีต	ลาดยาง	ลูกรัง	รวม	ระยะทางจริงที่วัดได้		
เหนือ	311	13,125	771	14,207	13,666	1,180	14,846
ตะวันออกเฉียงเหนือ	679	14,898	122	15,699	14,986	673	15,659
กลาง	3,192	11,592	238	15,022	11,482	570	12,052
ใต้	315	9,866	109	10,290	8,990	708	9,698
รวม	4,497	49,481	1,240	55,218	49,124	3,131	52,255

สถานะข้อมูล : 31 พฤษภาคม 2542

ในแต่ละปี กรมทางหลวงมีค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการดำเนินการอยู่ 4 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ค่าใช่จ่ายในการบริหาร และค่าใช้จ่ายในงานจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน

จากข้อมูลงบประมาณของกรมทางหลวงระหว่างปี 2540–2542 (รายงานประจำปี 2541-2542 กรมทางหลวง) ได้แสดงสัดส่วนของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทดังตารางที่ 1.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.2: สัดส่วนของค่าใช้จ่ายงบประมาณของกรมทางหลวง

ปีงบประมาณ / งบประมาณ	2540	2541	2542
ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง	57.47%	70.18%	59.18%
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	20.39%	14.40%	20.45%
ค่าใช้จ่ายในงานบริหาร	7.18%	7.41%	9.60%
ค่าใช้จ่ายในงานจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน	14.96%	8.01%	10.77%
งบประมาณรวม (ล้านบาท)	69,044	63,288.5	49,204
(คิดเป็น % ของงบประมาณประเทศ)	(7.46)	(7.91)	(5.96)

จะเห็นได้ว่างบประมาณในส่วนของการก่อสร้างจะสูงที่สุด รองลงมาคือ งานบำรุงรักษา งานจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน และงานบริหารตามลำดับ ซึ่งในอดีตที่ผ่านมางานก่อสร้าง ปรับปรุง ขยายช่องทางจราจร จะเพิ่มขึ้นทุกปี ยกเว้นในช่วงที่เกิดภาวะเศรษฐกิจตกต่ำทำให้งบประมาณในส่วนนี้ถูกจำกัด ส่งผลให้เกิดการโครงการใหม่ลดลง แต่ความจำเป็นที่จะต้องมีการก่อสร้างทางใหม่เพื่อการขยายตัวของประเทศก็เป็นสิ่งจำเป็น เมื่อจำนวนเส้นทางมีมากขึ้นผลที่ตามมาก็คือ ค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นนอกเหนือจากการก่อสร้างทางแล้ว การบำรุงรักษาก็เป็นส่วนสำคัญที่จำเป็นต้องมีการวางแผนและการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด เพราะนอกจากจะเกี่ยวพันกับค่าใช้จ่ายของทางรัฐแล้ว ก็ยังเกี่ยวพันกับค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้รถใช้ถนนต้องสูญเสีย เช่น ค่าน้ำมัน ค่าซ่อมบำรุง ซึ่งสัมพันธ์กับสภาพของถนนด้วยเช่นกัน

จากการดำเนินการที่ผ่านมา กรมทางหลวงใช้งบประมาณประมาณ 17 – 20 % ของงบประมาณที่กรมทางหลวงได้รับในแต่ละปี ในการดูแลบำรุงรักษาทางหลวงให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตาม งบประมาณดังกล่าวยังไม่เพียงพอสำหรับการบูรณะปรับปรุงทางหลวงที่หมดอายุการใช้งาน หรือทางที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกที่สูงกว่าที่ได้ออกแบบไว้ จากการวิเคราะห์ความต้องการงบประมาณตามระบบ Thailand Pavement Management System (TPMS) ในปี 2540 พบว่าความต้องการสำหรับการเสริมผิวแอสฟัลท์ (Overlay) ประมาณ 10,259 ล้านบาท และการบูรณะ (Rehabilitation) ประมาณ 3,943 ล้านบาท สำหรับความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้ ต้องการการบำรุงทางที่ถูกต้องตามกำหนดเวลา หากต้องมีการชะลอออกไป จะทำให้เกิดความเสียหายมากขึ้น ซึ่งหมายถึงต้องใช้งบประมาณที่สูงขึ้นตามไปด้วย

นอกจากนี้ จากการศึกษาของธนาคารโลก (Paterson and William, 1987) พบว่า การชะลอหรือการลดงบประมาณการบำรุงทางลงทุก 1 หน่วย จะทำให้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถ (Road User Cost) เพิ่มขึ้น 2 –3 หน่วย ค่าใช้จ่ายเหล่านี้เป็นเหตุให้ค่าขนส่งโดยรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้ประกอบการขนส่งจะต้องนำไปรวมอยู่ในค่าขนส่ง ดังนั้นการชะลอการซ่อมบำรุงหรือลดงบประมาณ นอกจากจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงมากขึ้นแล้ว ยังทำให้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ค่าขนส่งโดยรวมสูงขึ้นอีกด้วย

จากข้อมูลความต้องการงบประมาณในการซ่อมบำรุงทางที่วิเคราะห์โดยกรมทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 1.3 พบว่าความต้องการงบประมาณสำหรับงานซ่อมบำรุงเหล่านี้ทั้งหมด มีมูลค่าสูงกว่างบประมาณที่ได้กำหนดไว้ถึง 2-3 เท่า ทำให้การบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวงไม่สามารถดำเนินการได้ตามกำหนดเวลาครบทุกสายทาง จึงมีการกำหนดหลักเกณฑ์เพื่อคัดเลือกสายทางที่จะซ่อมบำรุงโดยใช้ระบบการบริหารงานบำรุงทางเรียกว่าระบบ TPMS ซึ่งจะมีการพิจารณาจากข้อมูลลักษณะความเสียหาย ปริมาณความเสียหาย และ ความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อให้การใช้งบประมาณมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.3: ความต้องการงบประมาณในการซ่อมบำรุงทางของกรมทางหลวง

ปี งบประมาณ / งบประมาณ	2541	2542	2543
งบประมาณในการซ่อมบำรุงที่ได้รับอนุมัติ (Actual O&M budget): ล้านบาท	8,345	9,798	11,322
งบประมาณที่ต้องการ (Necessary budget): ล้านบาท	17,000	18,000	20,000

ในปัจจุบันระบบการบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวงอาศัยข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจด้านงบประมาณและแผนงานบำรุงทางจากระบบ TPMS ซึ่งจะแนะนำวิธีการซ่อมบำรุงและจัดลำดับความสำคัญของงานซ่อมบำรุงทาง โดยพิจารณาจากลักษณะของถนนนั้นและสภาพความเสียหาย และจากระบบ TPMS Budgeting Module ซึ่งแนะนำวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุดจากการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ มาประกอบกันเพื่อช่วยการวางแผนงบประมาณ

กรมทางหลวงได้เริ่มนำระบบบริหารงานบำรุงทางมาใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2527 โดยนำระบบ BSM (Burrow and Snaith Management system) ที่พัฒนาในประเทศอังกฤษ มาปรับปรุงระบบให้เข้ากับสภาพถนนและการจราจรในประเทศไทย แล้วเรียกระบบนี้ว่าระบบ TPMS (Thailand

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pavement Management System) ซึ่งระบบ TPMS ที่พัฒนามาจากระบบ BSM นั้นจะแนะนำวิธีซ่อมบำรุงและจัดลำดับความสำคัญจากปริมาณความเสียหาย ลักษณะความเสียหาย และปริมาณจราจร ผลการวิเคราะห์ที่ได้มักจะไม่สอดคล้องกับการวางแผนงานบูรณะโดยกองวางแผนซึ่งพิจารณาจากความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ ทำให้ประสบปัญหาในการพิจารณาจัดสรรงบประมาณ ในปี 2532 กรมทางหลวงจึงได้ว่าจ้างบริษัท N.D. Lea International เพื่อทำการปรับปรุงระบบ TPMS ให้สามารถพิจารณางบประมาณด้านการซ่อมบำรุงทางโดยมีการพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจร่วมด้วย ซึ่งบริษัท N.D. Lea ก็ได้นำแบบจำลอง HDM-III ซึ่งพัฒนาโดยธนาคารโลก มาปรับปรุงใหม่ให้มีความสอดคล้องกับสภาพถนนของประเทศไทย โดยนำผลการศึกษาเรื่องความเสียหายของถนนที่กรมทางหลวงดำเนินการร่วมกับ UK Transportation and Road Research Laboratory (TRRL) ตั้งแต่ปี 2527 มาใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าการทำนายพฤติกรรมถนนในโมเดล Highway Design Standard and Maintenance Model (HDM-III) และเรียกว่า TPMS Budgeting Module และได้เริ่มมีการใช้ระบบนี้ในทุกสำนักของกรมทางหลวงตั้งแต่ปี 2537 เป็นต้นมา

จากบทความเรื่อง "ระบบบริหารงานบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวง" โดย เทียนโชติและสุรชัย (2543) ได้กล่าวถึงปัญหาในการใช้ระบบการบริหารงานบำรุงทางในปัจจุบันดังนี้

1. ระบบที่นำมาใช้เป็นระบบที่พัฒนามาจากต่างประเทศที่นำมาปรับปรุงใช้ในประเทศไทย ซึ่งกรมทางหลวงไม่ทราบข้อมูลการปรับปรุงสูตรคำนวณ ทำให้ไม่มีการปรับปรุงข้อมูลด้านค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน
2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มาจากหลายแหล่ง เช่น จากกองบำรุง สำนักวิศวกรรมจราจร สำนักวิเคราะห์และวิจัย ซึ่งบางครั้งข้อมูลไม่ตรงกันทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาด
3. แผนงานที่ระบบ TPMS และ TPMS Budgeting Module เสนอ เป็นแผนงานปีต่อปีไม่สามารถกำหนดแผนระยะยาวได้
4. ระบบ TPMS เดิมจะพิจารณาวิธีการซ่อมบำรุงจากความเสียหายอย่างเดียว ทำให้แผนการบำรุงทางไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์
5. ระบบ TPMS Budgeting Module มีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ แต่ใช้ช่วงระยะเวลาพิจารณาคือ 30 ปี ซึ่งยาวเกินไป ไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์
6. การวิเคราะห์ทั้งสองระบบคือ TPMS และ TPMS Budgeting Module ยังไม่มีการวิเคราะห์โดยพิจารณาข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ (Budgeting constraint)

7. ระบบเสนอวิธีการซ่อมบำรุงแต่เฉพาะแต่ละช่วงย่อย 200 เมตร เท่านั้น และ ผู้ใช้ไม่สามารถเลือกวิธีการซ่อมบำรุงได้เอง เมื่อพิจารณาเป็นช่วงสายทางที่ยาวขึ้นจากการรวมช่วงย่อยนั้น
8. ทั้ง TPMS Budgeting Module และระบบ TPMS ยังใช้กับระบบคอมพิวเตอร์คือ MS DOS และ BTOS ที่ล้าสมัย ซึ่งใช้ยากและไม่เหมาะสมกับเทคโนโลยีที่มีในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Optimization Model) ในการคำนวณสำหรับการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง เพื่อปรับปรุงระบบในการคำนวณสำหรับพิจารณาการบริหารงานบำรุงทางจากเดิม (TPMS และTPMS budgeting module) ให้สามารถอาศัยเกณฑ์ในการตัดสินใจจากความเสียหายของผิวทาง การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ และข้อจำกัดทางด้านงบประมาณร่วมกัน และสามารถพิจารณาสำหรับการวางแผนงบประมาณในระยะยาวได้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาเฉพาะสายทางที่เป็นทางลาดยาง (Flexible Pavement) และอยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงเท่านั้น
2. การพิจารณาเกณฑ์ที่เหมาะสมในงานบำรุงตามกำหนดเวลา จะอ้างอิงจากเกณฑ์เดิมเพื่อให้สอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงของกรมทางหลวงในปัจจุบัน
3. ข้อมูลที่ใช้ในด้านการวิเคราะห์ต้นทุน จะใช้เฉพาะต้นทุนทางตรงที่สามารถวัดมูลค่าได้และเห็นได้อย่างชัดเจนเท่านั้น ได้แก่ ต้นทุนในการซ่อมบำรุงและต้นทุนของผู้ใช้ถนน โดยไม่รวมถึงต้นทุนทางอ้อม เช่น ต้นทุนสภาพแวดล้อม มูลค่าการเกิดอุบัติเหตุ หรือต้นทุนทางสังคม เป็นต้น
4. ข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะเป็นข้อมูลที่วัดได้ในเชิงปริมาณ เท่านั้น
5. อ้างอิงลักษณะการเสื่อมสภาพของผิวทาง ตามสมมติฐานของแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง (Deterioration Model) และอ้างอิงค่าใช้จ่ายและแนวโน้มของค่าใช้จ่ายทั้งในงานบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจาก แบบจำลองค่าใช้จ่าย (Cost Model) ที่ได้มีการวิเคราะห์ขึ้นจากสภาพผิวทางและค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาในประเทศไทย

1.4 วิธีการศึกษา

1.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- สำรวจและรวบรวมข้อมูลเชิงเอกสาร จากวารสารในประเทศไทยและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องเพื่อรวบรวมค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นและเหมาะสมในการประกอบเป็นโมเดลการคำนวณ
- รวบรวมข้อมูลและเอกสารจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง สภาพผิวทางของระบบทางหลวงที่กรมทางหลวงรับผิดชอบ วิธีการซ่อมบำรุงแต่ละแบบ เกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกการซ่อม ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อมบำรุง
- เก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์บุคคลในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษา เพื่อหาข้อมูลและแนวคิดประกอบการตัดสินใจ

1.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

- กำหนดลักษณะเงื่อนไขของผิวทาง เพื่อสามารถแยกประเภทของผิวทางที่มีอยู่ แต่มีปัจจัยและองค์ประกอบต่างกัน ได้แก่ สภาพความเสียหาย (ความเรียบ) ของผิวทาง มาตรฐานชั้นทาง ปริมาณจราจร (AADT) สัดส่วนของรถหนักที่วิ่งบนผิวทาง โดยให้เป็นเกณฑ์ที่สามารถบอกได้ถึงสภาพของช่วงเส้นทางนั้น ๆ
- วิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับต้นทุน (Cost Model) ซึ่งค่าใช้จ่ายหลัก ๆ ที่จะอาศัยแบบจำลองช่วยในการวิเคราะห์ ได้แก่
  - ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติ (Routine Maintenance Cost)
  - ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance Cost) ซึ่งจะแยกเป็น 2 โมเดลสำหรับการซ่อม 2 วิธีหลัก ๆ ที่กรมทางหลวงใช้ ได้แก่ วิธี Overlay (5 mm.) และวิธี Seal Coating
  - ค่าใช้จ่ายในงานบูรณะ (Rehabilitation)
  - ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน (User's cost) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่จะพิจารณา คือ ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (Vehicle Operating Cost, VOC) และค่าใช้จ่ายของเวลาเดินทาง (Travel Time Cost, TTC)

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองต้นทุนสำหรับงานบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธี Seal coating ส่วนแบบจำลองอื่น ๆ จะอ้างอิงจากแบบจำลองต้นทุนเดิมที่มีการวิเคราะห์ไว้

- วิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับพิจารณางานบำรุงรักษาทางแบบ Constrained- Linear Programming โดยมีสมการ Objective เป็นการหาผลรวมของค่าผลประโยชน์ในการซ่อมบำรุงหักด้วยค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่สูงที่สุด จากวิธีการซ่อมบำรุงและจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน และในส่วนของสมการข้อจำกัดจะเป็นสมการที่ได้มาจากเงื่อนไขของงานซ่อมบำรุงและข้อจำกัดทางงบประมาณ
- ใช้ตัวอย่างข้อมูลสายทางจริงส่วนหนึ่งของกรมทางหลวงมาคำนวณหาค่า Optimal จากแบบจำลอง โดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหาแบบ Linear Programming เพื่อได้ผลสรุปเป็นลักษณะของแผนงานซ่อมบำรุงว่า แผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมและไม่เกินงบประมาณจะมีปริมาณงานซ่อมถนนโดยวิธีใดปริมาณเท่าใด มีค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนเท่าไร และสามารถประมาณความต้องการงบประมาณสูงสุดสำหรับการบำรุงรักษาทางได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้ สำหรับช่วยในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางตามกำหนดเวลา โดยเป็นการปรับปรุงจากวิธีเดิมและนโยบายที่ใช้อยู่ให้สามารถพิจารณาผลในเชิงเศรษฐศาสตร์และข้อจำกัดทางงบประมาณร่วมกันได้ ทำให้สามารถปรับรูปแบบและสามารถขยายผลเพื่อนำไปใช้จริงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวางแผนงานเพื่อการบริหารงานบำรุงรักษาระบบทางหลวงที่ดีนั้น การพิจารณาถึงความเหมาะสมสอดคล้องกับวิธีการทำงานที่มีอยู่ และวิธีการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แก้ปัญหาอย่างถูกต้อง นับเป็นสิ่งสำคัญสิ่งแรกที่ควรคำนึงถึง ในบทนี้กล่าวถึงการศึกษาบทความทางวิชาการในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดแนวคิดของงานวิจัย ซึ่งแบ่งได้เป็นสองส่วนหลัก ๆ โดยในส่วนแรกจะเป็นเรื่องของวิธีในการบำรุงรักษาทางส่วนใหญ่ของประเทศไทย ซึ่งได้อ้างอิงรายละเอียดและเกณฑ์ในการพิจารณางานซ่อมบำรุงทางของกรมทางหลวง เพื่อให้สามารถเข้าใจสภาพและวิธีการซ่อมบำรุงทางในปัจจุบัน และส่วนต่อมาจะเป็นการสรุปการค้นคว้ารายงานและเอกสารทางวิชาการในหัวข้อเรื่องที่มีแนวคิดเกี่ยวข้องกับการประยุกต์เอาวิธีคำนวณแบบ Optimization มาใช้กับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทาง ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์อ้างอิงสำหรับเนื้อหาบางส่วนในงานวิจัยฉบับนี้และการศึกษาในหัวข้อที่ใกล้เคียงต่อไปได้

2.1 การบำรุงรักษาทางในปัจจุบัน

ในปัจจุบันหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานบำรุงรักษาทางในประเทศไทย ได้แก่ กรมทางหลวง ซึ่งได้มีหน่วยงานเฉพาะด้านการบำรุงรักษาและการพิจารณาแผนงานบำรุงรักษา โดยงานด้านการบำรุงทางในปัจจุบันของกรมทางหลวง สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. งานบำรุงปกติ (Routine Maintenance) เป็นงานบำรุงที่กระทำทุก ๆ ปี ตามปกติ โดยมีปริมาณงานไม่มากนัก เพื่อให้ทางหลวงอยู่ในสภาพการใช้งานได้ดีตามสมควรและป้องกันไม่ให้ความเสียหายลุกลามเพิ่มขึ้น ได้แก่ งานอุดรอยแตก งานปรับระดับ งานปะซ่อมผิวทาง งานทำความสะอาดเสริมแต่งทางหลวง เป็นต้น

2. งานบำรุงตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance) เป็นงานซ่อมบำรุงซึ่งจะต้องดำเนินการเมื่อได้กำหนดเวลาเพื่อให้คงสภาพ ขนาด และความแข็งแรง ให้ใกล้เคียงกับสภาพตอนสร้างเสร็จ เพื่อรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ งานฉาบผิวแอสฟัลท์ (Seal Coating) และงานเสริมผิวแอสฟัลต์ (Overlay) เป็นต้น

3. งานบำรุงพิเศษและบูรณะ (Special Maintenance and Rehabilitation) เป็นงานบำรุงและปรับปรุงทางหลวงที่ชำรุดเสียหายมากจนไม่สามารถซ่อมได้โดยวิธีการบำรุงปกติหรือตามกำหนด

เวลาได้ ให้คืนสู่สภาพดีเหมือนเดิม รวมทั้งการป้องกัน การแก้ไขปรับปรุงหรือเพิ่มเติมสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อให้การใช้ทางหลวงเป็นไปได้ด้วยความปลอดภัย

4. งานอำนวยความปลอดภัย (Road Safety) เป็นงานที่ทำเพื่อให้ทางหลวงได้รับการปรับปรุงและเพิ่มเติมความปลอดภัยในการใช้ทางหลวง ตามหลักวิศวกรรมจราจร ได้แก่ งานสะพานลอย ทางจักรยาน อุปกรณ์จราจรสงเคราะห์ เป็นต้น

5. งานฉุกเฉิน (Emergencies) เป็นงานซ่อมแซมแก้ไขทางหลวงที่เกิดความชำรุดเสียหายจากอุบัติภัยที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ โดยจะต้องทำการซ่อมแซมแก้ไขให้การจราจรสามารถผ่านได้ในชั้นแรก และซ่อมแซมให้คืนสู่สภาพที่เหมาะสมหรือตามแบบที่กำหนดในภายหลัง เพื่อให้ทางหลวงสามารถกลับใช้การได้ดังเดิมในเวลาอันสมควร ทั้งนี้อาจรวมถึงงานที่ทำเพื่อป้องกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำซากเป็นประจำทุกปี

จะเห็นได้ว่างานที่อยู่ในประเภทบำรุงรักษาเชิงป้องกันคือ งานบำรุงปกติและงานบำรุงตามกำหนดเวลา จะเป็นงานที่สามารถวางแผนล่วงหน้าเพื่อให้เกิดผลในการใช้งานถนนอย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียหายของถนนได้ ในปัจจุบันกรมทางหลวงมีลักษณะของงานบำรุงทาง ในรอบอายุของทาง 7 ปี ดังนี้ (สราวุธ, 2542)

- <u>งานบำรุงปกติ</u> จะเริ่มดำเนินการตั้งแต่หน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการบำรุงรักษารับมอบทางที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จ ตลอดไปทุก ๆ ปี จนกว่าจะหมดอายุของถนน หรือทำการบูรณะปรับปรุงเพิ่มมาตรฐานหรือก่อสร้างใหม่
- เมื่อทางหลวงมีอายุการใช้งานตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป สำหรับทางผิวลาดยางจำเป็นต้องมีการฉาบผิวทาง (Seal Coat) เพื่อเพิ่มความฝืดของผิวทาง กันน้ำซึม และทำการอุดรอยแตกของทาง อันเนื่องจากการเสื่อมสภาพของยางแอสฟัลท์ และต้องทำการเปลี่ยนยางอุดรอยต่อผิวคอนกรีต (Joint) สำหรับผิวทางคอนกรีต ต่อมาเมื่อถึงปีที่ 5-7 จะต้องมีการเสริมผิวแอสฟัลท์ (Overlay) เพื่อเสริมความแข็งแรงของทางเนื่องจากอายุของทางออกแบบให้ใช้งานได้ตามปริมาณการจราจรที่กำหนดระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงให้ทางหลวงสามารถใช้งานได้ดีเหมือนกับตอนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จงานในลักษณะดังกล่าวเรียกว่า <u>งานบำรุงตามกำหนดเวลา</u>
- ในทางหลวงบางเส้นทางที่เกิดความเสียหายมากกว่าปกติ เนื่องจากมีปริมาณการจราจรสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัด หรือไม่ได้รับการบำรุงที่ถูกต้องตามกำหนดเวลา จะต้องดำเนินการในลักษณะ <u>งานบำรุงพิเศษหรืองานบูรณะ</u> โดยลักษณะการซ่อมอาจจะต้องลงไปถึงชั้นพื้นทางหรือรองพื้นทาง ซึ่งใช้งบซ่อมบำรุงมาก ความเสียหายดังกล่าวอาจเกิดได้ตั้งแต่ปีที่ 3 เป็นต้นไป

- งานฉุกเฉิน เป็นงานที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ไม่ว่าจะเป็นความเสียหายของทางหลวงที่เกิดจาก จากอุบัติเหตุบนท้องถนน หรือภัยธรรมชาติต่าง ๆ

สำหรับการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา ซึ่งเป็นงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันประเภทหนึ่งของกรมทางหลวง มีข้อกำหนดที่เป็นเกณฑ์ในการซ่อมบำรุงอยู่ 2 แบบ ได้แก่

1) เกณฑ์การใช้ระยะเวลา (Time Interval) เป็นตัวกำหนด โดยแบ่งระยะของการซ่อมบำรุงตามประเภทของผิวทางและปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1: เกณฑ์การซ่อมบำรุงทางตามระยะเวลาของกรมทางหลวง

ชนิดของผิวทาง	ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อปี	ระยะเวลาการซ่อมบำรุง (ปี)
Bitumen	> 1,500	5
	750 – 1,500	6
	< 750	7
Leterite	> 750	2
	400 – 750	4
	150 – 400	6
	< 150	7

2) เกณฑ์การใช้ค่าดัชนีความเรียบของผิวทางเป็นตัวกำหนด (Roughness Intervention Level) ซึ่งในปัจจุบัน กรมทางหลวงได้ประยุกต์เกณฑ์จากค่า International Roughness Index (IRI) ตามมาตรฐานของธนาคารโลกมาใช้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2: เกณฑ์การซ่อมบำรุงทางตามค่าดัชนีความเรียบของผิวทางของกรมทางหลวง

ประเภทของสายทาง	ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (AADT)	งานบูรณะ		การบำรุงตามกำหนดเวลา		
		ระดับของ IRI ณ จุดปรับปรุง	ระดับของ IRI หลังปรับปรุง	ระดับของ IRI ณ จุดปรับปรุง	ระดับของ IRI หลังปรับปรุง	
					50 mm.	80 mm.
สายประธาน และสายรองประธาน		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: กองบำรุงทาง กรมทางหลวง พ.ศ. 2543

* ไม่มีการซ่อมบำรุงแบบ Overlay 80 mm. สำหรับทางหลวงจังหวัด

สำหรับการกำหนดแนวทางในการบริหารงานซ่อมบำรุงทางนั้น ทางฝ่ายรัฐจะกำหนดมาตรฐานสภาพทางจากสภาพบริการต่ำสุดที่ยอมรับได้ของผู้ใช้ทาง (Minimum Acceptable Level of Service) ซึ่งผู้ใช้ถนนทุกคนย่อมต้องการที่มีสภาพที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งในทางกลับกันการที่จะคงไว้ซึ่งสภาพทางที่ดีตลอดอายุการใช้งานก็จะต้องเกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านั้นก็ได้มาจากเงินภาษีของประชาชนหรือผู้ใช้ทางทั้งสิ้น ทำให้เกิดแนวความคิดในการหาเกณฑ์ที่เหมาะสม ที่สามารถทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่ำที่สุดหรือมีความสูญเสียน้อยที่สุด แต่เกิดประโยชน์หรือความคุ้มค่าสูงที่สุด โดยมีข้อจำกัดจากการที่มีงบประมาณไม่เพียงพอต่อการทำให้สภาพผิวทางของถนนทุกสายอยู่ในสภาพที่ดีที่สุดตลอดได้ ซึ่งแนวทางหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาอย่างมากในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา และเป็นที่ยอมรับว่าเป็นวิธีที่สามารถหาค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการแก้ปัญหาที่มีข้อจำกัด ก็คือ การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Optimization Model) ซึ่งการนำเอาวิธี Optimization เข้ามาใช้ช่วยในการแก้ปัญหาในทำงานของมนุษย์นั้น ในช่วงแรกนั้นนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในทางธุรกิจอุตสาหกรรมและการผลิต ต่อมาเมื่อได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี โดยสามารถทำการคำนวณแก้สมการปัญหาได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ทำให้วิธีการนี้แพร่หลาย ผู้ใช้และนักวิจัยจึงเห็นประโยชน์และนำเอาวิธีการทำงานต่างๆ มาพัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ในการพิจารณาทางด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ทั้งในด้านการขนส่ง การ การจัดสรรทรัพยากรต่างๆ รวมถึงใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง และการบำรุงรักษางานโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน สะพาน ระบบท่อ ได้อีกด้วย

หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์เพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสมสำหรับงานซ่อมบำรุงนั้น ปัจจุบันอาศัยหลักการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแนวความคิดในการนำเอาการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์มาใช้ร่วมกับการพิจารณาในงานบำรุงรักษาทาง ได้เริ่มมีการวิจัยและทดลองใช้อย่างจริงจังมาตั้งแต่ช่วงกลางของปีทศวรรษที่ 80 ในประเทศสหรัฐอเมริกา พร้อม ๆ กับการตื่นตัวทางการศึกษาด้านการบริหารและการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน เนื่องจากเหตุผลหลัก ๆ (Hudson, et al., 1997) เช่น

- การเกิดการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสาธารณูปโภคที่ได้มีการก่อสร้างเอาไว้แล้ว
- การขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ถูกต้อง การป้องกันการเสื่อมสภาพ และการบูรณะสิ่งก่อสร้างให้มีสภาพที่ดี
- การขาดแคลนงบประมาณในการซ่อมบำรุง เนื่องจากรัฐเน้นการลงทุนเพื่อกระจายรายได้ในการก่อสร้างมากจนทำให้งบประมาณในการซ่อมแซมสิ่งก่อสร้างเหล่านั้นไม่เพียงพอเมื่อถึงเวลาที่ต้องซ่อมแซม
- รายงานทางการเงินซึ่งไม่แสดงถึงมูลค่าของสิ่งก่อสร้างรวมทั้งการซ่อมแซมที่ถูกต้อง

สำหรับการวางระบบวิธีเพื่อแก้ปัญหาให้มีประสิทธิภาพ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ การวางกรอบของปัญหา องค์ความรู้ที่มี และกระบวนการในการเรียนรู้ และเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหา โดยระดับของเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจในการเลือกแผนงานการซ่อมบำรุงสามารถแบ่งได้ตามระดับของความซับซ้อนและการพัฒนาของวิธีการคือ

1. เกณฑ์ที่กำหนดขึ้น (Prescribed) โดยมีการกำหนดวิธีการซ่อมและเงื่อนไขในการพิจารณาเอาไว้ตายตัว เพื่อง่ายต่อการตัดสินใจในการซ่อมแซม ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยากน้อยที่สุด แต่ยากต่อการวางแผนล่วงหน้า และการกำหนดการซ่อมแซมเมื่อเกิดปัญหาในด้านงบประมาณจำกัด เนื่องจากการที่ไม่สามารถประเมินความเสียหายได้

2. การจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมแซม (Priority by Rating) โดยจัดลำดับความสำคัญของความเสียหายที่จะต้องซ่อมแซมก่อนและหลังตามสภาพปัจจุบันของทาง เช่น ตามสภาพความเสียหายทางโครงสร้าง (Structure Rating) หรือตามสภาพการให้บริการของทาง (Serviceability Rating) ทำให้สามารถจัดแผนลำดับในการซ่อมบำรุงได้ แต่ข้อด้อยของวิธีนี้ก็คือยังขาดการพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทำให้แผนการซ่อมบำรุงจากการวิเคราะห์ไม่คุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์

3. การพิจารณาโดยวิธี Life Cycle Cost วิธีนี้มีการนำเอาการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาวิธีในการซ่อมบำรุง ซึ่งสามารถเลือกพิจารณาได้หลายรูปแบบ เช่น วิธี Equivalent uniform annual cost วิธี Present worth วิธี Rate of return วิธี Benefit-cost ratio วิธี Cost effective และพิจารณาแผนการซ่อมบำรุงทางในรอบอายุการบริการของสิ่งก่อสร้างนั้นว่าวิธีการใดที่สามารถทำให้โครงการมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงที่สุดและเหมาะสมในการนำมาใช้ แต่วิธีนี้ก็มีข้อจำกัดจากการนำแผนงานที่วิเคราะห์ออกมาแล้วไปใช้ได้ เช่น กรณีที่เกิดข้อจำกัดของงบประมาณทำให้ต้องเลือกสายทางที่จะซ่อมบำรุง และจากการที่ไม่สามารถเลือกเอาวิธีการหนึ่งจากวิธีการที่หลากหลายในการซ่อมบำรุงมาใช้คละกันได้

4. การพิจารณาโดยวิธี Optimization วิธีนี้มีพื้นฐานจากการคำนวณเพื่อหาค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดจากกลุ่มของค่าตัวเลขหนึ่งซึ่งมีขอบเขตกำหนดไว้ (Jelen, 1991) เมื่อนำมาประกอบเข้ากับการพิจารณาในการซ่อมบำรุง ค่าทางเศรษฐศาสตร์ และข้อจำกัดต่าง ๆ จึงทำให้สามารถแก้ปัญหาเพื่อวิเคราะห์หาแผนงานในการซ่อมบำรุงได้ดี ซึ่งวิธีการแก้ปัญหา Optimization สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- Mathematical programming ที่เป็นการหาค่าผลเฉลยในลักษณะตัวเลขจริง
- Heuristics ซึ่งมักเป็นวิธีการพิจารณาสำหรับปัญหาซับซ้อนขนาดใหญ่ และได้ค่า Sub optimal จากการพิจารณา

- Probabilistic approaches มีพื้นฐานจากการเลือกสุ่มค่าจากความเป็นไปได้ของสถานการณ์ต่าง ๆ
- Graphical solutions เป็นการพิจารณาค่า Optimum จากรูปและกราฟ

วิธีการแก้ปัญหาโดยวิธี Optimization นี้ เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันว่าสามารถช่วยในการวิเคราะห์แผนการซ่อมบำรุงทางได้ดีโดยสามารถพิจารณาถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ได้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำ Optimization

ดังที่กล่าวมาในข้างต้น การกำหนดลักษณะของปัญหารวมทั้งวิธีการแก้ปัญหาจากสมการคณิตศาสตร์นั้นสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ วิธีรูปกราฟฟิก และแบบอื่น ๆ แต่ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนที่เป็นการแก้ปัญหาโดยใช้การหาผลเฉลยจากสมการทางคณิตศาสตร์ และวิธีทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยทั้งในและต่างประเทศสามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ศึกษามาดังนี้

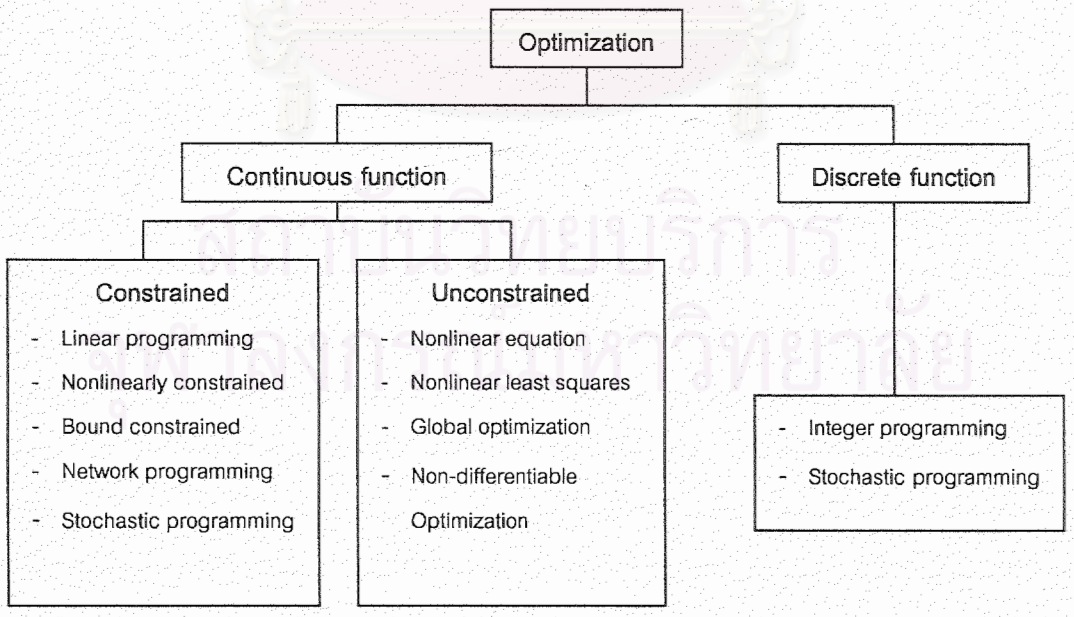
2.2.1 ลักษณะและตัวอย่างของปัญหา Optimization

ปัญหาการทำ Optimization เป็นการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยอาจเป็นการหาค่าน้อยที่สุดหรือมากที่สุดของตัวแปรที่เป็นเป้าหมาย จากปัญหาที่อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ในขณะที่สอดคล้องกับข้อจำกัดของปัญหาด้วย โดยมีการนำเอาวิธีนี้มาใช้ในการแก้ปัญหาเป็นเวลากว่าร้อยปีแล้ว เนื่องจากความสามารถในการแก้ปัญหาของวิธีดังกล่าว แต่ไม่เป็นที่นิยมนักเนื่องจากความซับซ้อนของทฤษฎีการคำนวณ ประกอบกับเทคนิคการคำนวณในสมัยนั้นที่ยังพัฒนาไปไม่มากเท่าปัจจุบัน ซึ่งมีการพัฒนาและนำวิธีการแก้ปัญหาในรูปของวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาใช้อย่างมากในสหรัฐอเมริกาในช่วง 50 ปี ที่ผ่านมา และเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากการคิดค้นและพัฒนาเทคนิคในการคำนวณ ประกอบกับเทคโนโลยีที่ช่วยในการคำนวณในปัจจุบันสามารถลดความยุ่งยากในการคำนวณลงได้มาก ซึ่งเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันว่าเป็นการหาผลเฉลยของค่าที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในปัจจุบัน

รูปแบบของปัญหา Optimization ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

1. Objective function ได้แก่สิ่งที่เราต้องการที่จะหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุด เช่น ในกระบวนการผลิต ผู้ผลิตย่อมต้องการที่จะให้ได้ค่ากำไรที่สูงสุดหรือค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกความต้องการของฟังก์ชั่นได้ โดยในปัญหา Optimization ปัญหาหนึ่งสามารถมี Objective function ได้มากกว่า 1 สมการ
2. กลุ่มของตัวแปร (Variables) ซึ่งมีผลต่อค่าของผลเฉลยจาก Objective function เช่น ในการพิจารณาปัญหาการผลิต ตัวแปรอาจประกอบด้วย ปริมาณของวัตถุดิบ เวลาในแต่ละกิจกรรม ค่าต้นทุน เป็นต้น
3. กลุ่มของข้อจำกัด (Constraints) ที่เป็นข้ออนุญาตสำหรับการใช้ตัวแปรในสมการ Objective function และอื่น ๆ เช่น ข้อจำกัดเรื่องการผลิตอาจได้แก่ การที่ไม่สามารถใช้เวลาได้เกินกว่าชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร หรือไม่สามารถผลิตได้ในขณะปริมาณของวัตถุดิบเป็นลบ เป็นต้น

ลักษณะของปัญหา Optimization สามารถแบ่งได้หลายประเภท โดยสามารถแบ่งตามลักษณะของสมการที่ใช้กำหนดปัญหาได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ Continuous function และ Discrete function ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1: ประเภทของปัญหา Optimization

รูปแบบของปัญหาแบบ Optimization ที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการบริหารงานบำรุงรักษาทาง และโครงสร้างสาธารณูปโภคอื่น ๆ กันมาก ได้แก่ Linear และ Nonlinear Programming โดยมีรูปแบบมาตรฐานของปัญหา Linear Programming คือ (Nash and Sofer, 1996)

$$\text{Min } \{ c^T x : Ax = b \ , \ x \geq 0 \}$$

โดยที่ $x \in \Re^n$ คือ เวคเตอร์ของตัวแปร

$c \in \Re^n$ คือ เวคเตอร์ของค่าใช้จ่าย (Cost vector)

$A \in \Re^{m \times n}$ คือ เมตริกซ์ของข้อจำกัด (Constraint matrix)

และ ปัญหาแบบ Nonlinear Programming จะมีรูปแบบมาตรฐาน คือ

$$\text{Min } \{ f(x) : C_i(x) \leq 0 \ , i \in I, C_i(x) = 0 \ , i \in \varepsilon \ ] \}$$

โดยที่ C_i ทุกตัวเป็นค่าจากการ mapping จาก $\Re^n$ ไปยัง $\Re^m$

I และ ε คือ index set ของ inequality และ equality constraints

ตัวอย่างของงานวิจัยที่มีผู้ใช้สมการแบบ Linear Programming เป็นสมการหลักสำหรับการวิเคราะห์ เช่น Majizadeh (1990), Harper and Majizadeh (1991), Grivas, et al. (1993), Wang, et al. (1994) และ Ravirala, et al. (1997) เป็นต้น นอกจากนี้งานวิจัยของ Markow, et al. (1993), Li, et al. (1997) และ Mamlouk (2000) ก็ได้ใช้สมการแบบ Non-linear Dynamic ในการวิเคราะห์หาวิธีในการซ่อมบำรุง

ลักษณะของปัญหาในทางการวางแผนบำรุงรักษา โดยส่วนมากมักจะเป็นแบบ Constrained Problem คือ มีการพิจารณาข้อจำกัดในการหาค่าสูงสุดของผลประโยชน์ (Maximize Benefit) หรือหาค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่าย (Minimize Cost) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในการวิเคราะห์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะต้องอาศัยข้อมูลค่าสภาพของผิวทาง จากการทำนายสภาพของผิวทางจาก Deterioration model รวมถึงวิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแต่ละประเภทมาเป็นตัวแปร เมื่อมีการนำเอาวิธีการเก็บข้อมูล และ Module ในการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ มาประกอบกันก็จะได้ระบบการจัดการซึ่งสามารถนำไปใช้กับการบริหารได้ดี และงานวิจัยส่วนใหญ่จะมีวิธีในการกำหนดค่าองค์ประกอบเป็นแบบ Discrete function เนื่องจากแบบจำลองการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพของโครงสร้างพื้นฐานนั้น นิยมกำหนดโดยใช้ Markov Model ซึ่งเป็นวิธีในการหาค่าความเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยหลักความน่าจะเป็น ที่สอดคล้องกับลักษณะการเสื่อมสภาพของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ

วิธีในการแก้ปัญหาของสมการนั้น สามารถทำได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับสมการที่เป็นตัวปัญหาว่าเป็นแบบใด โดยแต่ละแบบของสมการนั้นมีรูปแบบและวิธีการแก้ปัญหาได้หลายวิธี (Nash and Sofer, 1996) เช่น

- Linear (constrained): Graphical method, Simplex Method, Dual simplex method
- Unconstrained: Newton's method, Low-storage method
- Integer (Discrete): Cutting Planes, Branch and Bound
- Non-Linear: Feasible point method, Penalty and Barrier method, Interior point method, and Newton's method

นอกจากนี้ ยังมีรูปแบบปัญหาอื่น ๆ ที่มีวิธีเฉพาะในการแก้ปัญหา เช่น Network problem, Assignment problem, Transportation problem, Goal programming เป็นต้น ซึ่งสำหรับรายละเอียดของวิธีต่าง ๆ และกฎเกณฑ์ในการใช้เพิ่มเติม สามารถศึกษาได้จากหนังสือที่เกี่ยวข้องในเรื่อง Managerial Science

เนื่องจากความสามารถในการตอบสนองต่อการแก้ปัญหาที่มีข้อจำกัดได้ดีของวิธีนี้ จึงทำให้มีการนำวิธีการแก้ปัญหามาประยุกต์ใช้กับงานด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ผิวทางของถนนและสะพาน เป็นต้น ซึ่งได้มีงานวิจัยหลาย ๆ งานในอดีต ได้ใช้การแก้ปัญหาโดยวิธี Optimization เพื่อหาผลเฉลยเป็นแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสม โดยมีวิธีและรูปแบบของสมการปัญหาต่างกันออกไปตามองค์ประกอบในงานวิจัย เช่น

Chen, et al. (1995) ใช้ Optimization Model เพื่อปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาผิวทางเดิมของรัฐ Oklahoma ซึ่งมีการพิจารณาหาค่า Optimal เฉพาะการทำงานบำรุงปกติเท่านั้น โดยการหาค่าผลตอบแทนสูงสุดของทั้งระบบการซ่อมบำรุงผิวทาง ซึ่งอาศัยค่าการทำนายสภาพความเสียหายของถนนโดยใช้ Markov Model และหาค่าผลตอบแทนจากการคำนวณหา Benefit Index โดยมีสมมติฐานคือ สภาพของผิวทางที่ดีขึ้นและการสามารถรองรับปริมาณการจราจรที่สูงขึ้นได้ ก็จะก่อให้เกิดผลตอบแทนได้ นั่นคือใช้การแปลงกลับจากสภาพของผิวทางไปเป็น Benefit Index ได้ จากนั้นก็จะใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าสภาพของผิวทางโดยรวม เมื่อมีนโยบายงบประมาณแบบต่าง ๆ กัน

สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์นั้น สามารถเลือกวิธีการวิเคราะห์ได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลที่มี และความต้องการของหน่วยงานนั้น Harper, et al. (1991) ได้แบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ Optimization เป็น 3 ระดับซึ่งอาศัยวิธีการพิจารณาแบบ Markovian linear programming decision techniques คือ ระดับแรกจะเป็นส่วนที่ใช้หาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการพิจารณาแบบระยะยาว (Steady State Model) ซึ่งจะทำให้สามารถหาเป้าหมายสำหรับการพิจารณา

ในกรณีปีต่อปี และแบบฉุกเฉิน ระดับที่สอง (Multiyear Model) จะมีจุดประสงค์ในการหาความต้องการในการซ่อมแซมแบบปีต่อปีสำหรับการวางแผนล่วงหน้า และระดับที่สาม (Financial Exigency Model) เป็นแบบจำลองกรณีที่คำนึงถึงข้อจำกัดในด้านงบประมาณ ซึ่งมีน้อยกว่าปริมาณที่ต้องการ และจากข้อมูลที่ได้จากการทำ Optimization ก็จะทำให้สามารถกำหนดขอบเขตและวางแผนงานที่จะเกิดขึ้นได้อย่างใกล้เคียงและมีประสิทธิภาพ

Grivas, et al., (1993) ได้แสดงวิธีการหาแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยการทำ Optimization แบบ Linear Programming ซึ่งเน้นใช้เฉพาะกับถนนที่มีค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อปี (AADT) < 15,000 ต่อหนึ่งช่องจราจร โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ 3 ขั้นตอน ได้แก่

(1) การกำหนดสภาพของผิวทาง (Pavement Condition) โดยใช้การแบ่งสภาพถนนเป็นช่วง ๆ (Discrete Function) จากปัจจัยต่าง ๆ คือ ชนิดของผิวถนน, AADT, Structure Rating, Surface Rating, Cracking Rating

(2) กำหนดทางเลือกของวิธีการซ่อมบำรุงที่จะนำมาใช้ โดยอาศัยการทำนายสภาพความเสียหายของผิวทางที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง จากสภาพในปัจจุบัน และกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงโดยการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์จากข้อมูลเดิมที่มีอยู่คือ ราคา ชนิดของวัสดุ สภาพผิวทางหลังจากการซ่อมบำรุง

(3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Linear Programming Technique) โดยมี Objective Function เป็นการ Minimize cost ที่มีการรวมเอาข้อจำกัดด้านความพึงพอใจของผู้ใช้ทาง (User Defined) ประกอบในการพิจารณาด้วย ไม่ใช่การพิจารณาเพื่อให้เป็นการ Maximize Benefit สำหรับหน่วยงาน เพื่อลดปัญหาจากความคลาดเคลื่อนในการหาค่า benefit ของหน่วยงานที่แท้จริง

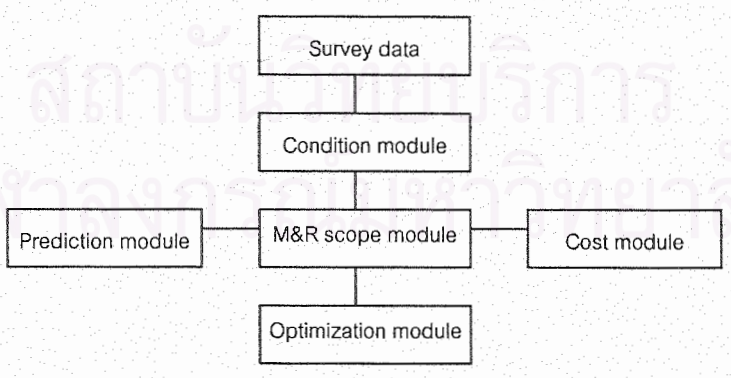
ผลในการวิเคราะห์จากการทำ Optimization จะแบ่งเป็น 3 ลักษณะคือ การพิจารณาเฉพาะการซ่อมบำรุงที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณในช่วงระยะเวลา 5 ปี การเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดเพื่อผลทางการบริหารงานแบบระยะยาว และการพิจารณาการซ่อมบำรุงที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณในรอบระยะเวลา 10 ปี ซึ่งรูปแบบของโมเดลในการคำนวณดังกล่าวสามารถพิจารณากับข้อจำกัดอื่น ๆ ได้ ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่

2.2.2 องค์ประกอบและการแก้ปัญหาโดยใช้วิธี Optimization

จากขั้นตอนและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาข้างต้น จะเห็นได้ว่า การหาผลเฉลยของปัญหาโดยวิธี Optimization เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกแผนงานนั้น จะต้องอาศัยองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่

- ค่าสภาพผิวทางที่เวลาใด ๆ จากแบบจำลองทำนายสภาพผิวทาง ทั้งในกรณีที่ไม่มีการซ่อมและสภาพเมื่อมีการซ่อมโดยวิธีต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาที่พิจารณานั้น
- สมการของค่าใช้จ่ายและผลตอบแทน รวมถึงองค์ประกอบในการคิดค่าใช้จ่ายและผลตอบแทน จากการซ่อมแซมโดยวิธีต่าง ๆ โดยควรจะสามารถทำนายแนวโน้มของราคาและปรับเพื่อแสดงเป็นมูลค่าปัจจุบันได้
- วิธีในการวิเคราะห์ ซึ่งการแก้ปัญหาโดยวิธี Optimization นี้ สามารถคิดรูปแบบของสมการปัญหา สมการข้อกำหนด และตัวแปรได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ส่งผลในด้านงานบำรุงรักษาทางในเขตพื้นที่นั้น ๆ
- การปรับปรุงและประเมินผลจากผลการวิเคราะห์ที่ได้

Harper, et al., (1991) ได้นำเอาวิธี Optimization มาใช้กับระบบ Bridge Management System (BMS) โดยนำมาประยุกต์ใช้เป็น Module หนึ่งที่ใช้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด เพื่อจุดประสงค์ในการบริหารในระดับสูง ซึ่งในระบบ BMS จะประกอบด้วยโมดูลย่อย ๆ หลายส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.2



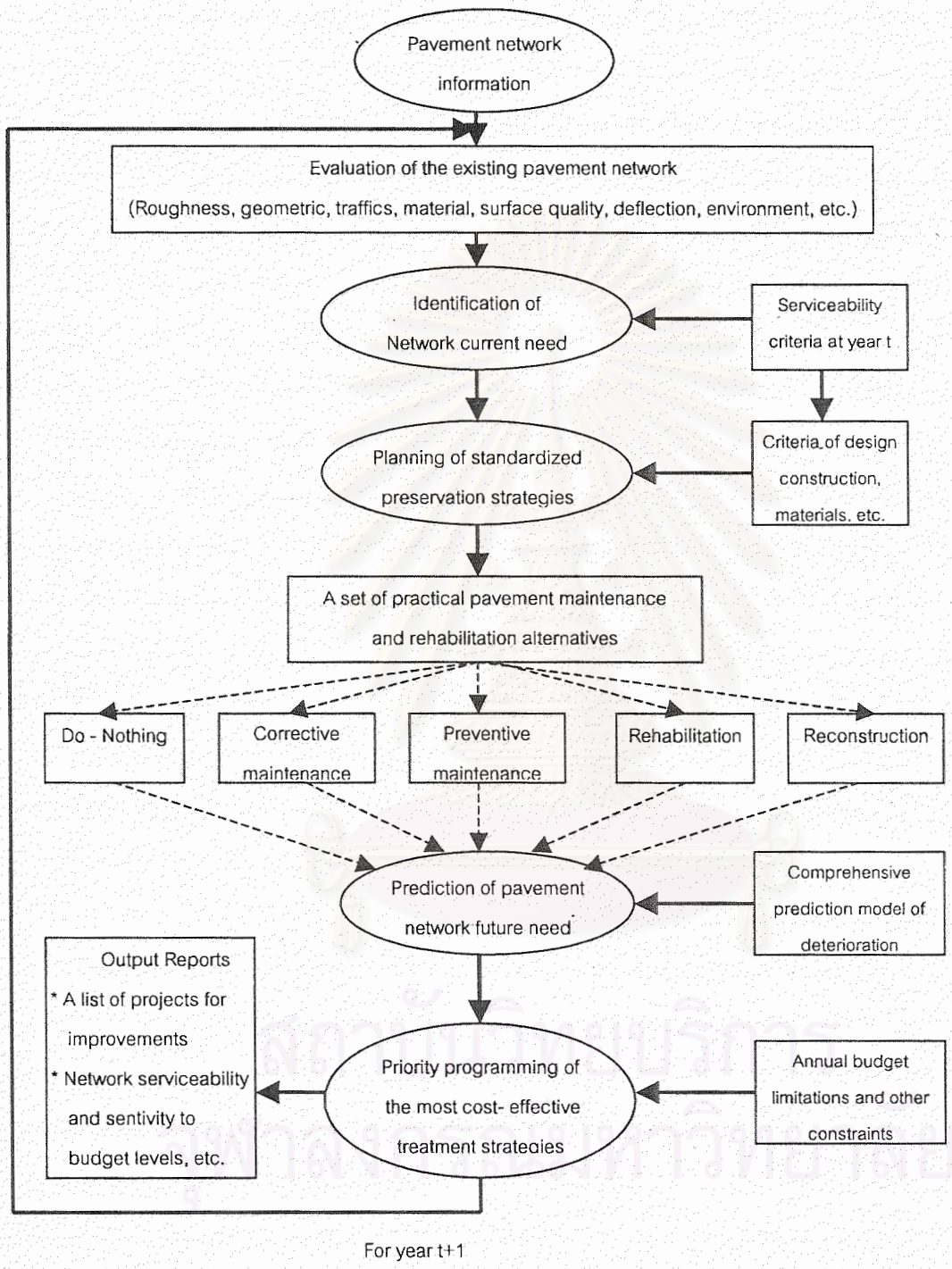
รูปที่ 2.2: องค์ประกอบของระบบ Management System

ในส่วนของ Condition Modeling จะเริ่มจากการเก็บข้อมูลการสำรวจ (Survey Condition Rating, SCR) ซึ่งจะแบ่งสเกลระดับสภาพของสะพาน ซึ่งมีระดับ 0-9 ตามที่ FHWA ได้ใช้ ซึ่งค่า 9 จะดีที่สุดและแย่ลงจนถึง 0 หรืออาจมีการแปลงค่าใช้เป็น Composite Condition Index (CCI) ซึ่งมีค่าจาก 0-7 โดยค่า 7 จะมีสภาพดีที่สุด และจะต้องมีการปรับปรุงสภาพของสะพานเมื่อ ค่า CCI ต่ำกว่า 4 เป็นต้น และใช้ Prediction Module ในการทำนายการเสื่อมสภาพของสะพานเมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งก็จะมี M&R และ Cost Module ที่เป็นข้อมูลค่าใช้จ่ายแต่ละกรณีของการซ่อมแซมในอดีต เพื่อสามารถนำไปใช้คำนวณค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นได้

ในด้านระบบบำรุงรักษาทาง (Li, et al., 1997) ได้จัดทำระบบในการบำรุงทางโดยใช้ Optimization model และ Priority programming จากการพิจารณาค่า Cost – effective ในแผนงานบำรุงรักษาทางแบบต่าง ๆ และได้เสนอ Framework ของขั้นตอนและองค์ประกอบในการพิจารณาแผนงานบำรุงทาง ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจากรูปที่ 2.3 ในส่วนของเกณฑ์การพิจารณาลำดับความสำคัญของงานซ่อมบำรุงที่ต้องทำก่อนและหลัง จะเป็นแบบปีต่อปี ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลสภาพของผิวทางจากการทำนายสภาพของ Prediction Model ที่ได้สร้างไว้ โดยมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสภาพทาง เช่น ปริมาณการจราจร ประเภทของทาง ชุดของกิจกรรมงานบำรุงทางตามที่ได้กำหนดไว้ และมูลค่างบประมาณ เพื่อแสดงรายงานในระดับโครงข่าย (Network) จากนั้น จะทำการคำนวณค่า Cost – Effective เพื่อเปรียบเทียบและจัดลำดับวิธีในการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมสำหรับสภาวะของผิวทางต่าง ๆ จากวิธีในการซ่อมบำรุงผิวทางซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 แบบใหญ่ ๆ คือ 1.Do-nothing 2.Routine maintenance 3.Major maintenance 4.Minor rehabilitation 5.Major rehabilitation เมื่อได้ค่า Cost – effective ในการซ่อมบำรุงแต่ละประเภทแล้ว จึงนำไปประกอบเข้ากับค่าตัวแปรในสมการ Linear-programming เพื่อหาค่าสูงสุดของ Cost-effective สำหรับทั้งระบบงานทาง ก็จะทำให้ได้แผนงานการบำรุงทางที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3: ขั้นตอนและองค์ประกอบในการพิจารณาแผนงานบำรุงทาง

ค่าสภาพของผิวทางที่ได้จากการทำนายของ Deterioration Model นับว่ามีความสำคัญต่อผลจากการทำ Optimization มาก Hutchinson, et al., (1994) ได้วิเคราะห์ผลความแตกต่างจากการทำ Optimization ที่มีผลจากการทำนายสภาพผิวทางจากแบบจำลองที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบจากแบบจำลองสองแบบคือ แบบ OPAC (Ontario Flexible Pavement Deterioration Model) ของ AASHO Road Test กับ โมเดลของ Small, et al. (1988) ซึ่งมีรูปแบบของค่าการทำนายจากแบบจำลองเป็นการบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่า Riding Comfort Index (RCI) กับอายุการใช้งานของทางโดยมีตัวแปรหลัก ๆ ได้แก่ ค่าน้ำหนักที่กระทำต่อผิวทางคือ Equivalent Single Axle Load (ESAL) และจาก Climate-induced เหมือนกันทั้งคู่ แต่ข้อแตกต่างกันของทั้งสองแบบจำลองคือ ลักษณะกราฟของ OPAC จะมีลักษณะเป็นโค้งหงาย แต่ของ Small จะมีลักษณะเป็นโค้งคว่ำ เนื่องจากสมมติฐานทางคณิตศาสตร์ในการพิจารณาสร้างแบบจำลองต่างกัน

เมื่อนำผลการทำนายจาก Deterioration Model ทั้งสองมาทำการวิเคราะห์โดยวิธี Optimization ก็จะให้ผลจากการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน โดยแบบจำลองของ Small จะมีระยะเวลาในการเสื่อมสภาพของผิวทางเร็วกว่าอีกแบบมากเมื่อค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังนั้น ความหนาของผิวทางในการซ่อมบำรุงและจากการออกแบบ จึงมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมที่เกิดขึ้น ในขณะเดียวกัน แบบจำลองของ OPAC ก็ไม่แสดงความเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดจากการเปลี่ยนแปลงของ ค่าความหนาของผิวทาง ทำให้ขาดจุดสำคัญในการพิจารณาด้านความหนาของการซ่อมบำรุงผิวทางไป และเมื่อพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ การพิจารณาการซ่อมบำรุงในระยะยาวจะสามารถคิดการคุ้มทุนของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้ถนนได้ดีกว่าการพิจารณาในระยะสั้น

สำหรับแบบจำลองสำหรับทำนายสภาพของผิวทางของประเทศไทยนั้น วิศณุและคณะ (2543) ได้พัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยางโดยวิธีใช้ค่า IRI ในประเทศไทย ซึ่งลักษณะของสมการที่ได้จะเป็น Empirical Model ที่พิจารณาโดยวิธีการศึกษาจากข้อมูลการใช้งานจริงย้อนหลัง (Deterioration In-service) และวิเคราะห์โดยวิธีสมการถดถอยเชิงซ้อน เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม คือ ดัชนีความเรียบของผิวทาง (IRI) กับกลุ่มตัวแปรอิสระ ซึ่งได้แก่ ปัจจัยสภาพแวดล้อม ลักษณะของผิวทาง ประวัติการซ่อมบำรุง และลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้น ผลที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นสภาพของผิวทางที่ปีใด ๆ หลังจากการก่อสร้างหรือหลังการซ่อมบำรุงใหญ่ โดยมีสมมติฐานว่าสภาพผิวทางหลังจากการซ่อมบำรุงโดยวิธี Overlay จะทำให้สภาพความเรียบของผิวทางหลังการซ่อมกลับไปอยู่ในสภาพที่ดีใกล้เคียงกันเสมอ โดยได้ผลสรุปว่าลักษณะความสัมพันธ์ของแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดเป็นฟังก์ชั่น Exponential โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ระหว่าง 0.6 – 0.8 ลักษณะของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$IRI = a * e^{(b_1*AGE) + (b_2*AVG.AADT) + (b_3*\%HV)} \quad (2.1)$$

โดยที่

IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากลของผิวทางช่วงที่พิจารณา (ม./กม.)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

AGE = อายุ (ปี) นับจากการ Overlay

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

%HV = ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก (เปอร์เซ็นต์)

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยจากอายุการใช้งานของผิวทางหลังจากการเสริมหรือบูรณะผิวทางมีผลต่อสภาพความเสียหายสูงที่สุด รองลงมาเป็นปัจจัยจากปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันและสัดส่วนของรถหนักตามลำดับ

นอกจากนี้เพื่อให้การบ่งบอกสภาพผิวทางครอบคลุมถึงการบำรุงรักษาประเภทอื่นด้วย วิศณุและคณะ (2544) ได้เสนอผลการวิเคราะห์ลักษณะของสภาพของผิวทางเมื่อมีการซ่อมบำรุงโดยวิธีฉาบผิวที่เวลาใด ๆ หลังการก่อสร้างทางหรือการบูรณะผิวทาง แบบจำลองและค่าของตัวแปรมีลักษณะทั่วไปดังสมการที่ 2.2

$$\Delta IRI = a + (b_1*IRI_0) + (b_2*AVE.AADT) + (b_3*\%HV) \quad (2.2)$$

โดยที่

ΔIRI = ค่าความแตกต่างที่ได้จากการนำค่า IRI ในปีหลังจากการทำฉาบผิว 1 ปี ลบกับค่า IRI ในปีที่มีการทำฉาบผิว (IRI_0)

a, b_1, b_2, b_3, b_4 = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง

IRI_0 = ค่าดัชนีความเรียบสากลของผิวทางช่วงที่พิจารณาในปีที่มีการฉาบผิว

AGE = อายุ (ปี) นับจากการ Overlay

AVE.AADT = ปริมาณการจราจรเฉลี่ย (คัน/วัน – 2 ช่องจราจร)

%HV = ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก (เปอร์เซ็นต์)

ผลที่ได้จากแบบจำลองนี้จะเป็นค่า ΔIRI ที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพความเสียหายของผิวทาง ในหนึ่งปีหลังจากการทำฉาบผิวเมื่อเทียบกับค่าดัชนีสภาพผิวทางเดิม (IRI_0) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่า ΔIRI สูงสุดได้แก่ ค่า IRI ก่อนที่จะทำการฉาบผิวทาง รองลงมาเป็นปัจจัยจากปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน และสัดส่วนของรถหนัก ตามลำดับ นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นถึงผลของการยืดอายุการใช้งานของผิวทางจากการซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิวได้ ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองในการทำนายสภาพผิวทางทั้งสองมาใช้ร่วมกันจึงสามารถนำมาใช้เพื่อทำนายสภาพผิวทางที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน และวิธีการซ่อมบำรุงโดยกรมทางหลวงได้ดียิ่งขึ้น

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้รูปแบบของการวิเคราะห์หาแผนงานวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละแห่ง มีรูปแบบที่ต่างกันไปก็คือ วิธีการซ่อมบำรุงซึ่งแต่ละที่ย่อมมีวิธีมาตรฐานที่แตกต่างกัน รวมถึงเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าจะซ่อมแซมโดยวิธีใดเมื่อสภาพถนนอยู่ในภาวะที่กำหนดไว้ เช่น Shahin (1994) ได้กำหนดระบบการจัดลำดับความสำคัญของงานซ่อมบำรุงทาง โดยใช้รูปแบบของ Priority Table จัดวิธีและลำดับการซ่อมบำรุงสำหรับระบบผิวทาง ตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดขึ้นจากการพิจารณาค่าสภาพความเสียหายของผิวทางแบบ Pavement Condition Index (PCI) ร่วมกับ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และทางด้านงบประมาณ โดยจัดกลุ่มผิวทางตามข้อมูล PCI ของผิวทางจากการสำรวจและจัดทำแบบจำลองการเสื่อมสภาพของกลุ่มผิวทาง จากนั้นจึงกำหนดค่าสภาพทางวิกฤตที่เป็นจุดที่ต้องการการซ่อมแซม และกำหนดหาวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มสายทาง และจัดลำดับความสำคัญของการซ่อมแซมผิวทางตามเกณฑ์ทางเศรษฐศาสตร์และการจัดงบประมาณได้

สำหรับประเทศไทยนั้น ได้มีการศึกษาเพื่อหาวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม เพื่อช่วยในการกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงในระบบ TPMS จากงานวิจัยเรื่อง Road Maintenance Project, Thailand โดยN.D. LEA International Ltd. Canada (1992) ซึ่งอาศัยการพิจารณาค่า Benefit / Cost ระหว่างค่าประโยชน์ในการลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนกับค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุง จากสภาพทางที่ได้สำรวจก่อนและหลังการซ่อมบำรุงโดยวิธีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในประเทศไทย และเลือกเอาวิธีที่ได้ค่าสัดส่วนของผลประโยชน์มากที่สุดมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดวิธีการซ่อมบำรุง โดยกำหนดเป็น Treatment matrix ของวิธีการซ่อมบำรุง ของผิวทางชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยพิจารณาจากองค์ประกอบคือ ดัชนีความเรียบของผิวทาง (IRI) สภาพความเสียหายของผิวทางจากการสำรวจโดยทีมงานสำรวจสนาม ปริมาณการจราจร (AADT) และชนิดของผิวทาง ซึ่งได้แบ่งวิธีการซ่อมบำรุงตามระดับชั้นความแข็งแรงของโครงสร้างทาง และประเภทของผิวทางคือ ผิวทางคอนกรีตและผิวทางลาดยาง

การกำหนด Cost Function สำหรับการคำนวณหาค่า optimal ในงานบำรุงทางนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากจุดประสงค์ของการคำนวณส่วนใหญ่จะอยู่ที่การหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด หรือหาค่าผลตอบแทนซึ่งต้องหักค่าใช้จ่ายด้วยเช่นกัน Jong and Schonfeld, (1999) ได้แสดงรูปแบบและส่วนประกอบของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นกับโครงการทางหลวง 2 ช่องทางจราจรในสหรัฐอเมริกา โดยได้แบ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นส่วนหลัก ๆ คือ

- Planning, Design and Administrative costs
- Construction cost
- Maintenance cost
- User cost ประกอบด้วย Vehicle Operating Cost (VOC), Value of travel time และ Accident cost
- Social and Environmental costs

นอกจากนี้ยังได้จัดทำรูปแบบของ Cost Function เป็นค่าใช้จ่ายที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ สถานที่ตั้ง พื้นที่ ความยาว ปริมาณ VKT (Vehicle-kilometer traveled) และ User cost เพื่อให้สามารถใช้ได้ง่ายเมื่อบอกปริมาณหรือลักษณะใด ๆ ของเส้นทางได้ และประกอบเข้ากับ Optimization Model ได้ดี ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาในส่วนของแผนงานการซ่อมบำรุงผิวทางและพิจารณาเฉพาะในส่วนของค่าใช้จ่ายที่สามารถวัดได้จริงเท่านั้น ดังนั้นจึงมีส่วนของค่าใช้จ่ายหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาและ ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายจากอุบัติเหตุระหว่างการซ่อมบำรุง

สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง กชกร (2543) ได้วิเคราะห์หากำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน จากการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อทำนายแนวโน้มและค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน โดยแบ่งค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาออกเป็น ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา และค่าใช้จ่ายงานบูรณะ ส่วนค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนได้ใช้การพิจารณาจากดัชนีต้นทุนผู้ใช้ถนน (Road User Cost Index: RUC) ซึ่งมีที่มาจากการพิจารณาค่าใช้จ่าย 2 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการใช้รถ และค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง

ในส่วนของแบบจำลองทำนายค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงนั้น ลักษณะของแบบจำลองที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงแต่ละแบบกับเวลาและปัจจัยในการใช้งานของถนน ที่สามารถคาดการณ์แนวโน้มของค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ คือ

$$RMC = (5{,}276 + 21.5\ Year)(Age^{0.234} \cdot AADT^{0.150}) \quad (2.3)$$

$$OLC = 1{,}156{,}517 + 19{,}901\ Year \quad (2.4)$$

$$RHC = 1{,}970{,}453 + 29{,}578\ Year \quad (2.5)$$

โดยที่

RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ เป็น บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร

OLC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา เป็น บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร (7 เมตร)

RHC = ค่าใช้จ่ายงานบูรณะ เป็น บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร

Age = อายุ (ปี) นับจากการ Overlay ครั้งหลังสุด

AADT = ปริมาณการจราจร (คัน / วัน ต่อความกว้าง 7 เมตร)

Year = ระยะเวลาจากการก่อสร้างถนนแล้วเสร็จและเริ่มเปิดใช้บริการ (ปี) โดยให้มีค่าเท่ากับศูนย์ปีที่เริ่มต้นทำการวิเคราะห์ (พ.ศ. 2542)

ส่วนแบบจำลองค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน จะมีการพิจารณาจากค่าใช้จ่าย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการใช้รถ โดยอ้างอิงจากแบบจำลองค่าใช้จ่ายจากการใช้รถจาก Thai Road User Effect, THAI-RUE (1999) ซึ่งได้จากการปรับปรุงจากแบบจำลอง HDM-III ของธนาคารโลกเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศไทย และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ซึ่งจะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความเสียหายของผิวทางกับค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ซึ่งคำนวณจากความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภทในสภาพความเสียหายต่าง ๆ เพื่อให้ทราบระยะเวลาที่สูญเสียไปในการเดินทาง ซึ่งสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนได้ดังสมการที่ 2.6 คือ

$$RUC_T = (1.013 + 0.0402\ Year) \times RUC_{BASE} \quad (2.6)$$

เมื่อ

Year = จำนวนปีนับจากปีฐาน โดยกำหนดให้ปีฐาน (พ.ศ. 2542) มีค่าเป็นศูนย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3 วิธีคำนวณค่าใช้จ่าย และแนวทางพิจารณาแผนการซ่อมบำรุง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมด พบว่ามีการแบ่งการพิจารณาการเลือกแผนงานจาก 2 แนวทางหลัก ๆ ได้แก่ จากการพิจารณาผลประโยชน์ และการพิจารณาจากค่าใช้จ่าย โดยมีวิธีการวิเคราะห์ผลหลายรูปแบบ ซึ่งโดยทั่วไปมักนิยมใช้เกณฑ์พิจารณาจากค่ามูลค่าปัจจุบัน (Net Present Value, NPV) มากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำให้ทราบถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่แท้จริงเมื่อพิจารณาผลจากมูลค่าของเวลาแล้ว จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการพิจารณาทางเลือกโครงการ แต่ก็ต้องอาศัยการกำหนดค่าอัตราผลตอบแทนที่ถูกต้องเหมาะสมเช่นกัน

จากการศึกษาของกรมทางหลวงร่วมกับ Australian Development Assistant Bureau (1983) ได้แบ่งลักษณะการพิจารณาผลประโยชน์ในการพิจารณาแผนงานบำรุงรักษา ออกเป็น 3 แบบ คือ

1. ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าซ่อมบำรุง (Maintenance Saving)
2. ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน (Road User Cost Saving)
3. ผลประโยชน์จากการพัฒนา (Development Benefit)

ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าบำรุงรักษาจะมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลประโยชน์อีกสองข้อที่เหลือ

นอกจากนี้ยังสามารถคิดค่าผลประโยชน์ได้อีกทางหนึ่งจากการพิจารณาในแง่ของสิ่งแวดล้อม (Environment Benefit) แต่จากการศึกษาที่ผ่านมานั้น ยังไม่มีการกำหนดมูลค่าจากการพิจารณาในแง่ของสิ่งแวดล้อมออกมาเป็นเกณฑ์ที่ชัดเจน ซึ่งจากการศึกษาของธนาคารโลก เกี่ยวกับงานบำรุงรักษาทาง ในแอฟริกาใต้โดย Lantran, et al. (1994) ได้ผลสรุปว่า เมื่อพิจารณาผลทางเศรษฐศาสตร์ เมื่อวางแผนงานบำรุงรักษาแบบมีงานทางสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย จะเกิดค่าใช้จ่ายจากการเพิ่มงานทางสิ่งแวดล้อมประมาณ 4-7 % จากงบบำรุงรักษาเดิมทั้งหมด เปรียบเทียบกับงานที่ไม่มีงานสิ่งแวดล้อม โดยค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะเกิดจากงานทางด้านการปรับปรุงและรักษาน้ำและดินเป็นหลัก เนื่องจากงานด้านอื่นมีผลกระทบน้อยและบางส่วนไม่สามารถพิจารณาในรูปของเงินได้

อย่างไรก็ดี ในการพิจารณาในด้านของผลประโยชน์ที่ได้รับจากการซ่อมบำรุง พบว่ามีความไม่ชัดเจนในการวัดค่าที่จะนำมาเป็นค่าหลักในการพิจารณาเลือก ว่าผลประโยชน์ในด้านใดที่เหมาะสมที่สุด นักวิจัยส่วนใหญ่จึงมักใช้การพิจารณาจากในแง่ของค่าใช้จ่ายเป็นหลัก

ค่าที่นิยมนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลเฉลยของแผนงานแบบต่าง ๆ มักใช้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในงานซ่อมบำรุง เนื่องจากความยุ่งยากในการพิจารณามูลค่าในด้านผลประโยชน์ Markow, et al. (1993) ได้พิจารณาหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการซ่อมแซมผิวจราจรบนสะพาน โดย

อาศัยการวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายต่ำสุด สำหรับการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตบนสะพานในช่วงอายุการใช้งาน ซึ่งใช้ผลจากการซ่อมบำรุงย่อยหลายวิธีได้แก่ Patching Compounds, Sealers, Overlay และ Cathodic Protection เป็นเกณฑ์ในการเลือกวิธีซ่อมบำรุง และหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการซ่อมบำรุง โดยพิจารณาจาก Agency Costs และ ค่าประมาณของ User Costs ซึ่งมีการแบ่งช่วงระยะการพิจารณาออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ คือ ช่วงอายุใช้งานก่อนการซ่อมแซม ช่วงขณะที่มีการซ่อมบำรุง และช่วงหลังการซ่อมบำรุง และแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ออกมาในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ เพื่อหาวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด และช่วงเวลาของการซ่อมบำรุง

Mamlouk, et al. (2000) ได้พิจารณาผลกระทบของปริมาณการจราจรซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในงานบำรุงรักษาทางเอาไว้ คือ เมื่อปริมาณการจราจรมากขึ้น จากต่ำไปจนถึงปานกลางและสูง มูลค่าของ Agency Cost จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แต่ User Cost จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น จึงต้องมีการพิจารณาเพื่อปรับลดผลกระทบจากสัดส่วนของ User cost ที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเกินไปเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น ซึ่ง Objective Function ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยมีลักษณะคือ

$$\text{Minimize } C(T_a) = W_a C_a(T_a) + W_u C_u(T_u)$$

โดยที่

T_a = ช่วงเวลาที่พิจารณา

$C(T_a)$ = ค่าใช้จ่ายรวม ในรูปมูลค่าปัจจุบัน

$C_a(T_a)$ = ค่าใช้จ่ายของภาครัฐ ในรูปมูลค่าปัจจุบัน

$C_u(T_u)$ = ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน ในรูปมูลค่าปัจจุบัน

W_a และ W_u = ค่า Weight Factor สำหรับค่าใช้จ่ายของภาครัฐและผู้ใช้ถนนตามลำดับ

โดยค่าสัดส่วนน้ำหนักสำหรับคูณกับค่าใช้จ่ายของภาครัฐและผู้ใช้ถนนจะมีค่า 0.9 และ 0.1 ตามลำดับ ซึ่งค่าตัวคูณของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจะน้อยกว่ามากเพื่อเป็นการลดอิทธิพลของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเมื่อปริมาณการจราจรมากขึ้นนั่นเอง

นอกจากนี้ งานวิจัยของ Karan, et al. (1976) และ Markow, et al. (1993) ก็สอดคล้องกับแนวคิดนี้เช่นกัน โดยกล่าวไว้ว่า User Cost จะมีผลกระทบในการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ของงานบำรุงรักษาผิวทาง ก็ต่อเมื่อ ผิวทางนั้นอยู่ในสภาพการใช้งานที่ไม่ดีถึงระดับหนึ่งเท่านั้น ส่วนผิวทางที่มีช่วงของสภาพการใช้งานที่ดีระดับหนึ่งนั้น ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจะไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับสัดส่วนค่าใช้จ่ายในประเทศไทย กชกร (2001) ได้ทำการวิเคราะห์สัดส่วนของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทแบ่งตามกลุ่มปริมาณจราจรสำหรับสายทางที่มีสัดส่วนรถหนัก 15% พบว่าปริมาณจราจรมีผลต่อสัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนอย่างมาก สังเกตได้จากค่าสัดส่วนในตารางที่ 2.3 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณจราจรของสายทางนั้นสูงกว่า 1,000 คันต่อวัน คือมากกว่า 70% ซึ่งหมายถึงผลกระทบเรื่องค่าใช้จ่ายกับผู้ใช้ถนน มีอิทธิพลอย่างสูงสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรเกินระดับดังกล่าว

ตารางที่ 2.3: สัดส่วนของค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทแบ่งตามกลุ่มปริมาณจราจรสำหรับสายทางที่มีสัดส่วนรถหนัก 15%

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

ดังนั้น หากจะต้องมีการปรับลดค่าของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน ซึ่งจะมีสัดส่วนมากเกินไปจากผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อปริมาณการจราจรของสายทางสูงมาก เพื่อให้การพิจารณาลำดับความสำคัญของการซ่อมบำรุงไม่ไปตกอยู่กับความมากน้อยของปริมาณการจราจรเพียงอย่างเดียวแล้ว ก็จำเป็นที่จะต้องศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงสภาพของผิวทางในช่วงต่าง ๆ และผลกระทบที่มีต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่เกิดขึ้นให้ถูกต้องเหมาะสม

Reno, et al. (1994) ได้พิจารณาค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยในสหรัฐอเมริกา โดยแบ่งอายุการใช้งานของทางเป็น 2 ช่วงพบว่าในระยะเวลาช่วงแรก คือ 75% ของอายุการใช้งานทาง สภาพการบริการของทางจะลดลงประมาณ 40% หลังจากนั้นในระยะที่ 2 สภาพการบริการจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปอีก 12% ของอายุการใช้งานทาง สภาพการบริการของทางจะลดลงอีกถึง 40% ซึ่งมีอัตราการเสื่อมสภาพสูงถึง 6 เท่าของช่วงแรก และพบว่าค่าใช้จ่ายในระยะที่ 2 จะสูงกว่าระยะแรกประมาณ 4-6 เท่าเช่นเดียวกัน ดังนั้นการชะลองานซ่อมบำรุงในช่วงของอายุทางที่มากขึ้นจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่มากกว่าการพิจารณางานบำรุงรักษาแบบป้องกัน

ในส่วนของการพิจารณาแผนการซ่อมบำรุง และแนวทางต่าง ๆ ที่เป็นแบบแผนในการเปรียบเทียบ Mijuskovic, et al. (1994) ได้วิเคราะห์หาผลกระทบจากความแตกต่าง จากการใช้นโยบายที่เป็นเป้าหมายในการบำรุงรักษาและเกณฑ์ในการพิจารณาลำดับความสำคัญในงานซ่อมบำรุง โดยได้เปรียบเทียบผลจากสภาพของถนนทั้งระบบทางจากการใช้งาน และผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ รวมถึงข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญของการซ่อมบำรุง 5 แบบ ได้แก่

- The Best First คือ ซ่อมทางที่สภาพผิวทางเสียหายน้อยให้อยู่ในสภาพที่ดีก่อนทางที่มีความเสียหายมาก
- By Proportional คือ ซ่อมโดยจัดแบ่งสัดส่วนของทางที่จะซ่อมไว้คงที่
- The Worst First คือ ให้ความสำคัญต่อการซ่อมบำรุงทางที่มีสภาพผิวทางเสียหายหนักก่อน
- Optimization (Investor's point of view) คือ เพื่อหาค่า optimal ที่ให้ค่า benefit สูงสุด
- Optimization (User's point of view) คือ เพื่อหาค่า optimal ที่ให้ค่า user cost ต่ำที่สุด

ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบในด้านสภาพการใช้งานของถนนจากการใช้นโยบายต่าง ๆ ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 10 ปี พบว่า เกณฑ์การพิจารณาแบบ Optimization ทั้ง 2 แบบ จะให้ผลรวมของสภาพทางดีกว่าเกณฑ์แบบอื่น ๆ โดยเกณฑ์แบบ Investor's point of view จะให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ User's point of view และแบบ Best First, Worst First ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์จากค่า Additional User Cost และปริมาณของเงินทุนที่ต้องใช้ทั้งหมด พบว่าเกณฑ์การพิจารณาโดยใช้แบบ Best First และแบบ Optimization จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ใกล้เคียงกันและต่ำกว่าแบบ Worst First ซึ่งเป็นเกณฑ์การพิจารณาแบบเก่า จึงนับว่า การใช้วิธี Optimization ช่วยในการคำนวณและกำหนดแผนงานเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้ผลดีเมื่อเทียบกับแนวความคิดอื่น ๆ

Grivas, et al., (1993) วิเคราะห์ผลจากการทำ Optimization เป็น 3 ลักษณะคือ พิจารณาเฉพาะการซ่อมบำรุงที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณในช่วงระยะเวลา 5 ปี การเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดเพื่อผลทางการบริหารงานแบบระยะยาว และการพิจารณาการซ่อมบำรุงที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณในรอบระยะเวลา 10 ปี ซึ่งรูปแบบของแบบจำลองในการคำนวณดังกล่าวสามารถพิจารณากับข้อจำกัดอื่น ๆ ได้ ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่

ในขั้นตอนการวิเคราะห์นั้น การกำหนดจุดมุ่งหมาย(Goal) ของแผนงานหลาย ๆ แบบเพื่อนำผลที่ได้มาพิจารณาเปรียบเทียบกันก็เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ Ravirala, et al., (1997) ได้ทำการวิเคราะห์แผนการลงทุนด้านการบำรุงรักษาทางโดยเปรียบเทียบค่า Distress Index ของผิวทางที่เกิดขึ้นและค่าใช้จ่ายโดยรวมของทั้งระบบทาง หลังจากใช้แผนนั้นในระยะเวลา 10 ปี ซึ่งได้มีการกำหนดจุดมุ่งหมายของแผนงานขึ้น 5 แนวทาง และใช้การคำนวณโมเดลทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่า optimal สำหรับจุดมุ่งหมายหนึ่ง ๆ ว่าจะมีสภาพของผิวทางและค่าใช้จ่ายเป็นเท่าใด โดยสามารถปรับค่าในสมการข้อจำกัดของแบบจำลองเพื่อกำหนดสถานะของจุดมุ่งหมายที่แตกต่างกันได้ ซึ่งจุดมุ่งหมายที่ได้นำมาพิจารณาได้แก่

- Maximize pavement condition (max. improvement)
- Meet condition goal โดยจะกำหนดเป็นสัดส่วนของสภาพผิวทางแต่ละประเภท ที่ควรได้รับการซ่อมแซมไว้ 2 แบบ
- Meet investment goal
- Minimize present worth cost

เมื่อได้ผลจากการวิเคราะห์แล้ว การประเมินผลที่ได้ก็เป็นส่วนสำคัญที่ต้องมีการพิจารณาถึง Wang, et al. (1994) ได้วิเคราะห์แบบจำลอง Linear Optimization สำหรับงานบำรุงรักษาผิวทางของรัฐ Arizona ที่มีการปรับปรุงขึ้นใหม่จากแบบจำลองเดิม (Network Optimization System, NOS) จากการพิสูจน์ว่า การวางนโยบายการบำรุงรักษาแบบมีจุดมุ่งหมายเพื่อรักษาสภาพของผิวถนนให้อยู่ในระดับเดิมตลอด โดยเน้นการซ่อมบำรุงเป็นชุดซ้ำ ๆ กัน (Steady-state Run) จะไม่เหมาะสมเนื่องจากก่อให้เกิดความสิ้นเปลืองงบประมาณมากกว่านโยบายแบบ Pseudo-steady State Run ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาเพื่อรักษาสภาพของผิวถนนให้อยู่ในสภาพเดิมตลอดเช่นกัน แต่จะมีการซ่อมบำรุงตามความเหมาะสมในช่วงเวลาที่จำเป็น เมื่อพิจารณาให้รักษาสภาพผิวถนนให้อยู่ในระดับมาตรฐานดี (Roughness Standard) ในช่วง 0.9 – 0.99 ซึ่งแบบจำลองใหม่นี้ (AZNOS) ได้ทำการปรับปรุงใหม่ทั้งในด้านการปรับปรุงข้อมูลเดิม การใช้ Deterioration Model ใหม่ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสภาพของผิวทางที่เร็วขึ้น และการลดจำนวนวิธีที่ใช้ในการซ่อมบำรุง (Treatment Option) ลงจากเดิมเพื่อ

ลดความซ้ำซ้อนในการพิจารณา ซึ่งการปรับปรุงเหล่านี้มีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงจากการทำ Optimization มีแนวโน้มสูงขึ้นจากเดิม และได้ทำการทดสอบ Sensitivity ของนโยบายการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ กับแบบจำลอง Optimization ใหม่ ได้แก่ การเพิ่ม ลด มาตรฐานของสภาพผิวทางโดยเลือกกลุ่มประเภทของถนนที่มีมากที่สุดเป็นตัวอย่างในการพิจารณา เพื่อให้ได้ผลจากการวิเคราะห์เป็น Performance Standard สำหรับการบำรุงรักษาถนนในรัฐนั้น และขนาดของงบประมาณที่ต้องการสำหรับการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุด

2.3 สรุป

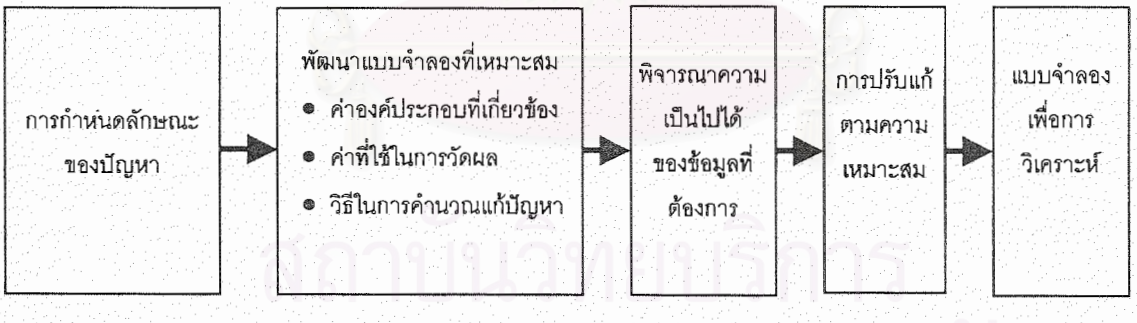
งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีวิเคราะห์แผนงานการบำรุงรักษาผิวทาง โดยอาศัยสมการและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Linear Programming) ซึ่ง Optimization Module นี้ เป็นเพียงส่วนประกอบหนึ่งที่เป็นส่วนของการประมวลผลข้อมูลสำหรับประกอบการตัดสินใจ ในระบบการบริหารจัดการงานทางหลวง (Pavement Management System) ทั้งหมด ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นฐานข้อมูล (Database) ส่วนที่พิจารณาลักษณะของสภาพการใช้งานทาง (Condition Module) ส่วนที่เป็นแบบจำลองความเสียหายของทาง (Prediction Module) แบบจำลองค่าใช้จ่าย (Cost Module) และส่วนที่เป็นเกณฑ์พิจารณาเลือกวิธีการซ่อมบำรุง (Maintenance & Scope Module) ดังนั้นการที่จะสามารถจัดทำ Optimization Module ที่ดีได้จะต้องอาศัยข้อมูลดังที่ได้กล่าวมาแล้วได้แก่

- มีเกณฑ์การจัดลำดับสำหรับวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละแบบอย่างไร
- มีแบบจำลองทำนายสภาพความเสียหายของผิวทางหรือไม่
- มีวิธีการซ่อมบำรุงอะไรบ้างที่ใช้
- สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และผลเพื่อนำไปใช้ได้อย่างไร
- สามารถคิดเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในแง่ของมูลค่าปัจจุบันสำหรับพิจารณาในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ได้

สำหรับงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเพื่อการประยุกต์นำไปใช้ในประเทศไทย ดังนั้นข้อมูลและเกณฑ์ในการพิจารณาต่าง ๆ จึงได้วิเคราะห์จากเกณฑ์ที่ประเทศไทยได้ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นหลัก

บทที่ 3
การพัฒนาแบบจำลองและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ระบบการบริหารงานบำรุงรักษาทาง เป็นระบบที่มีการนำมาใช้เพื่อวางแผนการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ประกอบไปด้วยองค์ประกอบในการพิจารณาหลายส่วน โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ ของระบบสายทาง ส่วนที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลทั้งในด้านสภาพความเสียหาย ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น รวมทั้งหาแผนงานที่สอดคล้องกับนโยบาย และส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผลเพื่อทำรายงานการวิเคราะห์ ซึ่งแบบจำลองสำหรับพิจารณาแผนงานสำหรับบำรุงรักษาทางจากข้อมูลค่าใช้จ่ายต่าง ๆ นั้น นับเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของส่วนการวิเคราะห์ข้อมูล นอกจากนี้วิธีและองค์ประกอบในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบแผนงานต่าง ๆ นั้นก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากองค์ประกอบในการพิจารณาค่าใช้จ่ายและการมองถึงผลประโยชน์ตอบแทนที่ต่างกัน ย่อมส่งผลต่อลักษณะของแผนงานที่จะออกมา เนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึงแนวคิด ส่วนประกอบ และวิธีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป กระบวนการในการพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1: กระบวนการในการพัฒนาแบบจำลอง

3.1 ลักษณะของปัญหางานบำรุงรักษาผิวทาง

ในการแก้ปัญหาใด ๆ โดยอาศัยการวิเคราะห์จากสมการทางคณิตศาสตร์นั้น สิ่งสำคัญที่สุดประการแรกที่ควรคำนึงถึง คือ การวิเคราะห์ลักษณะของปัญหาที่ต้องการศึกษา เพื่อให้สามารถกำหนดขอบเขต ข้อจำกัด และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับความ

เป็นจริง ซึ่งลักษณะของปัญหาในการวางแผนงานบำรุงรักษาทางของแต่ละประเทศหรือท้องที่ ก็จะมีความแตกต่างกันไปตามข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาข้อจำกัดและลักษณะของงานบำรุงรักษาทางในประเทศไทย เพื่อสามารถกำหนดลักษณะของปัญหาสำหรับใช้ในการพัฒนาแบบจำลองได้ต่อไป

สำหรับงานบำรุงรักษาทางนั้น ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 และ 2 ว่า ปัญหาหลักในปัจจุบันเกิดจากงบประมาณที่ได้รับไม่เพียงพอในการที่จะทำให้สายทางที่ก่อสร้างขึ้นทุกสาย อยู่ในสภาพที่ดีที่สุดได้ทั้งหมด ดังนั้น เป้าหมายหลักของการพิจารณาปัญหาจึงเป็นการหาแผนงาน ซึ่งให้ผลเป็นแผนการซ่อมบำรุงที่สามารถรักษาสภาพผิวทางให้ดีเพียงพอต่อการใช้งาน มีค่าใช้จ่ายรวมในทางเศรษฐศาสตร์น้อยที่สุดหรือเกิดผลตอบแทนมากที่สุด และทำให้มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงไม่เกินวงเงินงบประมาณ นอกจากนี้การพิจารณาขอบเขตและข้อจำกัดของปัญหาก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ต้องมีการพิจารณาถึง โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แนวทางและนโยบายของกรมทางหลวงเป็นหลักในการพิจารณาสำหรับขอบเขตและข้อจำกัดในงาน ซึ่งสามารถแสดงลักษณะของปัญหาได้ดังนี้

- ลักษณะการจัดรูปแบบสายทางของกรมทางหลวง

กรมทางหลวงได้แบ่งเขตการทางออกเป็น 13 เขตฯ แต่ละเขตฯ จะประกอบด้วยแขวงการทางอยู่ประมาณ 6 แขวง โดยทั้งเขต และแขวง จะมีหมายเลขกำกับ เช่น กรุงเทพฯ ใช้หมายเลข 14 หรือแขวงอยุธยา หมายเลข 3 เป็นต้น ซึ่งสามารถจัดลำดับความสำคัญของเขตและแขวงได้

โดยทั่วไปแล้ว โครงข่ายของทางหลวงจะแบ่งทางหลวงออกเป็นช่วงใหญ่และช่วงย่อย แต่ละช่วงใหญ่ยาวประมาณช่วงละ 1 กิโลเมตร โดยมีจุดเริ่มต้นที่ง่ายต่อการสังเกต เช่น ทางแยก สะพาน หลักกิโลเมตร หรือเส้นแบ่งเขตหมวดการทาง เป็นต้น และจะมีหมายเลขควบคุมซึ่งอาจมีได้ถึง 199 ช่วงใหญ่ (ทางหลวงสายหนึ่งอาจยาวถึง 199 กม.) แต่ละช่วงใหญ่จะถูกแบ่งออกเป็นช่วงย่อย ซึ่งเป็นหน่วยความยาวพื้นฐานในระบบฐานข้อมูล ช่วงย่อยจะยาวประมาณ 200 เมตร แต่ก็อาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยช่วงย่อยอาจเริ่มต้นหรือสิ้นสุดตรงบริเวณที่สังเกตง่าย เช่น ทางแยก หรือท่อระบายน้ำ เป็นต้น ซึ่งแต่ละช่วงย่อยก็จะมีเลขรหัสเฉพาะไม่ซ้ำกัน

สำหรับในงานวิจัยนี้ ทางหลวงที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาใช้สำหรับแบบจำลองนั้นจะใช้มาตรฐานทางที่มีเป็นส่วนมากของถนนที่กรมทางหลวงมีคือ ความกว้างทาง 7 m. ต่อ 2 ช่องจราจร เนื่องจากข้อจำกัดของแบบจำลองที่นำมาประกอบใช้ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

- ลักษณะของผิวทางที่พิจารณา

ชนิดของผิวทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงในปัจจุบันพบว่าเป็นถนนผิวลาดยางมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1.1) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาเฉพาะถนนผิวทางลาดยาง (Flexible Pavement) เท่านั้น โดยชนิดของผิวทางลาดยางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. ผิวทาง Asphaltic Concrete
2. ผิวทาง Surface Treatment
3. ผิวทาง Penetration Macadam
4. ผิวทาง Cape Seal

ทั้งนี้ในปัจจุบัน ผิวทางชนิดที่ 2 และ 3 นั้น ไม่มีการก่อสร้างสำหรับสายทางใหม่แล้ว อีกทั้งมีปรากฏอยู่ในระบบสายทางไม่มากนัก ดังนั้นจึงไม่พิจารณาถึงสายทางชนิดดังกล่าวในการวิเคราะห์

นอกจากนี้ยังมีการแบ่งระดับ (Grade) ของสายทางออกเป็น 5 ระดับ ตามลักษณะของการออกแบบและใช้งานทางนั้น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1: มาตรฐานชั้นทางของกรมทางหลวง

ชั้นทาง	พิเศษ	1	2	3	4	5
การจราจรเฉลี่ยต่อวัน	มากกว่า 8,000	4,000 - 8,000	2,000 - 4,000	1,000 - 2,000	300 - 1,000	น้อยกว่า 300
ความกว้างของผิวจราจร (เมตร)	อย่างน้อย 7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00
ความกว้างของไหล่ทาง (เมตร)	ซ้าย 2.5 -3.0 ขวา 1.0 -1.5	2.50	2.00	1.50	1.00	-
ประเภทผิวทางและไหล่ทางที่แนะนำ	ชั้นสูง					ลูกรัง
อัตราความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ (กม./ชม.)						
- ทางลาด	90-110				70-90	60-80
- ทางเนิน	80-110				55-70	50-60
- ทางเขา	70-90				40-55	30-50

I20470436

ตารางที่ 3.1: มาตรฐานชั้นทางของกรมทางหลวง

ชั้นทาง	พิเศษ	1	2	3	4	5
ความลาดชันสูงสุด (%)						
- ทางลาด	4		4		4	4
- ทางเนิน	6		6		8	8
- ทางเขา	6		8		12	12

- การเสื่อมสภาพของทางจากการใช้งาน

สภาพผิวทางของถนนแต่ละสายย่อมมีอัตราการเสื่อมสภาพของผิวทางและโครงสร้างที่แตกต่างกันไปตามการใช้งานทางที่แตกต่างกัน เช่น ชนิด และปริมาณรถที่ใช้บริการ ประวัติการซ่อมบำรุง และลักษณะสภาพแวดล้อม ซึ่งในกรณีที่จะต้องมีการวางแผนงานบำรุงรักษาล่วงหน้าดังเช่นในงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องอาศัยค่าการเสื่อมสภาพจากการทำนายโดยแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง (Deterioration Model) เพื่อบอกถึงสภาพของผิวทางเมื่อผ่านการใช้งานในเวลาที่ต้องการ โดยมีองค์ประกอบในการใช้งานถนนแตกต่างกัน ซึ่งจะได้กล่าวถึงแบบจำลองนี้ในหัวข้อต่อไป

สำหรับในงานวิจัยนี้ตัวแปรที่นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งบอกถึงสภาพของผิวทาง ได้แก่ ดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบสภาพผิวทางวิธีหนึ่งที่กรมทางหลวงได้มีการนำมาใช้กับการเก็บข้อมูลทางหลวงทั่วประเทศ จากข้อดีในการวัดของวิธีนี้ที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว แสดงความเสียหายของผิวทางโดยรวมได้ดี และมีความแปรปรวนของข้อมูลต่ำ โดยอาศัยการวัดด้วยรถยนต์วัดค่า (Quarter-car) ที่มีการติดตั้ง Bump Integrator ซึ่งจะวัดความขรุขระของผิวทางจากระยะการสั่นสะเทือนขึ้นลงของเพลาล้อรถในช่วงระยะทางที่เคลื่อนที่ไปทั้งหมดที่ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากนั้นจึงนำค่าที่บันทึกได้มาปรับเป็นค่า IRI โดยค่า IRI จะมีหน่วยเป็น เมตรต่อกิโลเมตร หรือ มิลลิเมตรต่อเมตร ทั้งนี้การกำหนดสภาพทางในแต่ละช่วงของค่า IRI เพื่อนำมาประเมินในเบื้องต้นว่าสภาพทางมีลักษณะอย่างไรสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2: การแบ่งช่วงของสภาพผิวทางตามค่าของ IRI

สภาพทาง (Road Condition)	International Roughness Index IRI (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)

- ลักษณะของการซ่อมบำรุงทาง

การซ่อมบำรุงทางสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ งานซ่อมบำรุงปกติ งานซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา งานซ่อมบำรุงพิเศษและบูรณะ และงานฉุกเฉิน โดยที่ในแต่ละประเภทของงานซ่อมบำรุงมีวิธีการซ่อมอยู่หลายแบบ ซึ่งงานซ่อมบำรุงฉุกเฉินถือว่าเป็นงานซ่อมบำรุงในลักษณะการเสียหายที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากการใช้งานจึงไม่มีการพิจารณาในงานวิจัยนี้ และจากข้อมูลของกองบำรุงรักษาทาง กรมทางหลวง พบว่าวิธีการซ่อมบำรุงที่เป็นมาตรฐานอยู่ในปัจจุบันของกรมทางหลวง ได้แก่

1. งานบำรุงปกติ (Routine maintenance)
2. งานฉาบผิวทาง (Seal coating)
3. งานเสริมผิวแอสฟัลท์ (Overlay) ความหนา 50 mm.
4. งานบูรณะ (Rehabilitation)

ซึ่งวิธีการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงนี้ วิธีการซ่อมบำรุงแบบที่ 1 ถึง 3 นับเป็นวิธีการซ่อมบำรุงแบบเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการรักษาสภาพการใช้งานของผิวทางเพื่อไม่ให้ความเสียหายลุกลามมากถึงชั้นโครงสร้างทาง ส่วนงานซ่อมบูรณะนั้น จัดเป็นวิธีการซ่อมบำรุงในเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) สำหรับผิวทางที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานหรือที่มีความเสียหายมากและเกิดขึ้นในชั้นโครงสร้างทาง ไม่ใช่งานในเชิงป้องกัน ดังนั้นกรมทางหลวงจึงพิจารณาการซ่อมบำรุงประเภทนี้จากค่า IRI หรือสภาพความเสียหายจริงของสายทางนั้น คือ เมื่อค่า IRI มากกว่าหรือเท่ากับ 6 ดังที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 2.2

ลำดับการพิจารณาและการเลือกวิธีในการซ่อมบำรุงในปัจจุบัน จะใช้การพิจารณางบประมาณสำหรับการซ่อมบำรุงแบบปีต่อปี โดยมักจะเลือกเอาวิธีการใดวิธีการหนึ่งข้างต้นมาใช้ซ่อมบำรุงกับถนนช่วงที่ได้รับการจัดสรรงบประมาณ ซึ่งกรมทางหลวงในปัจจุบัน ได้อาศัยการกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมเบื้องต้นตาม Treatment matrix จาก Road Maintenance Project, Thailand โดย ND LEA International, Ltd. (1992) ซึ่งเป็นตารางแสดงวิธีการซ่อมบำรุงจากสภาพผิวทางและการใช้งาน โดยมีที่มาจากการพิจารณาค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ที่ได้รับต่อค่าใช้จ่าย (B/C) ที่ได้เก็บข้อมูลจากการศึกษาสายทางในประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกหาวิธีซ่อมบำรุง จากข้อมูลองค์ประกอบคือ ดัชนีความเรียบของผิวทาง (IRI) สภาพความเสียหายของผิวทางจากการสำรวจโดยทีมงานสำรวจสนาม (Deterioration) ปริมาณการจราจร (AADT) และชนิดของผิวทาง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยวิธีการซ่อมบำรุงที่ได้จากตารางจะใช้เป็นวิธีอ้างอิงสำหรับการพิจารณางบประมาณงานซ่อมบำรุงในระบบ TPMS ในปัจจุบัน

ตารางที่ 3.3: Treatment Matrix for TPMS Budgeting Module (AC Surface)

Roughness Range (IRI m/km)	Deterioration		Traffic Range – AADT							
	Minor	Major	< 200	201 - 500	501 - 1,000	1,001 - 2,000	2,001 - 4,000	4,001 - 6,000	6,001 - 10,000	> 10,000
< 3	< 30 %	< 10%	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM
	> 30%	< 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	RM	RM	RM	RM
		> 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50
3 – 4	< 30 %	< 10%	RM	RM	RM	RM	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50
	> 30%	< 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 60
		> 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL - 50	OL - 50	OL - 50	REH-AC
4 – 5	< 30 %	< 10%	RM	RM	OL - 50	OL - 60	OL - 60	OL - 60	OL - 60	REH-AC
	> 30%	< 10%	Seal	Seal	OL - 50	OL - 60	OL - 60	OL - 60	OL - 60	REH-AC
		> 10%	Seal	Seal	OL - 50	OL - 60	OL - 60	OL - 60	REH-AC	REH-AC
5 – 6			OL - 50	OL - 50	OL - 60	OL - 60	OL - 60	OL - 80	REH-AC	REH-AC
6 – 8			OL - 50	OL - 50	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
8 – 10			REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
> 10			REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC

RM - Routine Maintenance
Seal - Slurry Seal or Surface Treatment
OL - 50 - 50mm Asphaltic Concrete Overlay
OL - 60 - 60mm Asphaltic Concrete Overlay
OL - 80 - 80mm Asphaltic Concrete Overlay
REH - ST - Rehabilitation with Granular Base and DBST
REH - AC - Rehabilitation with Granular Base and 50mm Asphaltic Concrete Overlay

จากตารางที่ 3.3 จะเห็นได้ว่ายังมีวิธีการซ่อมบำรุงซึ่งยังไม่สอดคล้องกับวิธีการบำรุงมาตรฐานของกรมทางหลวงในปัจจุบัน อีกทั้งในกรณีที่ค่าดัชนีความเรียบสากลของผิวทาง (IRI) ยังไม่มาก คือประมาณ 3 - 5 นั้น จะมีการพิจารณาความเสียหายของผิวทางจากการสำรวจร่วมด้วย แต่เนื่องจากข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ไม่รวมถึงข้อมูลที่แสดงความเสียหายจากการสำรวจโดยทีมสำรวจทาง นอกจากนี้สมมติฐานของแบบจำลองความเสียหายของผิวทางที่ได้นำมาใช้นั้นจะถือว่ามีการบำรุงรักษาแบบปกติ (Routine Maintenance) อย่างดีตลอดการใช้งานทาง จึงจำเป็นต้องมีการปรับวิธีการซ่อมบำรุงในตารางข้างต้น เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการซ่อมบำรุงจริงในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อพิจารณาสถิติความเสียหายในการสำรวจทางโครงสร้างทางโดยทีมสำรวจทาง จากค่าในตารางที่ 3.4 พบว่าในช่วงที่มีค่าดัชนีความเรียบสากลน้อย คือประมาณ 3 – 5 นั้น ค่าเฉลี่ยของดัชนีความเรียบของผิวทางที่ปรากฏไม่สูงมากนัก และปริมาณของรอยแตกร้าวของผิวทางน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นผิวทางทั้งหมดที่สำรวจ ดังค่าในตารางที่ 3.4 แต่อย่างไรก็ดี เปอร์เซ็นต์ความเสียหายในลักษณะของรอยแตกร้าวก็เป็นเพียงรูปแบบหนึ่งของความเสียหายบนผิวทาง ไม่บ่งชี้ถึงความเสื่อมสภาพทั้งหมดของผิวทางได้

ตารางที่ 3.4: ค่าสถิติจากการสำรวจความเสียหายของผิวทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง

Roughness Range (C=Cracked)	Length of Road (km)	Average value for range			
		Roughnes in IRI (m/km)	Percentage Cracked		
			Narrow	Wide	All
0 - 3	4,758	2.21	0.00	0.00	0.00
0 - 3 c	3,269	2.30	1.30	1.72	3.02
3 - 4	670	3.37	0.00	0.00	0.00
3 - 4 c	905	3.36	1.68	2.15	3.83
4 - 5	167	4.42	0.00	0.00	0.00
4 - 5 c	187	4.44	2.87	4.65	7.52
5 - 6	177	5.40	2.79	4.90	7.69
6 - 8	51	6.67	1.00	3.52	4.52
8 - 10	6	9.40	4.19	5.00	9.19
> 10	1	10.52	0.00	0.00	0.00
Total Length	10,191	Km			

ที่มา : Road Maintenance Project, Thailand 1992

ดังนั้น หากต้องมีการพิจารณาวิธีการซ่อมบำรุงจากการดูค่าความเสียหายจากดัชนีความเรียบสากล โดยไม่พิจารณาความเสียหายทางโครงสร้างแล้ว วิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมจึงควรเป็นวิธีที่เหมาะสำหรับผิวทางในช่วงที่มีความเสียหายทางโครงสร้างไม่สูงมาก เช่นกัน

เมื่อได้ปรับแก้วิธีการซ่อมบำรุงตามตารางที่ 3.3 ตามลักษณะส่วนใหญ่ของสภาพผิวทางที่เกิดขึ้นดังค่าสถิติในตารางที่ 3.4 ร่วมกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการซ่อมบำรุงจริงในปัจจุบัน และเหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์โดยแบบจำลอง ตารางแสดงวิธีการซ่อมบำรุงที่ได้ปรับปรุงแล้วสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5: Treatment Matrix ที่ได้ปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับวิธีการซ่อมบำรุงทางของกรมทางหลวงในปัจจุบัน

Roughness Range (IRI m/km)	Traffic Range – AADT							
	< 200	201 - 500	501 - 1,000	1,001 - 2,000	2,001 - 4,000	4,001 - 6,000	6,001 - 10,000	> 10,000
< 3.00	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM
3.0 – 4.0	RM	RM	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	OL-50
4.0 – 5.0	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	OL-50	OL-50	REH-AC
5.0 – 6.0	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50	REH-AC	REH-AC
6.0 – 8.0	OL - 50	OL - 50	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
8.0 – 10.0	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
> 10.0	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC

RM - Routine Maintenance

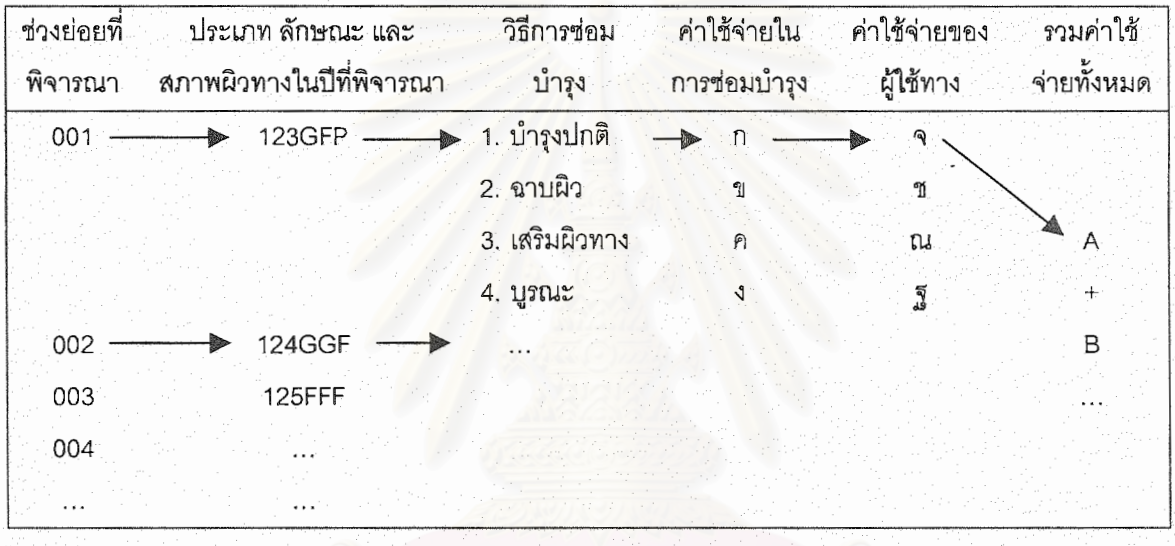
Seal - Slurry Seal or Surface Treatment

OL - 50 - 50mm Asphaltic Concrete Overlay

REH - AC - Rehabilitation with Granular Base and 50mm Asphaltic Concrete Overlay

สำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นการหาแผนงานการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพและเกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากการคำนวณแก้ปัญหาของแบบจำลอง จึงสามารถใช้ตารางวิธีการซ่อมบำรุงที่ 3.5 นี้ เป็นตัวเปรียบเทียบกันกับผลจากคำตอบของแบบจำลองที่จะได้วิเคราะห์ขึ้นต่อไป

จากลักษณะของปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า มีทางเลือกสำหรับวิธีการซ่อมบำรุงอยู่หลายวิธีซึ่งเหมาะกับความเสียหายหลาย ๆ แบบและส่งผลแตกต่างกันต่อการยืดอายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของผิวทาง ซึ่งการที่สายทางแต่ละสายและแต่ละส่วนจะเสื่อมสภาพ ย่อมใช้เวลาต่างกันเนื่องจากมีองค์ประกอบในการใช้งานต่างกัน นอกจากนี้สายทางแต่ละสายหรือแต่ละส่วนก็มีลำดับความสำคัญและผลกระทบต่อเศรษฐกิจไม่เท่ากันอีกด้วย ลักษณะของปัญหาโดยสรุปจึงสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2: ลักษณะของปัญหางานซ่อมบำรุงผิวทาง

จะเห็นได้ว่าแต่ละช่วงย่อยที่นำมาพิจารณา ย่อมมีวิธีในการซ่อมบำรุงที่เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด แต่เมื่อต้องมีการพิจารณาวางแผนงานบำรุงรักษาสายทางเหล่านี้เป็นจำนวนมาก จึงเกิดความยุ่งยากขึ้น ประกอบกับการที่งบประมาณได้รับการจัดสรรอย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องหาสมการการวิเคราะห์ที่ช่วยให้การพิจารณารวดเร็วและถูกต้องขึ้น

3.2 การพิจารณาข้อกำหนดในการวิเคราะห์แบบจำลอง

ในการวิเคราะห์เพื่อเลือกแผนงานบำรุงรักษาทางที่เหมาะสมนั้น การกำหนดค่าที่บ่งบอกถึงผลดีหรือผลเสียจากการทำงานโครงการหนึ่ง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับอีกโครงการหนึ่ง เพื่อประกอบการตัดสินใจเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ต้องกำหนดก่อนการวิเคราะห์แบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้วิธีการวัดผลที่ถูกต้องเหมาะสมก็จะให้แผนงานประกอบการตัดสินใจที่ดีได้ นอกจากนี้เกณฑ์ในการ

พิจารณาก็มีความสำคัญในการกำหนดแนวทางการเพื่อช่วยให้ค่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริงมากขึ้น

3.2.1 การพิจารณาค่าที่ใช้ในการวัดผล

วิธีการพิจารณาและค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเพื่อเลือกโครงการมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น วิธีพิจารณามูลค่าปัจจุบัน (Net Present Value) วิธีพิจารณาอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (Benefit-Cost Ratio) วิธีพิจารณาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และวิธีพิจารณาอัตราผลตอบแทนในแต่ละโครงการ (Rate of Return Analysis) ซึ่งในแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน ในการนำมาใช้กับการพิจารณางานซ่อมบำรุง ดังนี้

- วิธีพิจารณามูลค่าปัจจุบัน เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบโครงการในปัจจุบัน มีข้อดีคือสามารถเปรียบเทียบโครงการที่ระยะเวลาต่างกันได้ดี และง่ายต่อการคำนวณเปรียบเทียบโครงการจำนวนมาก
- วิธีพิจารณาอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย เป็นวิธีที่กรมทางหลวงใช้พิจารณาวางแผนงานบำรุงรักษาในปัจจุบัน และง่ายต่อการพิจารณาเปรียบเทียบโครงการ แต่มีข้อจำกัดในการพิจารณาในกรณีที่โครงการมีค่าผลประโยชน์เป็นลบที่เท่า ๆ กันแต่ใช้เงินลงทุนแตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้กับงานซ่อมบำรุงทางบางกรณี
- วิธีพิจารณาระยะเวลาคืนทุน ยังเป็นวิธีการพิจารณาที่ไม่สามารถตัดสินเลือกโครงการได้ชัดเจน และไม่เหมาะสมกับการพิจารณางานซ่อมบำรุงเนื่องจากงานซ่อมบำรุงในบางสายทางอาจไม่ก่อให้เกิดผลตอบแทนที่เป็นบวก ทำให้เปรียบเทียบระยะเวลาการคืนทุนไม่ได้
- วิธีพิจารณาอัตราผลตอบแทนต่ำสุดแต่ละโครงการ เป็นวิธีที่ไม่เหมาะในการพิจารณาเปรียบเทียบโครงการปริมาณมาก ๆ พร้อมกัน เนื่องจากข้อจำกัดในการเลือกโครงการหลาย ๆ โครงการกรณีที่ให้ค่าอัตราผลตอบแทนมากกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้ มักต้องอาศัยวิธีอื่นเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจ

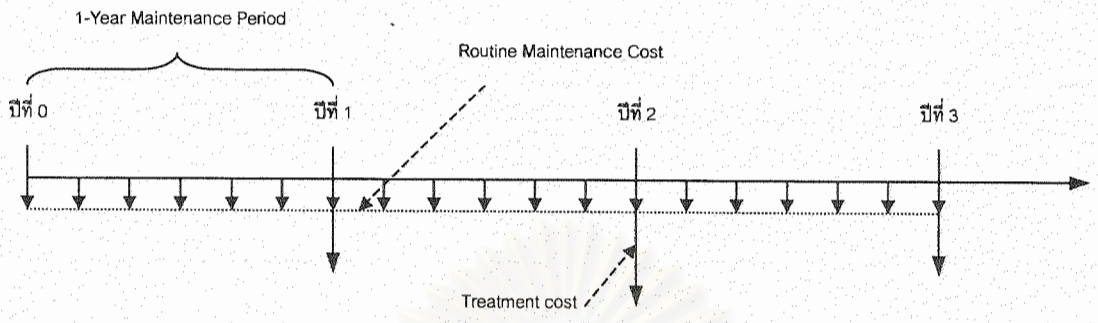
จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้เลือกวิธีการพิจารณาแบบ มูลค่าปัจจุบันมาใช้เป็นวิธีหาค่าเพื่อการตัดสินใจเนื่องจากสามารถพิจารณางานที่มีระยะเวลาต่างปีกัน และมีมูลค่าแตกต่างกันมากได้

สำหรับค่าที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบว่าจะเลือกงานซ่อมบำรุงแบบใดหรือกับสายทางใดนั้น จากรูปแบบปัญหาการบำรุงรักษาทาง ซึ่งถือว่าเป็นการใช้เงินงบประมาณในการลงทุนในโครงการซ่อมบำรุง การวัดค่าเพื่อเปรียบเทียบในลักษณะของมูลค่าเงินที่เป็นผลประโยชน์หรือค่าใช้จ่ายจึงเป็นลักษณะที่สัมพันธ์กับปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้

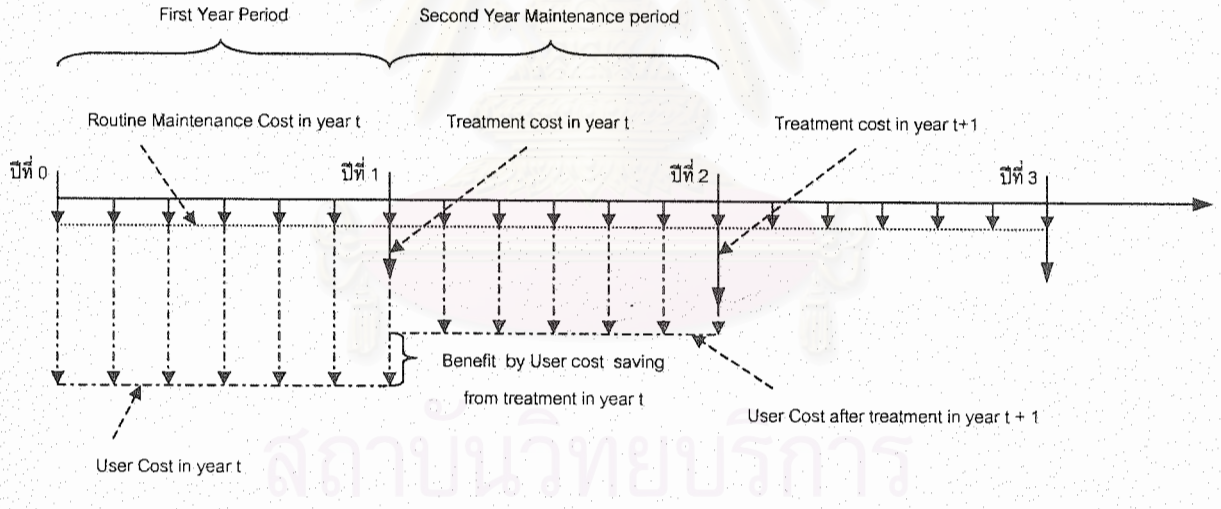
องค์ประกอบของค่าใช้จ่ายที่นำมาพิจารณาประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ส่วนหลัก คือ ค่าใช้จ่ายของภาครัฐ ซึ่งก็คือค่าใช้จ่ายของงานซ่อมบำรุงทางซึ่งรัฐเป็นผู้ดูแล และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ซึ่งค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางจะมีมูลค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงทางมากเมื่อสายทางที่พิจารณามีปริมาณการจราจรสูง เนื่องจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางเป็นมูลค่าจากการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ แต่ค่าใช้จ่ายงานบำรุงรักษาเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางในงานวิจัยนี้ จึงคำนวณอยู่ในรูปของค่าผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปีถัดไปจากการซ่อมบำรุงในปีปัจจุบัน เพื่อสามารถลดผลกระทบจากความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางกับค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง ซึ่งจะทำให้ลำดับความสำคัญของสายทางที่ซ่อมบำรุง ไม่ไปตกอยู่กับเส้นทางที่มีปริมาณการจราจรมากๆ เพียงอย่างเดียวได้ และการคำนวณหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมของแผนงานบำรุงรักษาทาง จะเป็นการคำนวณเพื่อหาค่าผลรวมสูงสุดของค่าผลประโยชน์หักลบด้วยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในทุกช่วงของสายทางที่นำมาพิจารณา โดยค่าของผลประโยชน์ที่นำมาพิจารณาจะได้มาจาก ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางที่สามารถประหยัดได้ในปีถัดไปจากการซ่อมบำรุงในปีปัจจุบันที่พิจารณา ส่วนค่าใช้จ่ายจะเป็นค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงโดยวิธีต่าง ๆ ในปีที่พิจารณานั้น

3.2.2 เกณฑ์การพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์ในการวางแผนงานบำรุงรักษา

จากเกณฑ์การคิดค่าผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.2.1 แบบจำลองที่ได้จึงมีการวิเคราะห์ในลักษณะข้ามปี คือพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในปีถัดไป อันเป็นผลกระทบจากการซ่อมบำรุงแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในปีก่อนหน้า ซึ่งระยะเวลาที่ใช้เป็นสมมติฐานในการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 กล่าวคือ รอบเวลาที่พิจารณาเป็นแผนงานจะนับช่วงเท่ากับ 1 ปี และจะถือว่ามีการซ่อมบำรุงปกติตลอดทั้งสายทุกปี ตามสมมติฐานของแบบจำลองทำนายค่าสภาพผิวทาง และเมื่อมีการกำหนดเลือกวิธีการซ่อมบำรุงสำหรับปีนั้น จะมีการทำงานซ่อมบำรุงที่สิ้นปี และส่งผลกระทบต่อค่าการซ่อมบำรุงปกติ และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางในปีถัดไปตลอดทั้งปีเสมอกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3: สมมติฐานของระยะเวลาที่พิจารณาในแผนงานซ่อมบำรุงทาง



รูปที่ 3.4: สมมติฐานการคิดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุง

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้น ลักษณะของการคิดค่าใช้จ่ายรวมของแผนงานบำรุงรักษาใด ๆ ในแต่ละปีคือ

แผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม	=	แผนงานที่ให้ค่าสูงสุดของผลรวมในทุก ๆ ช่วงย่อยของ (ผลประโยชน์ของช่วงย่อยที่พิจารณาเมื่อทำการซ่อมบำรุง - ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง)

โดยที่

ผลประโยชน์ของช่วงย่อยที่พิจารณาเมื่อทำการซ่อมบำรุง

= [- (ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนต่อหน่วยความยาวถนนในปีที่ t+1 เมื่อทำการบำรุงรักษาแบบ j ในปีที่ t – ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนต่อหน่วยความยาวถนนในปีที่ t) x (ค่าแฟกเตอร์ปรับลด)] x (SPPWF,i,t)

เมื่อ SPPWF = Single Payment Present Worth Factor = $[1/(1 + i^t)]$

และมีข้อจำกัดในการเลือกแผนงานคือ

- ใน 1 ช่วงย่อยที่พิจารณาจะเลือกวิธีการซ่อมได้เพียงวิธีเดียว และ
- ค่าใช้จ่ายรวมของแผนงานจะต้องไม่เกินกว่างบประมาณบำรุงรักษาของปีนั้น ๆ
- เมื่อ ค่า IRI $\geq$ 6.0 จะเลือกวิธีการซ่อมบำรุงได้เพียง 2 วิธี คือโดยงานบูรณะ หรืองานบำรุงปกติ ไม่เลือกการซ่อมบำรุงแบบฉาบผิวทางและเสริมผิวทาง

แผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมนั้นจะเป็นวิธีการบำรุงรักษาสำหรับแต่ละช่วงย่อย ซึ่งให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่ำที่สุดและเหมาะสม คือ ไม่เกินกว่างบประมาณที่ได้จัดสรรเอาไว้ ทั้งนี้โดยมีกรอบของการพิจารณาคือ

- ระยะเวลาในการวิเคราะห์แผนงาน จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบแผนงานปีต่อปี ซึ่งจะเป็นการหาแผนงานซ่อมบำรุงที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ในช่วงระยะเวลา 1 ปี และแบบที่มีการพิจารณาช่วงระยะเวลาในการวางแผนหลายปี ซึ่งต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่บ่งบอกถึงสภาพของผิวทางทั้งที่ได้รับการซ่อมบำรุงและไม่ได้รับการซ่อม รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยน

แปลงไปทั้งของฝ่ายรัฐและฝ่ายผู้ใช้ถนนในปีต่อ ๆ ไปด้วย เพื่อให้ได้แผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดสำหรับระยะเวลาในแผนที่กำหนด

- อัตราผลตอบแทนที่ใช้ (Discount Rate) จะใช้ที่ 12% ซึ่งเป็นอัตราผลตอบแทนที่กรมทางหลวงใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการในปัจจุบัน โดยเป็นอัตราผลการตอบแทนที่แท้จริงที่ระดับ 9.5% รวมกับอัตราเงินเฟ้ออีก 2.5% ซึ่งเป็นอัตราอ้างอิงในการพิจารณาโครงการของกรมทางหลวง และประกอบกับการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทน ณ ระดับต่าง ๆ
- ค่าใช้จ่ายต่ำสุดจากการพิจารณาจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน เพื่อการเปรียบเทียบแผนงานต่าง ๆ ในกรณีที่มีการพิจารณาในช่วงระยะเวลาที่ต่างกัน

ค่าใช้จ่ายที่เป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ทั้งสองส่วน คือ ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงทางและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง จะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าผลประโยชน์สูงสุด หรือค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมสำหรับช่วงสายทางทั้งหมดที่พิจารณาในแผนงานบำรุงรักษา โดยจะต้องอาศัยแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายเพื่อทำนายแนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น ในกรณีที่มีการวางแผนงานซ่อมบำรุงล่วงหน้า ทั้งนี้จะกล่าวถึงเรื่องของแบบจำลองดังกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.2.3 ผลกระทบของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนกรณีที่สายทางมีปริมาณการจราจรสูง

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ในส่วนของผลกระทบของปริมาณการจราจรที่ส่งผลต่อการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ในงานบำรุงรักษาทาง คือ เมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มมากขึ้น มูลค่าของค่าใช้จ่ายของหน่วยงานบำรุงรักษาทาง จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แต่ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มมากขึ้นถึงระดับหนึ่ง ดังนั้นการปรับลดผลกระทบจากสัดส่วนของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเกินไปเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ซึ่งสำหรับการใช้งานทางในประเทศไทยนั้น พบว่าปริมาณการจราจรมีผลต่อสัดส่วนค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนอย่างมาก ดังที่ได้แสดงข้อมูลในตารางที่ 2.3 กล่าวคือ สัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณจราจรของสายทางนั้นสูงกว่า 1,000 คันต่อวัน คือ มากกว่า 70% ซึ่งหมายถึงผลกระทบเรื่องค่าใช้จ่ายกับผู้ใช้ถนน มีอิทธิพล อย่างสูงสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรเกินระดับดังกล่าว และสำหรับสายทางที่มีปริมาณการจราจรตั้งแต่ 10,000 คันต่อวัน จะมีสัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจากค่าใช้จ่ายทั้งหมดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (กชกร, 2543) และ

สัดส่วนของรถหนักก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ สัดส่วนค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6: สัดส่วนเฉลี่ยค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทตลอดอายุการใช้งานแบ่งตามกลุ่มสัดส่วนรถหนัก

สัดส่วนรถหนัก (%)	สัดส่วนค่าใช้จ่ายแต่ละประเภท (%)		
	ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ	ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา	ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน
< 10	0.658	65.36	33.98
10-20	0.644	63.80	35.56
21-30	0.613	60.71	38.68
31-40	0.588	58.21	41.20
41-50	0.564	51.85	47.59
51-60	0.540	45.49	53.97
61-70	0.519	41.46	58.02
71-80	0.501	35.59	63.91
> 80	0.484	31.89	67.63

จากผลกระทบของค่าใช้จ่ายในทางด้านเศรษฐศาสตร์ของผู้ใช้ถนน ที่มีสัดส่วนมากเกินไปนี้ อาจทำให้การวิเคราะห์เลือกลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงไม่ได้ผลที่เหมาะสม เนื่องจากจุดประสงค์ของการคำนวณจะเป็นการเลือกทางที่เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หรือเกิดจากการประหยัดค่าใช้จ่ายโดยป้องกันค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นมากในอนาคตได้ หากไม่มีการปรับลดสัดส่วนค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจะทำให้ผลการเลือกการซ่อมบำรุงออกมาเป็น การซ่อมเส้นทางสายหลัก ๆ ที่มีปริมาณจราจรมากแต่เกิดความเสียหายน้อย แต่ไม่เลือกซ่อมบำรุงทางที่มีความเสียหายสูงแต่ปริมาณการจราจรต่ำ ซึ่งก่อให้เกิดความไม่ถูกต้องตามความต้องการที่แท้จริงในการสร้างเส้นทางคมนาคมและการซ่อมบำรุงทาง

ดังนั้น สำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ จึงมีการกำหนดตัวแปรเพื่อให้สามารถปรับลดค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนให้เกิดน้ำหนักที่เท่าเทียมกันในการพิจารณา ระหว่างความเสียหายทางโครงสร้าง กับความเสียหายทางเศรษฐศาสตร์ได้ โดยสามารถปรับลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจากการคูณด้วยค่าแฟกเตอร์ปรับลด (λ) ให้สัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนลดลง จนมีระดับสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงทางโดยหน่วยงานได้

3.3 การพัฒนาแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้กับการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางนั้น สามารถพัฒนาขึ้นได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสมมติฐานในการพิจารณาที่แตกต่างกัน ดังนั้นแบบจำลองที่ดีนอกจากจะสามารถนำไปใช้กับสภาพการณ์ได้อย่างสอดคล้องเหมาะสมแล้ว ยังจะต้องง่ายต่อการนำไปปรับปรุงหรือพัฒนาเพื่อใช้กับองค์ประกอบอื่น ๆ ได้ดีอีกด้วย ในส่วนของการพัฒนาแบบจำลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ องค์ประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง รูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ และลักษณะของแบบจำลองที่ได้

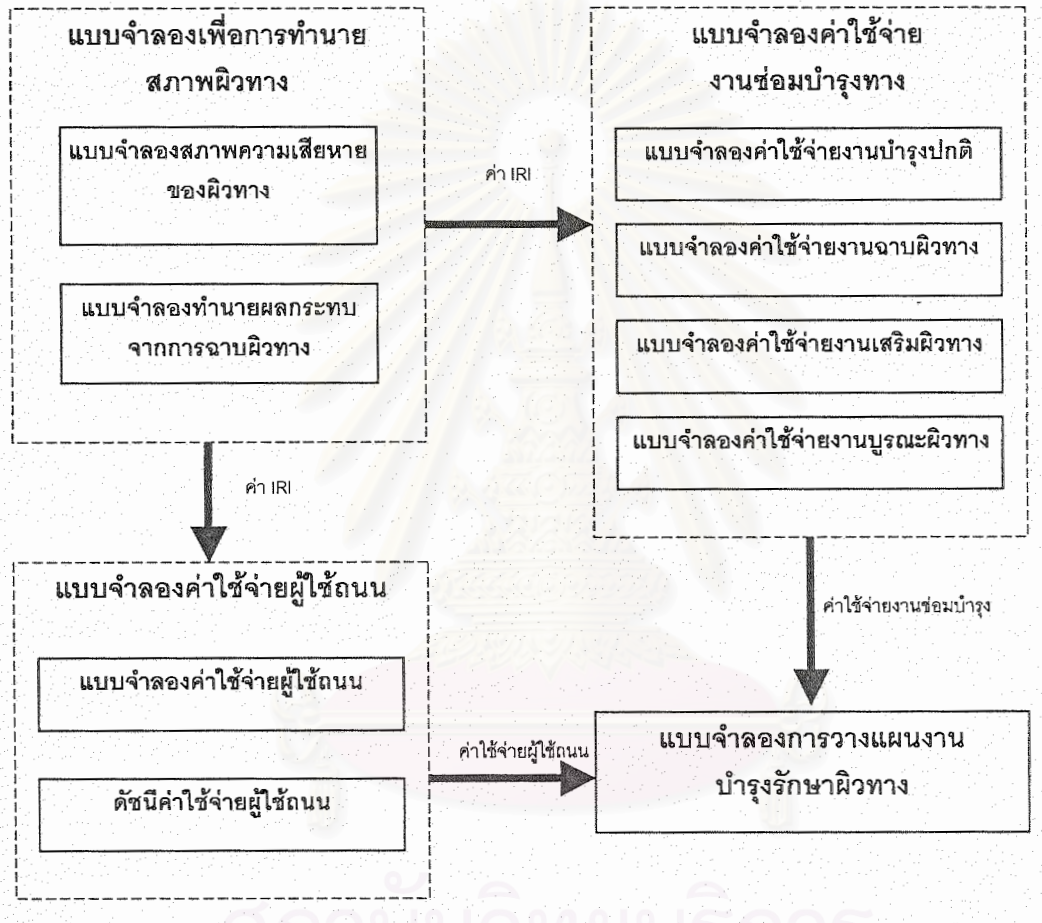
3.3.1 องค์ประกอบในการวิเคราะห์แบบจำลอง

แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ เป็นแบบจำลองที่มีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์หาแผนงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่งการที่จะให้แบบจำลองสามารถทำการวิเคราะห์ได้นั้น ต้องอาศัยค่าองค์ประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นสัญลักษณ์เพื่อแทนการอ้างอิงทางเลือก และค่าที่เป็นของตัวเลขสำหรับการแสดงมูลค่าที่วัดได้เพื่อการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขของแบบจำลอง โดยสามารถกำหนดเกณฑ์และวิธีในการหาค่าองค์ประกอบดังกล่าวสำหรับแบบจำลองการวิเคราะห์หาแผนงานที่เหมาะสม ได้ดังนี้

ค่าตัวแปรที่เป็นรูปสัญลักษณ์ในแบบจำลองนี้ ได้แก่ สายทางทั้งหมดที่ถูกนำมาวิเคราะห์ ซึ่งการกำหนดเงื่อนไขของลักษณะตัวแปร ต้องทำให้สามารถระบุได้ว่ากำลังพิจารณาสายทางใด และคำตอบที่ได้เลือกมีลักษณะการตัดสินใจแบบใด เงื่อนไขที่ใช้ระบุตัวแปรในการวิเคราะห์งานบำรุงรักษาทาง ได้แก่ ระยะเวลา (ปี) ชนิดของกิจกรรมซ่อมบำรุง และสายทางหรือช่วงย่อยของสายทางที่พิจารณา

ในส่วนของค่าตัวเลขที่เป็นมูลค่าในแต่ละตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษา ได้กล่าวในหัวข้อ 3.2.2 คือ ใช้ค่าผลประโยชน์รวมมาเป็นค่าชี้วัดเปรียบเทียบระหว่างทางเลือกต่าง ๆ ซึ่งค่าผลประโยชน์รวมดังกล่าวประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ส่วนคือ ค่าใช้จ่ายของหน่วยงานบำรุงรักษาทาง (Agency Cost) และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (User Cost) นอกจากนี้ งบประมาณสำหรับงานซ่อมบำรุงก็เป็นค่าตัวเลขที่ต้องการเพื่อเป็นข้อกำหนดในแบบจำลองเช่นกัน ซึ่งตัวเลขที่เป็นองค์ประกอบในการพิจารณาเหล่านี้ไม่สามารถหามูลค่าจริงเพื่อประกอบการวิเคราะห์ได้ทั้งหมด เนื่องจากแนวทางในการวิเคราะห์เป็นการวัดค่าในอนาคตที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นจะต้องอาศัยการหาค่าองค์ประกอบเหล่านี้จากแบบจำลองต่าง ๆ ที่ได้มีการวิเคราะห์ขึ้น แบบจำลองที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ แบบจำลองสภาพผิวทาง (Deterioration Model) และ แบบจำลองค่าใช้จ่าย (Cost Model) แบบจำลองต่าง ๆ ที่นำมาเพื่อหาค่าองค์ประกอบและลักษณะการใช้งานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5: แบบจำลองต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่าองค์ประกอบ

จากรูปที่ 3.5 เห็นได้ว่า แบบจำลองที่ถูกอ้างอิงมาใช้เพื่อหาค่าองค์ประกอบในการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ แบบจำลองเพื่อการทำนายสภาพผิวทาง แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง และแบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน โดยสภาพผิวทางที่ได้จากแบบจำลองเป็นค่าที่ไม่ถูกนำมาใช้วิเคราะห์กับแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาโดยตรง แต่จะใช้เป็นข้อมูลเพื่อหาค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน และค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงอีกครั้งหนึ่ง แบบจำลองเพื่อการหาค่าองค์ประกอบทั้งหมด

สามารถแสดงสมการได้ดังสมการที่ 3.1 – 3.13 โดยรายละเอียด ที่มา แนวคิดของแบบจำลอง และข้อกำหนดของการใช้สมการทั้งหมด ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

- **แบบจำลองทำนายสภาพผิวทาง** (Deterioration Model)

ได้อ้างอิงจากแบบจำลองของ วิศณุและคณะ(2543) ใช้เพื่อการหาค่าสภาพผิวทางของสายทางเมื่ออายุของสายทางเพิ่มขึ้นจากในสองกรณีคือ เมื่อทำการบำรุงปกติและซ่อมบำรุงวิธีฉาบผิวทาง โดยค่าสภาพผิวทางที่ได้นี้จะถูกใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบกับแบบจำลองหาค่าใช้จ่ายได้ต่อไป

(1) แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง

$$IRI = a * e^{(b_1*AGE) + (b_2*AVG.AADT) + (b_3*\%HV)} \quad (3.1)$$

โดยที่

IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากลของผิวทางช่วงที่พิจารณา(ม./กม.)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ ดังตารางที่ 3.7

AGE = อายุ (ปี) นับจากการ Overlay

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

%HV = ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก (เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 3.7: ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองที่ 3.1 สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง	ความลาดชันของภูมิประเทศ							
	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	

(2) แบบจำลองผลกระทบจากการฉาบผิวทาง

$$\Delta IRI = a + (b_1 * IRI_0) + (b_2 * AVE.AADT) + (b_3 * \%HV) \quad (3.2)$$

โดยที่

ΔIRI = ค่าความแตกต่างที่ได้จากการนำค่า IRI ในปีหลังจากการทำฉาบผิว 1 ปี ลบกับค่า IRI ในปีที่มีการทำฉาบผิว (IRI_0)

IRI_0 = ค่าดัชนีความเรียบสากลของผิวทางช่วงที่พิจารณาในปีที่มีการฉาบผิว

a, b_1, b_2, b_3, b_4 = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8: ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองที่ 3.2 สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง	ความลาดชันของภูมิประเทศ							
	0-3%		3-5%		>5%		เฉลี่ย	
	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta
a (x 10^{-2})	-9.950	-	-12.200	-	-13.400	-	-7.220	-
b_1(x 10^{-2})	4.574	0.716	5.440	0.745	6.537	0.752	4.841	0.639
b_2(x 10^{-6})	3.426	0.327	6.601	0.341	12.920	0.259	3.291	0.228
b_3(x 10^{-3})	1.043	0.106	1.703	0.165	3.690	0.249	0.506	0.045
R^2	0.640		0.534		0.492		0.441	

- **แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงทาง**

เป็นกลุ่มของแบบจำลองเพื่อหาค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งอ้างอิงมาจากแบบจำลองของ กชกร (2543) โดยแบ่งตามประเภทการซ่อมบำรุงหลัก 4 ประเภท ได้แก่ งานซ่อมบำรุงปกติ งานฉาบผิวทาง งานเสริมผิวทาง และงานบูรณะสายทาง ดังนี้

(1) แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

$$RMC = (5{,}276 + 21.5\,Year)(Age^{0.234} \cdot AADT^{0.150}) \quad (3.3)$$

โดยที่

RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร)

Year = ระยะเวลานับจากปี 2542 โดยที่เริ่มนับปีถัดไปได้เป็น 1,2,3, ... ,n

Age = อายุ (ปี) นับจากการ Overlay ครั้งหลังสุด

AADT = ปริมาณการจราจร (คัน / วัน ต่อความกว้าง 7 เมตร)

(2) แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง

$$SCC = 215{,}747.24 + 951.17\ Year \quad (3.4)$$

โดยที่ SCC = ค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง (บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร)

(3) แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวทาง

$$OLC = 1{,}156{,}517 + 19{,}901\ Year \quad (3.5)$$

โดยที่ OLC = ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวทาง (บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร)

(4) แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบูรณะ

$$RHC = 1{,}970{,}453 + 29{,}578\ Year \quad (3.6)$$

โดยที่ RHC = ค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวทาง (บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร)

- **แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน**

เป็นแบบจำลองเพื่อการหาค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ค่าสภาพของผิวทางต่าง ๆ กัน โดยแบ่งตามประเภทของยานพาหนะ 6 ประเภท คือ รถยนต์นั่ง (Passenger car) รถบรรทุกเบา (Light truck) รถบรรทุกขนาดกลาง (Medium truck) รถบรรทุกหนัก (Heavy truck) รถโดยสารขนาดเล็ก (Light bus) และรถโดยสารขนาดใหญ่ (Heavy bus) ซึ่งได้อ้างอิงจากงานวิจัยของของ กชกร (2543)

ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ได้นี้เป็นค่าใช้จ่าย ณ ฐานปี พ.ศ.2542 จึงต้องมีการปรับฐานจากดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปีที่ต้องการ แบบจำลองทั้งสองส่วนมีดังนี้

(1) แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

Passenger car:

$$RUC_{PC} = 0.0284\ IRI^2 + 0.186\ IRI + 3.3215 \qquad R^2 = 0.957 \qquad (3.7)$$

Light truck:

$$RUC_{LT} = 0.0201\ IRI^2 + 0.1585\ IRI + 2.4446 \qquad R^2 = 0.962 \qquad (3.8)$$

Medium truck:

$$RUC_{MT} = 0.0055\ IRI^2 + 0.4698\ IRI + 4.0503 \qquad R^2 = 0.999 \qquad (3.9)$$

Heavy truck:

$$RUC_{HT} = 0.0068\ IRI^2 + 0.4924\ IRI + 6.8310 \qquad R^2 = 0.999 \qquad (3.10)$$

Light bus:

$$RUC_{LB} = 0.0324\ IRI^2 + 0.1601\ IRI + 4.3524 \qquad R^2 = 0.972 \qquad (3.11)$$

Heavy bus:

$$RUC_{HB} = 0.0919\ IRI^2 + 0.3856\ IRI + 20.8227 \qquad R^2 = 0.998 \qquad (3.12)$$

เมื่อ RUC = ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนอ้างอิงจากราคาในปี 2542 (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

IRI = ดัชนีความเรียบสากล (เมตรต่อกิโลเมตร)

(2) ดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

$$RUC_T = (1.00 + 0.0439\ Year) \times RUC_{BASE} \qquad (3.13)$$

เมื่อ Year = จำนวนปีนับจากปีฐาน โดยกำหนดให้ปีฐาน (ปี พ.ศ. 2542) มีค่าเป็นศูนย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 รูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้

ลักษณะของปัญหาและวิธีในการพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายที่ได้นำเสนอไปแล้วในข้างต้น เป็นปัญหาที่ต้องการผลเฉลยในรูปแบบของ การหาค่าสูงสุดของค่าผลประโยชน์หักลบด้วยค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และมีค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดไม่เกินวงเงินงบประมาณ ซึ่งสามารถใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบ Optimization ได้ และสมการปัญหามีรูปแบบของสมการจุดประสงค์เป็นลักษณะของผลรวมของผลคูณอย่างง่าย ที่มีการพิจารณาในช่วงเวลาซึ่งอาจมีหลายช่วง (Time - Horizon) นอกจากนี้ข้อจำกัดในเรื่องของการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงซึ่งในแต่ละช่วงย่อยที่พิจารณานั้นจะสามารถเลือกการซ่อมได้เพียงวิธีเดียว คือ ต้องเลือกว่าจะใช้หรือไม่ใช้สำหรับการซ่อมบำรุงวิธีใดวิธีหนึ่งกับช่วงทางนั้น ๆ ที่พิจารณา ทำให้การกำหนดวิธีการซ่อมนั้นเหมาะที่จะเป็นฟังก์ชั่นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Function) ซึ่งเป็นลักษณะของการคูณด้วย 0 หรือ 1 ในทางคณิตศาสตร์ ในการแทนการเลือกวิธีการซ่อมทาง

ดังนั้นลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมและนำมาใช้สำหรับปัญหาประเภทนี้จึงเป็นชุดของสมการที่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Function) และมีสมการข้อจำกัดบางส่วนเป็นสมการแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบทั่วไปได้คือ

$$
\begin{aligned}
&\textit{Maximize} && f = \sum_{j=1}^{n} C_j X_j \\
&\textit{Subject to} && \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = b_i && i = 1,2,\ldots,m \\
& && x_j \leq 0 \\
& && x_j = \text{int}\,eger && j = 1,2,\ldots,n
\end{aligned}
$$

ทั้งนี้ เทคนิคที่นำมาใช้แก้ปัญหาเพื่อหาผลลัพธ์ที่เป็นคำตอบของระบบสมการดังกล่าว จะได้แสดงไว้ในหัวข้อต่อไป

3.3.3 ลักษณะของแบบจำลองที่ได้

จากข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งลักษณะของปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมด สามารถกำหนดสมการของปัญหา โดยแบ่งตามส่วนประกอบสำคัญของระบบสมการ คือ สมการจุดประสงค์ (Objective Function) กลุ่มของตัวแปร (Variables) และกลุ่มของข้อจำกัด (Constraints) ได้ดังนี้

- **กลุ่มของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง** (Decision Variables)

ตัวแปรที่มีผลต่อค่าผลเฉลยจากการแก้ปัญหาทั้งหมด สามารถกำหนดในรูปสัญลักษณ์เพื่อแทนในสมการได้ คือ

t แทน เวลา (ปี)

j แทน ชนิดของกิจกรรมซ่อมบำรุง

i แทน ช่วงย่อยของสายทางที่พิจารณา

X แทน ชุดของสายทางที่พิจารณา

C แทน ค่าใช้จ่ายของหน่วยงานบำรุงรักษาทาง (Agency Cost)

U แทน ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (User Cost)

B_t แทน งบประมาณสำหรับงานซ่อมบำรุงในปีที่ t (Budget in year t)

λ แทน แฟกเตอร์สำหรับลดสัดส่วนของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่เป็นผลจากปริมาณจราจรที่มีจำนวนมาก (Reduction factor for user cost)

โดยที่ $X_{ij(t)}$ หมายถึง สายทางส่วนที่ i ที่ได้รับการซ่อมบำรุงโดยวิธี j ณ เวลาที่ t

ค่าของ X_i จะเป็นค่าที่สามารถบอกความหมายได้ถึงตำแหน่งที่ตั้งของช่วงทาง โดยอาจให้ค่า i เป็นค่าหมายเลยทางหลวงและช่วง Control Section ของสายทางนั้น ๆ ซึ่ง ค่าของ X_i ค่าหนึ่ง ๆ ที่อยู่ในการพิจารณาจะต้องมีค่าเป็น 1 หรือ 0 เท่านั้น คือ เลือกซ่อมบำรุงหรือไม่ซ่อมบำรุง จากเงื่อนไขที่ช่วงของสายทางหนึ่ง ๆ จะเลือกวิธีซ่อมบำรุงได้เพียงวิธีเดียวเท่านั้น

$j_{(t)}$ กำหนดให้มีค่าแทนความหมาย 4 ค่า แทนทางเลือกของวิธีการซ่อมบำรุง 4 วิธี คือ

0 = ซ่อมบำรุงโดยวิธีงานซ่อมบำรุงปกติ (Routine Maintenance)

1 = ซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีงานฉาบผิว (Seal Coating)

2 = ซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีงานเสริมผิว (0.5mm Asphalt Overlay)

3 = งานซ่อมบำรุงบูรณะผิวทาง (Rehabilitation)

โดยค่า j ที่การพิจารณา t ปี จะมีจำนวนเท่ากับ t ตัวติดต่อกัน เช่นถ้าระยะ 3 ปี ค่า j เท่ากับ j_{201} จะหมายความถึงการซ่อมบำรุงแบบที่ 2 ในปีที่ 1 แบบที่ 0 ในปีที่ 2 และแบบที่ 1 ในปีที่ 3

t แสดงระยะเวลา (ปี) ในกรณีที่มีการวิเคราะห์ต่อเนื่องหลายปีติดต่อกัน เนื่องจากตัวเลขค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และงบประมาณ เป็นฟังก์ชันที่มีความเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลาเป็นหลัก

$C_{ij(t)}, U_{ij(t)}$ เป็นค่าใช้จ่ายของหน่วยงานบำรุงรักษาทาง และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ของสายทางส่วนที่ i ที่ได้รับการซ่อมบำรุงโดยวิธี j ณ เวลาที่ t ตามลำดับ ซึ่งค่าใช้จ่ายของหน่วยงานบำรุงรักษาทาง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.11 ถึง 3.15 และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.18 ถึง 3.23 และสมการที่ 3.26

สำหรับวิธีในการซ่อมบำรุงทางในงานวิจัยนี้ การซ่อมบำรุงโดยวิธีงานซ่อมบำรุงปกติ จะมีความหมายเสมือนกรณีที่ไม่ทำการซ่อมบำรุงในปีนั้น (Do-nothing) เนื่องจากสมมติฐานของแบบจำลองในการทำนายค่าสภาพผิวทางจะถือว่ามีการซ่อมบำรุงปกติอย่างสม่ำเสมอในทุกสายทางตลอดการพิจารณา ดังนั้นเมื่อไม่มีการเลือกให้ซ่อมบำรุงโดยวิธีอื่นใดในปีนั้น ก็เสมือนว่าเป็นการให้ซ่อมบำรุงปกตินั่นเอง

- ชุดของสมการจุดประสงค์ และสมการข้อจำกัด (Objective Function & Constraints)

เมื่อแทนตัวแปรตามสัญลักษณ์ที่ได้กำหนดไว้ เข้ากับรูปแบบของปัญหาและข้อจำกัดที่มีอยู่ทั้งหมด จะได้ชุดของสมการจุดประสงค์ และสมการข้อจำกัด ดังชุดสมการที่ 3.27 ซึ่งชุดของสมการที่ได้นี้ จะจัดอยู่ในประเภทของ Linear-Integer Problem ซึ่งรูปแบบหลัก ๆ ของสมการ จะต้องมีตัวแปรในสมการข้อจำกัดที่มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม หรือ เป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น อย่างน้อยหนึ่งตัวแปร ซึ่งรายละเอียดของวิธีและขั้นตอนการแก้ปัญหาในลักษณะดังกล่าวรวมทั้งสำหรับชุดสมการนี้ จะได้แสดงไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$
\begin{aligned}
\textit{Maximize} \quad & \sum_{i=1}^{i}\sum_{t=1}^{t}\sum_{j=0}^{3} \left[\lambda\left(U_{ij(t)} - U_{ij(t+1)}\right) - C_{ij(t)}\right] \times X_{ij(t)} \\
\textit{Subject to:} \quad & \sum_{t=1}^{t}\sum_{i=1}^{i}\sum_{j=0}^{3} C_{ij(t)} \times X_{ij(t)} \leq B_t \\
& \sum_{j=0}^{3} X_{ij(t)} = 1
\end{aligned}
\qquad (3.14)
$$

and

$X_{ij(t)} = 1$ *if improvement ation* (j) *is performed on* section (i) *at time* (t).

$= 0$ *if there is no action.*

$j = 0$ *or* 3 *if* $IRI \geq 6.0$

จากชุดสมการที่ 3.14 ในบรรทัดแรกเป็นสมการจุดประสงค์ของปัญหา ซึ่งเป็นการเลือกเอาคำตอบที่มีค่าสูงที่สุดของผลรวมของค่าผลประโยชน์ของผู้ใช้ทางที่สามารถประหยัดได้จากการซ่อมบำรุงวิธีนั้น ๆ ในทุก ๆ ช่วงของถนนที่นำมาพิจารณา หักลบด้วยค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุง มาเป็นผลเฉลยสุดท้าย นั่นคือ การเลือกเอาผลเฉลยที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดมาเป็นแผนงานบำรุงรักษานั่นเอง ส่วนความหมายของชุดสมการข้อจำกัดในบรรทัดต่อมานั้น ในบรรทัดแรกเป็นการบ่งบอกถึงข้อจำกัดทางงบประมาณ คือ ไม่ยอมให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางทั้งหมดในปีหนึ่ง ๆ มีค่ามากกว่างบประมาณที่ได้รับในปีนั้น ๆ ส่วนบรรทัดที่สองเป็นการบอกถึงข้อจำกัดในการซ่อมบำรุง โดยกำหนดให้การซ่อมบำรุงทางในแต่ละช่วงทางที่พิจารณา สามารถเลือกวิธีการซ่อมบำรุงได้เพียงวิธีการเดียว และบ่งบอกถึงการไม่เป็นค่าลบของตัวแปรที่กำหนดนั้น (Non-negativity) ส่วนเงื่อนไขที่ได้แสดงไว้ต่อจากชุดสมการนั้น เงื่อนไขแรกจะแสดงเงื่อนไขที่แสดงการเลือกว่าจะซ่อมสายทางใดโดยวิธีใดเมื่อเวลาใดในทางคณิตศาสตร์ ส่วนเงื่อนไขที่สองจะเป็นเงื่อนไขตามเกณฑ์การเลือกวิธีการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงในปัจจุบัน คือ เมื่อค่าดัชนี IRI $\geq$ 6.0 เนื่องจากพฤติกรรมและจุดประสงค์ของการซ่อมบำรุงโดยวิธีบูรณะผิวทางจะแตกต่างกับวิธีซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาแบบอื่น ๆ คือนอกจากจะเสริมสภาพผิวทางในแง่ของการใช้งานแล้ว ยังเป็นการซ่อมแซมความเสียหายทางด้านโครงสร้างของชั้นทางด้วย ในขณะที่การซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลานั้นจะเสริมสภาพของผิวทางในแง่ของการบริการแต่ไม่สามารถลดความเสียหายในชั้นโครงสร้างทางได้ ซึ่งจากผลการศึกษาของกรมทางหลวง

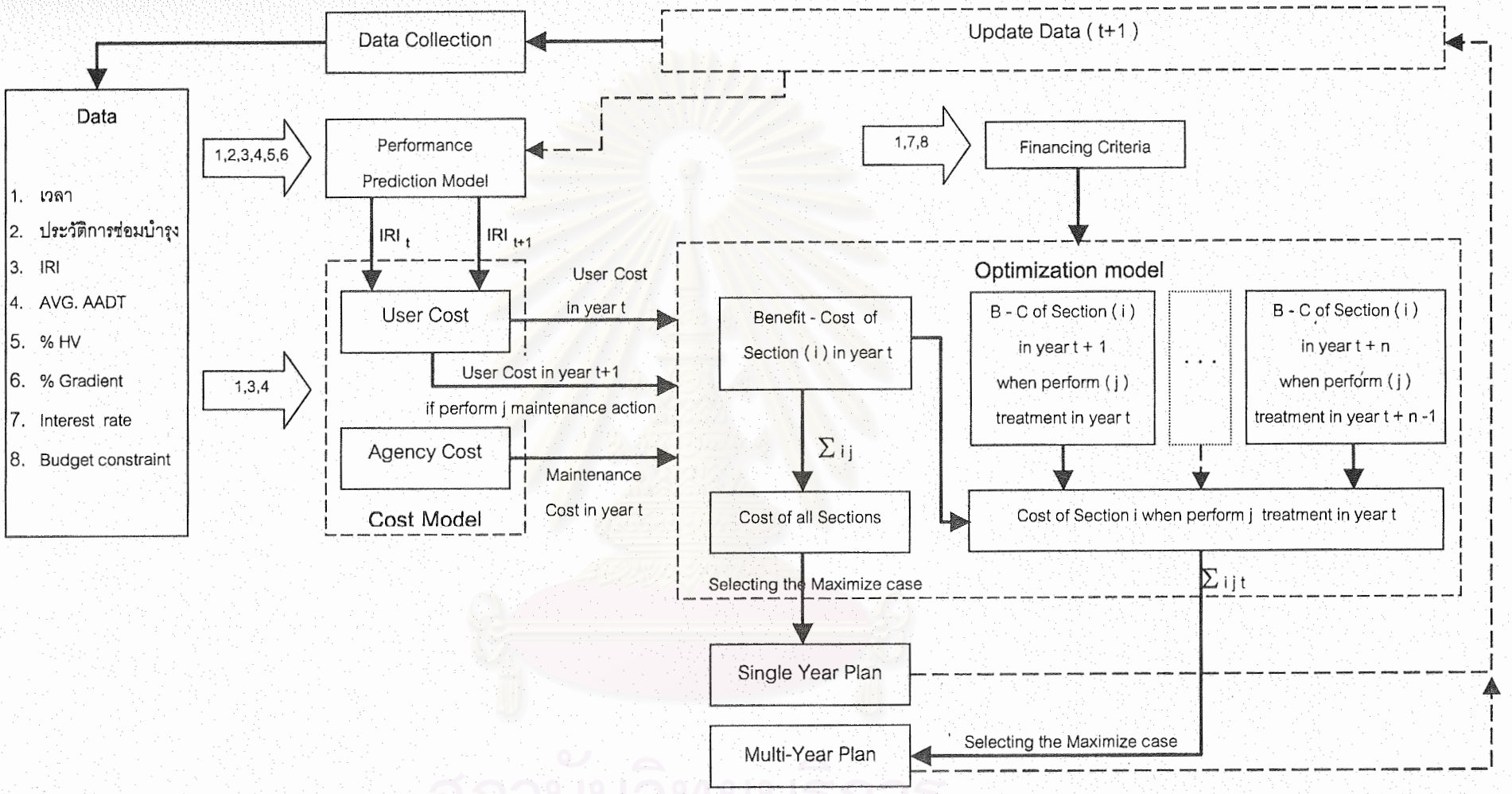
พบว่าเมื่อระดับค่า IRI $\geq$ 6.0 จะเป็นระดับที่มีความเสียหายมากถึงชั้นโครงสร้างทางแล้ว จำเป็นต้องใช้การซ่อมบำรุงแบบบูรณะ เพื่อการซ่อมแซมโครงสร้างทาง

นอกจากนี้ ชุดสมการนี้สามารถรองรับการคำนวณในช่วงระยะเวลาที่มากกว่า 1 ปีได้เช่นกัน โดยในส่วนของการพิจารณาข้ามปีนั้น ทุกครั้งที่พิจารณาครบรอบ 1 ปีแล้ว ต้องมีการปรับค่าของข้อมูลค่าสภาพผิวทางในแต่ละช่วง และค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ทุกชนิดตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งวิธีในการซ่อมบำรุงในปีถัดไปก็จะเปลี่ยนแปลงตามค่าของสภาพผิวทาง ที่อาจได้รับการซ่อมบำรุงต่างกันหรือไม่ได้รับการซ่อมบำรุงด้วยเช่นกัน ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

3.4 การใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหา

การวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาทางจะเริ่มจากการเก็บข้อมูลที่ต้องการทั้งหมดของทุกสายทางที่จะนำมาพิจารณา เนื่องจากการวิเคราะห์จะสามารถทำได้เมื่อมีข้อมูลตัวเลขที่ได้จากการคำนวณผ่านแบบจำลององค์ประกอบครบถ้วนแล้วเท่านั้น โดยขั้นตอนการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการคำนวณโดยแบบจำลองเพื่อหาค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และค่าทำนายสภาพของผิวทางของทุกช่วงสายทางที่พิจารณา ทั้งในปีปัจจุบันจากช่วงของสายทางที่ถูกเลือกและข้อมูลที่ได้มีการเก็บไว้ และในปีต่อ ๆ ไปจากค่าที่ได้จากการทำนายสภาพผิวทางและวิธีการซ่อมบำรุงที่เลือก ส่วนขั้นตอนที่ 2 จะเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาแผนงานบำรุงรักษา โดยจะเป็นการวิเคราะห์เพื่อเลือกกรณีของแผนงานที่ให้ค่าผลรวมของค่าผลประโยชน์ลบด้วยค่าใช้จ่ายสูงสุด ซึ่งข้อมูลค่าใช้จ่ายทุกประเภทของทุกช่วงสายทางจะถูกนำมาเรียงประกอบเป็นกรณีต่างๆ เพื่อหาว่ากรณีการซ่อมบำรุงแบบไหนเป็นกรณีที่มีค่าผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรวมสูงที่สุด รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของการส่งผ่านข้อมูลในแบบจำลองและการวิเคราะห์ เมื่อทำการคำนวณหาค่าองค์ประกอบในสมการดังกล่าวได้ครบถ้วนแล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6: ลักษณะการวิเคราะห์ของแบบจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

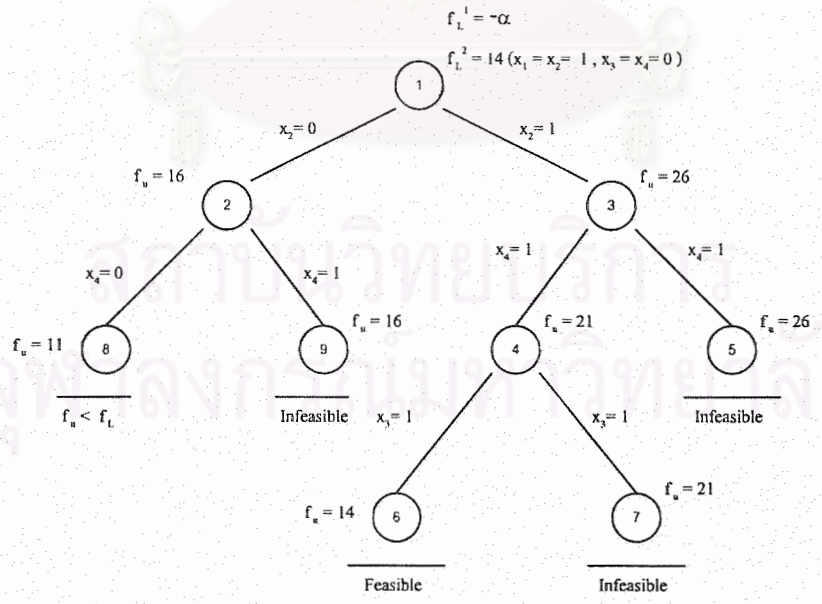
3.4.1 เทคนิคในการแก้สมการแบบจำลอง

เทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับชุดสมการที่ 3.14 เพื่อหาแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมนั้น ในงานวิจัยนี้สามารถใช้ 2 วิธีในการแก้ปัญหา ได้แก่

- วิธี Integer programming หรือ 0 – 1 Programming ซึ่งเป็นระบบการคำนวณเพื่อเลือกหาคำตอบ จากกรณีทั้งหมด 2^n กรณี โดยที่ n เป็นจำนวนของตัวแปรทั้งหมดในสมการวัตถุประสงค์ และการเลือกหาคำตอบจะเป็นการใช้ วิธี Branch and Bound คือแบ่งคำตอบออกเป็นขั้นละ 2 ทางเลือก แล้ววิเคราะห์โดยวิธี Linear programming เพื่อเลือกหาทางใดทางหนึ่งไปเรื่อย ๆ ในลักษณะรากต้นไม้ และจะได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการเลือกในขั้นสุดท้าย ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.7

$$\textit{Maximize} \quad f = 4x_1 + 10x_2 + 7x_3 + 5x_4$$

$$\textit{Subject to}: \quad \begin{aligned} x_1 - 3x_2 - 2x_3 + 5x_4 &\le -1 \\ -2x_1 + x_2 + 2x_3 - 2x_4 &\le 0 \\ x_2 - 2x_3 + x_4 &\le 1 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 &= 0 \textit{ or } 1 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.7: การแก้ปัญหาโดย Integer problem โดยวิธี Branch and Bound

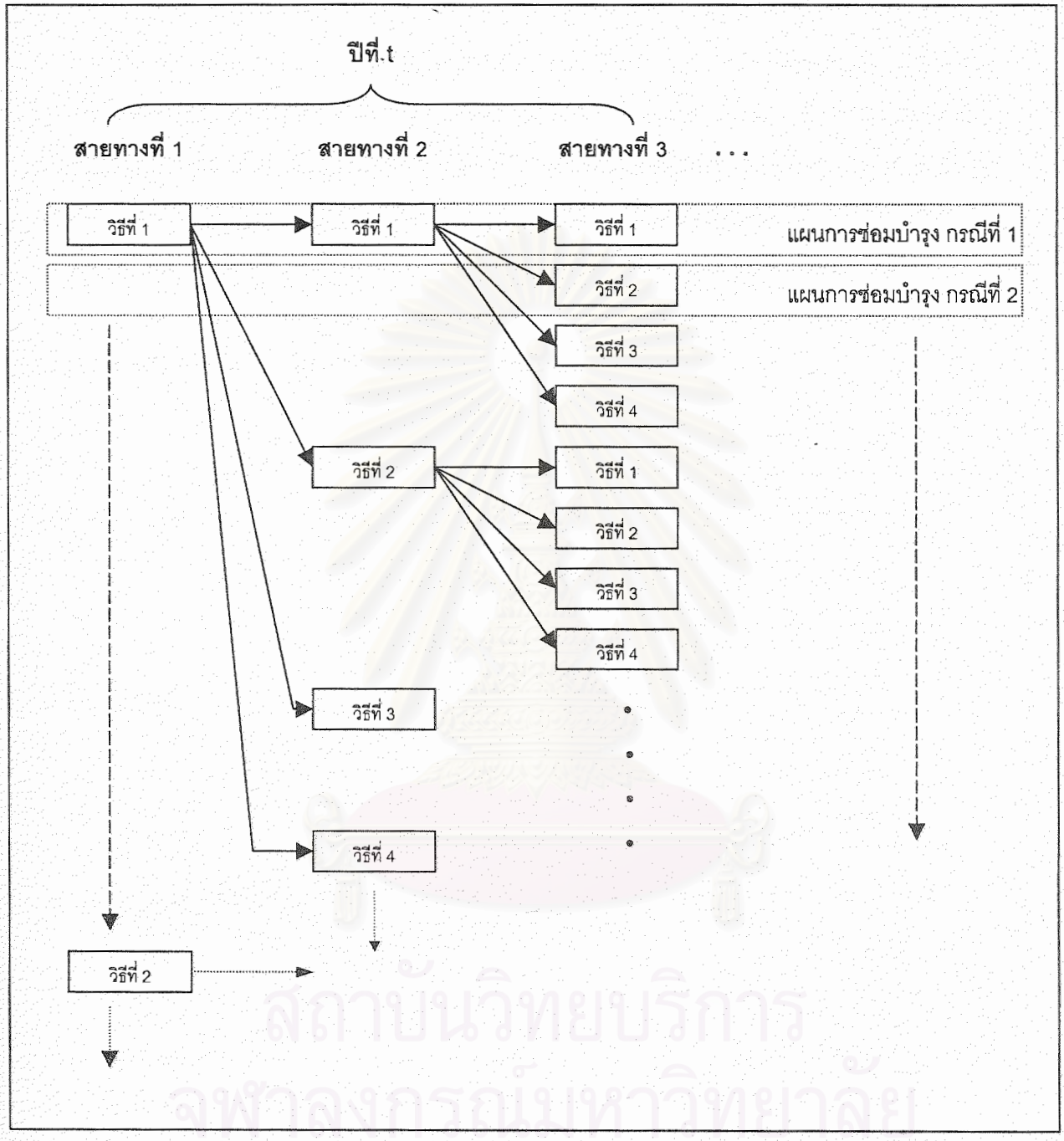
- วิธีการคำนวณแบบ Simulation ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณแบบตรงจากการคำนวณในทุกกรณีที่เกิดขึ้นได้ โดยจำนวนของแผนการซ่อมบำรุงทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้ จะมีจำนวนดังสมการคือ

$$\text{จำนวนกรณีที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด} = (\text{วิธีการซ่อมบำรุง}^{\text{จำนวนสายทางที่พิจารณา}})^{\text{จำนวนปีที่พิจารณา}}$$

นั่นคือ ถ้าต้องการพิจารณาแผนงานบำรุงรักษาสำหรับสายทาง 10 สายทาง ในรอบเวลา 1 ปี จำนวนของแผนงานที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมด จะเท่ากับ $(4^{10})^1 = 1,048,576$ แบบ (จำนวนของวิธีการซ่อมบำรุงหลัก ๆ ของกรมทางหลวงในปัจจุบัน และงานวิจัยนี้มี 4 วิธี) หรือถ้าต้องการพิจารณาแผนงานซ่อมบำรุงทาง 5 สายทางในช่วงเวลา 3 ปี จะมีกรณีทั้งหมดที่ต้องพิจารณาเท่ากับ $(4^5)^3 = 1,073,741,824$ กรณี ดังแสดงให้เห็นการจัดเรียงกรณีของแผนงานดังรูปที่ 3.8 และจากจำนวนแผนงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้นั้น จะมีเพียงกรณีเดียวเท่านั้นที่ให้ค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงต่ำที่สุด และไม่เกินกว่าวงเงินงบประมาณที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งแผนงานนั้นก็คือแผนงานซ่อมบำรุงรักษาที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมนั่นเอง และจะคำนวณค่าผลประโยชน์รวมและค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงตามที่ได้แสดงการจัดเรียงกรณีในรูปที่ 3.8 ในทุกกรณี จากนั้นจึงจัดเรียงหาแผนงานกรณีที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด โดยที่ค่าใช้จ่ายรวมในการซ่อมบำรุงยังไม่เกินกว่าวงเงินงบประมาณที่กำหนด ดังที่จะได้แสดงวิธีและตัวอย่างการคำนวณในหัวข้อต่อไป

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่า จำนวนของกรณีที่ต้องพิจารณาจะมีค่าทวีคูณขึ้นอย่างมากเมื่อจำนวนของสายทาง หรือจำนวนของปีที่พิจารณาเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการพิจารณาหาแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับถนน 20 สายทางในช่วงระยะเวลา 5 ปี จะต้องมีจำนวนของแผนงานที่ต้องพิจารณาถึง 1.61×10^{60} กรณี ดังนั้นวิธีในการวิเคราะห์แก้ปัญหาสมการจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก เนื่องจากวิธีที่ดีจะทำให้สามารถหาผลลัพธ์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งช่วยลดจำนวนครั้งของการคำนวณลงได้มาก

วิธีที่ได้นำมาแสดงการคำนวณแก้ปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ คือ วิธีการคำนวณแบบ Simulation ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบทางตรง ที่ใช้การคำนวณหาค่าผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายสำหรับทุกกรณี เนื่องจากความสามารถในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันที่ทำการคำนวณซ้ำ ๆ ได้มากและรวดเร็ว กระบวนการพิจารณาที่ไม่ซับซ้อนจึงง่ายและเหมาะสมกว่าในการแสดงการคำนวณที่ไม่มากเกินข้อจำกัดของโปรแกรม โดยจะได้แสดงตัวอย่างจากการคำนวณในบทต่อไป



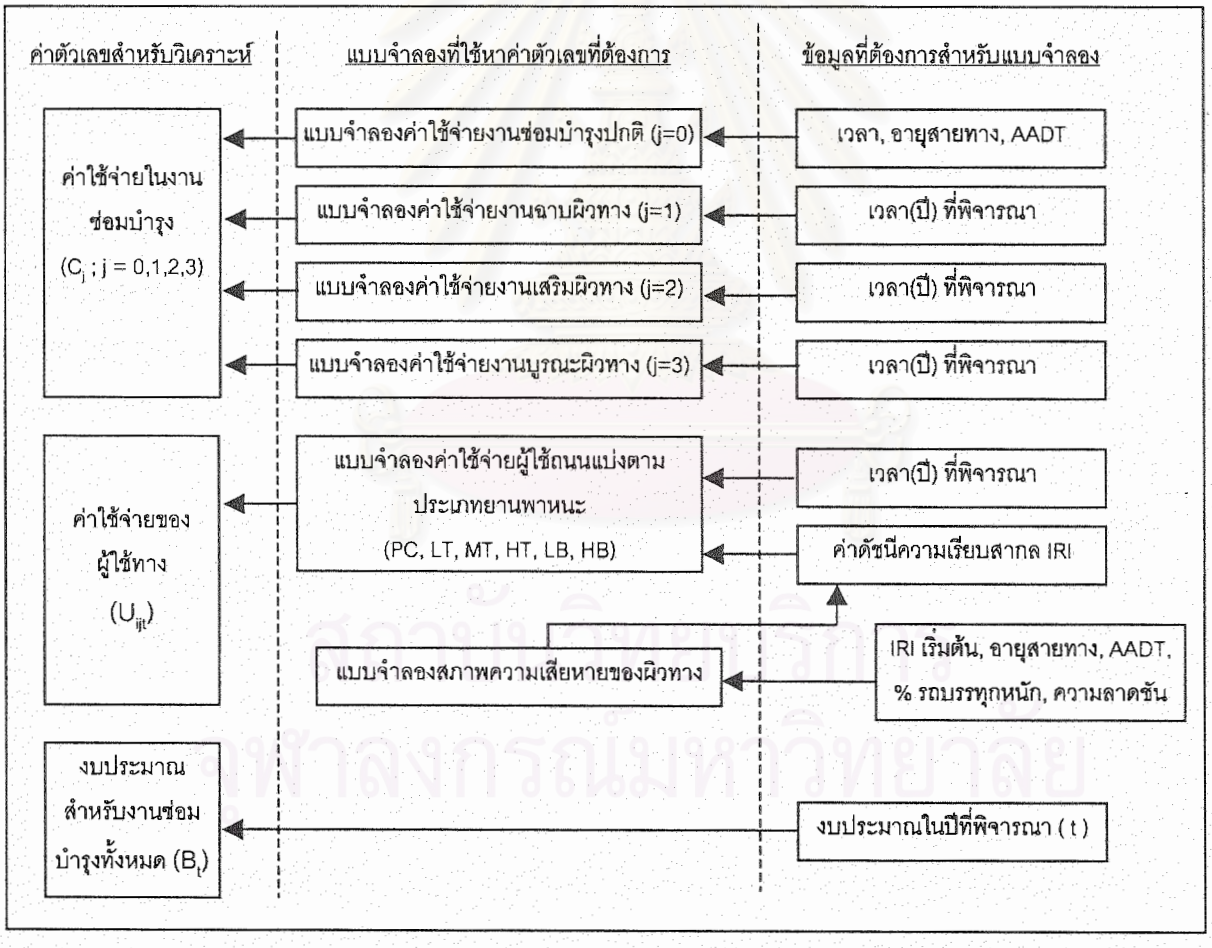
รูปที่ 3.8: จำนวนกรณีทั้งหมดของแผนงานซ่อมบำรุง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการในการใช้แบบจำลอง

สำหรับการวิเคราะห์หาแผนงานการบำรุงรักษาทางที่เหมาะสม โดยอาศัยแบบจำลองหรือชุดสมการที่ 3.27 ที่ได้แสดงไว้ข้างต้น เป็นสมการหลักในการคำนวณนั้น ค่าในการคำนวณทั้งหมด ยกเว้นค่าตัวแปร X ซึ่งเป็นค่าตัวแปรแสดงการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่ต้องการแล้ว ค่าของตัวแปรอื่น ๆ ทั้งหมดจะต้องอยู่ในรูปของตัวเลขเท่านั้น จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการเก็บข้อมูลให้ครบ เพื่อให้สามารถหาค่าตัวเลขอื่น ๆ ทั้งหมด มาแทนค่าในสมการได้

เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของแบบจำลอง และตัวแปรที่ต้องแทนค่าทั้งหมด ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์ทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.9 คือ



รูปที่ 3.9: ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการในการใช้แบบจำลอง

จากรูปที่ 3.6 ข้อมูลเริ่มต้นที่ต้องการเพื่อให้สามารถทำหาวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาโดยใช้แบบจำลองการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมหรือชุดสมการที่ 3.27 นั้น ได้แก่ค่า IRI เริ่มต้น อายุของสายทางนับจากการซ่อมบำรุงใหญ่ AADT ค่าสัดส่วนรถบรรทุกหนัก ค่าความลาดชัน ปีที่ทำการวิเคราะห์ในปัจจุบัน และงบประมาณทั้งหมด ซึ่งในปัจจุบันได้มีการเก็บข้อมูลเหล่านี้เพื่อเป็นฐานข้อมูลในระบบ TPMS ของกองบำรุงรักษา กรมทางหลวง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาโดยวิธีนี้ จากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน

3.4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์

เมื่อทำการวิเคราะห์หาคำตอบจากชุดสมการแบบจำลองที่ 3.27 โดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหาโดยวิธี Simulation ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแผนงานบำรุงรักษาสำหรับสายทางทุกช่วงสายทางที่ได้มีการเลือกมาอยู่ในระบบปัญหาว่าช่วงสายทางใด จะทำการซ่อมบำรุงโดยวิธีใด ณ ปีปัจจุบัน หรือปีอื่น ๆ ถัดไปตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้ได้ค่าผลประโยชน์รวมของงานบำรุงทางสูงที่สุด โดยค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุงทั้งหมดจะไม่เกินไปกว่ากรอบของงบประมาณที่มีให้ในช่วงเวลาที่พิจารณานั้น ซึ่งผลลัพธ์นี้ จะสามารถช่วยในการพิจารณาวางแผนงานซ่อมบำรุงทางโดยมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณได้ ทั้งแผนงานที่พิจารณาแบบปีต่อปี และแผนงานที่พิจารณาเป็นช่วงระยะเวลาเพื่อความยืดหยุ่นในด้านการพิจารณางบประมาณ ซึ่งนับเป็นรูปแบบการพิจารณาที่มีข้อดีกว่ารูปแบบการพิจารณาวางแผนงานซ่อมบำรุงในปัจจุบัน คือ

- มีการพิจารณาในรูปของมูลค่าปัจจุบันเพื่อลดความแตกต่างในการพิจารณาโครงการซ่อมบำรุงหลายโครงการในระยะเวลาต่างกัน
- สามารถพิจารณาแผนงานได้ทั้ง 2 แบบ คือ แบบที่มีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณตามสภาพการทำงานจริง และในแบบที่ไม่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ เพื่อประมาณความต้องการงบประมาณสำหรับการซ่อมบำรุงทางทั้งหมดได้
- สามารถวางแผนงานในการบำรุงรักษาทางแบบต่อเนื่องในระยะเวลาหลายปีได้
- แบบจำลองที่ใช้ในการหาค่าองค์ประกอบในการวิเคราะห์แผนงานสามารถปรับปรุงให้สอดคล้องกับสภาวะการณ์ รวมทั้งสามารถปรับค่าสมมติฐานต่าง ๆ ได้ เช่น อัตราการเพิ่มของปริมาณจราจร อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ (Minimum Attractive Rate of Return, MARR) รวมถึงค่าปรับลดผลกระทบจากปริมาณการจราจรต่อค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางตามความเหมาะสม

3.5 สรุป

เนื้อหาในบทนี้ เป็นขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง และกำหนดวิธีในการวิเคราะห์หาคำตอบให้กับการวางแผนงานบำรุงรักษาทาง โดยให้มีเป้าหมายเป็นแผนงานที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดและไม่เกินงบประมาณที่กำหนด ซึ่งการวางแผนงานบำรุงรักษาทางนับว่าเป็นงานที่มีความซับซ้อนในการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงเมื่อพิจารณาระดับของสายทางเป็นระบบขนาดใหญ่ มีการใช้งบประมาณจำนวนมาก โดยสายทางแต่ละเส้นมีสภาพแวดล้อมการใช้งานที่แตกต่างกัน ทำให้มีอัตราการเสื่อมสภาพที่แตกต่างกัน การเลือกวิธีในการซ่อมบำรุงในแต่ละช่วงความเสียหายก็แตกต่างกัน อีกทั้งในแต่ละสายทางมีความสำคัญแตกต่างกันในทางเศรษฐกิจและสังคมไม่เท่ากัน การพิจารณาเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรวมของแผนงานอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองสำหรับวางแผนงานบำรุงรักษา เริ่มจากการกำหนดลักษณะของปัญหา โดยวิเคราะห์องค์ประกอบของปัญหา ความต้องการในงานซ่อมบำรุงทาง และค่าที่ใช้ในการวัดผล เพื่อนำมาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ที่เป็นสมการจุดประสงค์แทนตัวปัญหา และสมการข้อจำกัดจากค่าองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องและแบบจำลองสำหรับหาค่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงแบบจำลองเพื่อการทำนายค่าองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อการวางแผนในปีปัจจุบันอนาคต ได้แก่ ค่าสภาพความเสียหาย ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง และเมื่อได้รูปแบบของสมการที่เป็นไปได้แล้ว จะต้องพิจารณาความเป็นไปได้ของข้อมูลที่ต้องการ เพื่อปรับแก้แบบจำลองให้เกิดความเหมาะสมในการนำไปใช้จริง โดยแบบจำลองที่ได้นี้เป็นแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลที่มีการเก็บอยู่ในฐานข้อมูลงานทางของกรมทางหลวงในปัจจุบันเป็นหลัก และจากรูปแบบการหาคำตอบของแบบจำลอง จะสามารถพิจารณาแผนงานได้ 2 แบบคือแบบปีต่อปีและแบบเป็นช่วงระยะเวลาปีติดต่อกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย

เมื่อได้ชุดของสมการแบบจำลองและองค์ประกอบเพื่อการวิเคราะห์ที่มีความเป็นไปได้ในการหาข้อมูลแล้ว ขั้นตอนต่อมาก็คือการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สามารถทำให้เห็นถึงปัญหาและข้อจำกัดในการนำไปใช้ ในบทที่ 4 นี้ แสดงลักษณะและวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างข้อมูล และกรณีศึกษาตัวอย่างโดยใช้แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมาวิเคราะห์หาผลเฉลย รวมถึงลักษณะของผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลอง โดยจะกล่าวถึงสมมติฐานในการวิเคราะห์ปัญหา และข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบจำลองการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมหาแผนงานบำรุงรักษา ซึ่งตัวอย่างและสมมติฐานในการวิเคราะห์ในบทนี้ จะสามารถใช้เป็นตัวอย่างเพื่อการนำไปปรับปรุงหรือแก้ไขสมมติฐานในการใช้จริงได้ต่อไป

4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาโดยแบบจำลอง

4.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ส่วนแรกเป็นการหาค่าองค์ประกอบที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และค่าสภาพผิวทางของแต่ละช่วงสายทาง ทั้งในปีปัจจุบันที่วิเคราะห์และในอนาคต จากการทำนายจากแบบจำลองต่าง ๆ และในส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาแผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดมาเป็นแผนงานบำรุงรักษาต่อไป โดยสามารถแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้งหมดตามลำดับได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 การคำนวณค่าองค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณหาค่าองค์ประกอบสำหรับการคำนวณค่าอายุของสายทางจากค่าดัชนีสภาพผิวทางและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการซ่อมบำรุงโดยวิธีต่าง ๆ ในปีที่พิจารณา

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในปีปัจจุบัน และในปีถัดไป

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุงในปีปัจจุบัน และค่าผลประโยชน์หักด้วยค่าใช้จ่าย

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสม

เนื่องจากการพิจารณาแผนงานบำรุงรักษาในงานวิจัยนี้ อยู่ในลักษณะการพิจารณาข้ามปี คือ นอกจากจะต้องคำนวณเพื่อหาค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแล้ว ยังต้องมีการทำนายค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางในปีถัดไปที่เกิดขึ้นจากผลของการซ่อมบำรุงที่ทำในปีปัจจุบัน เพื่อนำมาคิดเป็นค่าผลประโยชน์ ดังนั้น จึงต้องมีการคำนวณเพื่อทำนายค่าองค์ประกอบ ซึ่งได้แก่ ค่าปริมาณจราจร ค่าดัชนีสภาพผิวทาง และค่าอายุของสายทาง โดยมีสมมติฐานการคำนวณดังนี้ คือ

- ค่าปริมาณการจราจร (PCU) สามารถเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของการจราจร โดยที่ ค่าอัตราส่วนรถหนักและปริมาณของรถแต่ละประเภท ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงปีที่พิจารณา
- ช่วงของสายทางที่พิจารณาจะมีความยาวเท่าเดิมตลอดในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์
- กำหนดให้ค่าปรับลดผลกระทบจากปริมาณการจราจร (λ) มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับตัวอย่างการคำนวณในงานวิจัยนี้
- ในกรณีที่ใช้การบำรุงปกติกับผิวทางในปีปัจจุบัน อายุของสายทางในปีถัดไปจะเท่ากับ ค่าอายุของปีปัจจุบัน + 1 แล้วจึงใช้แบบจำลองคำนวณสภาพผิวทางจากค่าอายุทางที่ได้
- กรณีที่บำรุงรักษาโดยวิธีฉาบผิว ค่าสภาพผิวทางในปีถัดไปจะได้จาก การคำนวณโดยแบบจำลองการทำนายสภาพผิวทางจากการฉาบผิว (สมการที่ 3.2) ซึ่งจะให้ค่า ΔIRI สำหรับนำไปบวกเข้ากับค่า IRI เดิม แล้วจึงหาค่าอายุทางจากค่า IRI ในปีนั้น
- กรณีที่ใช้การบำรุงโดยวิธีการเสริมผิวทางและวิธีบูรณะ ค่าอายุสายทางในปีถัดไปจะให้มีค่าเท่ากับ 1 แล้วจึงหาค่าดัชนีสภาพผิวทางจากแบบจำลองและค่าอายุสายทาง
- ต้องมีการปรับค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางในทุกปีที่พิจารณา ตามสมการที่ 3.13 เมื่อมีการใช้ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปีที่ต่างกัน
- ในกรณีที่มีการคิดแผนงานต่อเนื่องหลายปี ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทุกค่า จะมีการแปลงให้อยู่ในรูปมูลค่าปัจจุบันของปีที่เริ่มคิดแผน เพื่อลดผลกระทบจากค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอัตราเงินเฟ้อและเงื่อนไขของเงินทุนในปีที่ต่างกัน เช่น ถ้าพิจารณาแผนงานในช่วง 3 ปี นับจากปี 2542 – 2545 ค่าใช้จ่ายของงานซ่อมบำรุงในปี 2543 ปี 2544 และ 2545 จะต้องถูกแปลงให้อยู่ในมูลค่าปัจจุบัน ณ ปี 2542 ก่อนที่จะนำไปพิจารณาเปรียบเทียบเรื่องค่าใช้จ่าย

4.1.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษา

ลักษณะของการิเคราะห์โดยแบบจำลองได้แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การพิจารณาแบบปีต่อปี และการพิจารณาแบบต่อเนื่องหลายปี ดังนั้นในหัวข้อนี้จะได้แสดงตัวอย่างกรณีศึกษาสำหรับการคำนวณเป็น 2 ตัวอย่างคือ แบบปีต่อปี จะเป็นตัวอย่างการพิจารณาสำหรับสายทาง 7 ช่วงสายทาง ในระยะเวลา 1 ปี คือปี 2542 – 2543 ส่วนการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องหลายปี จะเป็นตัวอย่างการพิจารณาแผนงานการซ่อมบำรุงสำหรับสายทาง 2 สายทางในช่วงระยะเวลา 3 ปี คือ ปี 2542 - 2545 ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดตัวอย่างกรณีปัญหาและผลจากการวิเคราะห์ที่เป็นแผนงานบำรุงรักษาทั้ง 2 แบบได้ดังต่อไปนี้

ก. กรณีพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี

ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นโจทย์ปัญหาสำหรับการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 นี้ ได้มาจากฐานข้อมูลสภาพผิวทาง และปริมาณการจราจรของกรมทางหลวงในปี 2542 โดยลักษณะของข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปหาค่าใช้จ่ายต่างๆ และค่าทำนายสภาพผิวทาง จากแบบจำลองนั้น ได้แก่ ชนิดของผิวทาง ความกว้างของช่องจราจร ค่าปริมาณการจราจรของแต่ละสายทาง ระยะเวลา (ปี) ที่ทำการวิเคราะห์ ค่าดัชนีสภาพผิวทาง หรือ IRI ค่าสัดส่วนรถบรรทุกหนัก ค่าความลาดชัน รวมถึงประวัติงานซ่อมบำรุงของสายทางนั้น โดยค่า PCU ในตารางที่ 4.1 จะใช้สำหรับการหาค่าสภาพผิวทางจากแบบจำลองทำนายสภาพผิวทาง โดยจะได้จากการคำนวณปรับค่าปริมาณจราจร AADT ของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ดังค่าในตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าปริมาณจราจรเหล่านี้จะถูกนำไปคำนวณหาค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนเพื่อประกอบการพิจารณาต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1: ข้อมูลของสายทางตัวอย่างที่นำมาพิจารณาวางแผนงานแบบปีต่อปี

No.	เลขสายทาง	ช่วงสายทาง	PCU*	ความชัน**	ระยะทาง m.	ค่าIRI
1	1013	100	11,263	M	1,000	2.27
2	1013	200	6,637	L	631	4.15
3	1016	100	11,157	M	840	2.66
4	1017	100	6,702	M	1,039	4.71
5	1021	100	10,066	H	1,005	2.96
6	1022	102	10,564	H	930	7.81
7	1024	100	510	L	1,000	3.88

* PCU = Passenger Car Unit คือ ค่าหน่วยนับของยานหาหนะเมื่อเทียบกับรถนั่ง

** ค่าความชัน L = ความชันต่ำ (gradient 0-3%)

M = ความชันปานกลาง (gradient 3-5%)

H = ความชันสูง (gradient >5%)

ตารางที่ 4.2: ค่าปริมาณการจราจรของแต่ละสายทางต่อวันตามประเภทยานพาหนะ

สายทางที่	CAR	LBUS	HBUS	LTRUCK	MTRUCK	HTRUCK
1	3,215	364	12	3,832	597	268
2	1,157	225	112	2,568	392	141
3	2,037	488	295	3,897	531	445
4	1,769	454	13	2,577	172	8
5	2,877	244	141	2,987	592	438
6	2,332	344	7	4,913	134	32
7	268	9	8	35	74	6

เมื่อ CAR = รถยนต์นั่ง LBUS = รถโดยสารขนาดเล็ก

HBUS = รถโดยสารขนาดใหญ่ LTRUCK = รถบรรทุกขนาดเล็ก

MTRUCK = รถบรรทุกขนาดกลาง HTRUCK = รถบรรทุกขนาดใหญ่

ทั้งนี้ รายละเอียดของการพิจารณาในแต่ละขั้นตอนและวิธีการคำนวณโดยละเอียด ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยสามารถแสดงผลจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาได้ดังต่อไปนี้

เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างจากเงื่อนไขในแบบจำลอง จะได้คำตอบของสมการจากแผนงานลำดับแรกที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด และมีค่าใช้จ่ายไม่เกินงบประมาณที่ 2,900,000 สำหรับสายทางทั้งหมด เป็นแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับปี 2542 ดังตารางที่ 4.3 คือ

ตารางที่ 4.3: แผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,900,000 บาท

สายทางที่	วิธีการซ่อมบำรุง (j)							Benefit - Cost	Maint. Cost
	1	2	3	4	5	6	7		
ลำดับที่ 1	0	2	0	1	0	3	0	6,601,057	2,881,881

นั่นคือการเลือกวิธีซ่อมบำรุงแบบ บำรุงปกติสำหรับสายทางที่ 1, 3, 5 และ 7 งานบำรุงแบบฉาบผิวทางสำหรับช่วงสายทางที่ 4 เลือกงานเสริมผิวทางสำหรับช่วงสายทางที่ 2 และเลือกงานบูรณะผิวทางสำหรับสายทางที่ 6 โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทั้งหมดเท่ากับ 2,881,881 บาท ซึ่งไม่เกินจากงบประมาณ 2,900,000 บาท

และเมื่อพิจารณาจากค่าผลประโยชน์รวมหาแผนงานการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุด จะได้แผนการบำรุงรักษาโดยไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณดังที่แสดงในตารางที่ 4.4 คือ

ตารางที่ 4.4: แผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ

สายทางที่	วิธีการซ่อมบำรุง (j)							Max Benefit - Cost	Maint. Cost
	1	2	3	4	5	6	7		
ลำดับที่ 1	0	2	0	2	0	3	0	7,302,339	3,859,341

นั่นคือการเลือกวิธีซ่อมบำรุงแบบ บำรุงปกติสำหรับสายทางที่ 1, 3, 5 และ 7 เลือกงานเสริมผิวทางสำหรับช่วงสายทางที่ 2 และ 4 และเลือกงานบูรณะผิวทางสำหรับสายทางที่ 6 โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทั้งหมดเท่ากับ 3,859,341 บาท และให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดที่ 7,302,339 บาท เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันในปี พ.ศ. 2542

ข. กรณีพิจารณาแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี

ตัวอย่างการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องหลายปีในงานวิจัยนี้ ได้แสดงตัวอย่างการวางแผนงานสำหรับ 2 ช่วงสายทางในระยะเวลา 3 ปี คือปี 2542 – 2544 ซึ่งการพิจารณาจะต้องคำนวณค่าใช้จ่ายของปี 2542 ถึง 2545 เนื่องจากค่าผลประโยชน์จากการบำรุงรักษาจะได้จากการคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางในปีถัดไป โดยได้เลือก 2 สายทาง จากตัวอย่างช่วงสายทางในการพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปีมาเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ คือ สายทางที่ 4 และสายทางที่ 6 โดยมีข้อมูลลักษณะสายทางเบื้องต้นดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 คือ

ตารางที่ 4.5: ข้อมูลของสายทางตัวอย่างที่นำมาพิจารณาวางแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี

No.	เลขสายทาง	ช่วงสายทาง	PCU*	ความชัน**	ระยะทาง m.	ค่าIRI
4	1017	100	6,702	M	1,039	4.71
6	1022	102	10,564	H	930	7.81

ตารางที่ 4.6: ข้อมูลปริมาณการจราจรตามประเภทรถของ 2 สายทางตัวอย่าง

สายทางที่	CAR	LBUS	HBUS	LTRUCK	MTRUCK	HTRUCK
4	1,769	454	13	2,577	172	8
6	2,332	344	7	4,913	134	32

จากตัวอย่างนี้ สามารถใช้การวิเคราะห์หาแผนงานที่เหมาะสม สำหรับทั้งกรณีจำกัดวงเงินงบประมาณรวมสำหรับการซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลาทั้ง 3 ปี ที่ 2,000,000 บาท และแบบไม่จำกัดงบประมาณ ดังจะได้แสดงคำตอบจากแบบจำลองในลำดับต่อไป โดยในส่วนของรายละเอียดของการพิจารณาในแต่ละขั้นตอนและวิธีการคำนวณโดยละเอียด ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

จากการวิเคราะห์สามารถแสดงคำตอบของสมการที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด และมีค่าใช้จ่ายไม่เกินงบประมาณ 2,000,000 บาท เป็นแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับปี 2542 - 2544 ได้ดังตารางที่ 4.7 คือ

ตารางที่ 4.7: แผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,000,000 บาท

ช่วงสายทางที่ 4			ช่วงสายทางที่ 6			Benefit - Cost	Maint. Cost
2542	2543	2544	2542	2543	2544		
0	1	1	0	0	3	6,573,669	1,986,200

คือการเลือกวิธีซ่อมบำรุงสำหรับช่วงสายทางที่ 4 แบบงานเสริมผิวทาง ในปีแรก และใช้การบำรุงปกติในอีก 2 ปีถัดไป และเลือกทำงานบำรุงปกติสำหรับช่วงสายทางที่ 6 ในปี 2542 และ 2543 แล้วจึงทำการบูรณะผิวทางในปี 2544 โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทั้งหมดในช่วง 3 ปีเท่ากับ 1,986,200 บาท ซึ่งไม่เกินจากงบประมาณ 2,000,000 บาท

และจะได้คำตอบของสมการจากการวิเคราะห์แผนงานที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด แบบไม่จำกัดงบประมาณ เป็นแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับปี 2542 - 2544 ดังตารางที่ 4.8 คือ

ตารางที่ 4.8: แผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ

ช่วงสายทางที่ 4			ช่วงสายทางที่ 6			Benefit - Cost	Maint. Cost
2542	2543	2544	2542	2543	2544		
0	1	2	0	0	3	7,694,633	2,796,817

คือการเลือกวิธีซ่อมบำรุงสำหรับช่วงสายทางที่ 4 แบบงานบำรุงปกติ ในปีแรก และใช้การฉาบผิวทางและเสริมผิวทางในอีก 2 ปีถัดไปตามลำดับ และเลือกทำงานบำรุงปกติสำหรับช่วงสายทางที่ 6 ในปี 2542 และ 2543 แล้วจึงทำการบูรณะผิวทางในปี 2544 โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทั้งหมดในช่วง 3 ปีเท่ากับ 2,796,817 บาท ซึ่งให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดในช่วง 3 ปีที่มูลค่าปัจจุบัน ณ ปี 2542 เท่ากับ 7,694,633 บาท

4.2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้ได้เน้นในการเสนอการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อการวางแผนงานบำรุงรักษา ซึ่งการตัดสินว่าแผนงานใดเป็นแผนที่ประกอบด้วยวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมกว่าอีกแผนหนึ่งนั้น จะต้องอาศัยค่าปัจจัยที่ใช้ในการชี้วัด คือ ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง และค่าผลประโยชน์รวม ซึ่งได้จากการ

คำนวณหาค่าผลประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน หักลบด้วยค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงในแต่ละประเภท ว่าถ้าแผนงานใดให้ค่าผลประโยชน์รวมที่เป็นมูลค่าปัจจุบันของทั้งแผนงานสูงสุด ก็จะนับว่าเป็นแผนงานที่ดีกว่า คือ สามารถก่อให้เกิดประโยชน์มากกว่าจากค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าเมื่อทำตามแผนงานซ่อมบำรุงนั้นนั่นเอง แต่อย่างไรก็ดี เมื่อมีการพิจารณาข้อจำกัดในด้านงบประมาณ ซึ่งมักน้อยกว่าความต้องการค่าใช้จ่ายสำหรับการทำให้สายทางอยู่ในสภาพที่ดีที่สุดร่วมด้วยแล้ว แผนงานที่เหมาะสมที่ถูกเลือกนั้น นอกจากจะให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุดแล้วยังต้องไม่ใช้ค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุงเกินกว่างบประมาณอีกด้วย จากความสำคัญของค่าปัจจัยทั้งสองในการวัดถึงความเหมาะสมของแผนงาน ลักษณะของผลการวิจัยจึงเน้นถึงผลของการคำนวณค่าทั้งสอง จากการคำนวณตัวอย่างในกรณีต่าง ๆ ดังที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้

เกณฑ์ของลักษณะสายทางในการแสดงผลการวิเคราะห์ ได้มีการแบ่งตามปัจจัยที่ส่งผลทำให้สภาพการใช้งานของผิวทางแตกต่างกัน ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ปริมาณการจราจร ค่าดัชนีสภาพผิวทาง และประเภทของวิธีการซ่อมบำรุง โดยได้กำหนดสัดส่วนของประเภทรถทั้ง 6 ประเภท ในการวิเคราะห์ จากข้อมูลปริมาณการจราจรของกรมทางหลวงเฉลี่ยทั่วประเทศ (ไม่รวมกรุงเทพมหานคร) ระหว่างปี พ.ศ.2538 – 2542 ได้ดังนี้

รถยนต์นั่ง	34%
รถโดยสารขนาดเล็ก	36%
รถโดยสารขนาดใหญ่	10%
รถบรรทุกขนาดเล็ก	8%
รถบรรทุกขนาดกลาง	8%
รถบรรทุกขนาดใหญ่	4%

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและค่าผลประโยชน์ในการซ่อมบำรุง ได้แบ่งการพิจารณาตามลักษณะภูมิประเทศออกเป็น 3 กลุ่ม ปริมาณการจราจร 8 กลุ่ม ตามค่าดัชนีสภาพผิวทาง 6 กลุ่มและวิธีการซ่อมบำรุง 4 ประเภท ตามรูปแบบของการพิจารณาวิธีการซ่อมบำรุงของ TPMS ในตารางที่ 3.5 โดยใช้วิธีและลำดับขั้นตอนการคำนวณตามหัวข้อ 4.1 ซึ่งจะได้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงทั้ง 4 แบบในปี พ.ศ. 2542 จากการพิจารณาแบบปีต่อปี ที่ค่าอัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของการจราจร ดังค่าที่แสดงในตาราง 4.9, 4.10 และ 4.11 สำหรับสายทางที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นราบ (Gradient 0-3%) เป็นที่ราบสลับเนินเขา (Gradient 3-5%) และเป็นเนินเขาสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง (Gradient >5%) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9: ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงทั้ง 4 แบบ สำหรับสายทางที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นราบ (0 - 3 % gradient)

AADT	IRI	Maintenance Cost				Benefit - Cost			
		Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	16,324	215,747	1,156,517	1,970,453	-3,346	-199,362	-1,130,502	-1,944,438
	3.0	18,062	215,747	1,156,517	1,970,453	-5,499	-199,155	-1,120,904	-1,934,840
	4.0	20,024	215,747	1,156,517	1,970,453	-8,487	-198,780	-1,099,670	-1,913,606
	5.0	21,201	215,747	1,156,517	1,970,453	-10,948	-198,457	-1,075,722	-1,889,658
	6.0	22,025	-	-	1,970,453	-13,314	-	-	-1,862,996
	8.0	23,150	-	-	1,970,453	-18,298	-	-	-1,801,528
500	2.5	18,696	215,747	1,156,517	1,970,453	13,749	-174,828	-1,091,673	-1,905,609
	3.0	20,699	215,747	1,156,517	1,970,453	10,706	-174,314	-1,067,677	-1,881,613
	4.0	22,957	215,747	1,156,517	1,970,453	5,885	-173,384	-1,014,593	-1,828,529
	5.0	24,311	215,747	1,156,517	1,970,453	1,322	-172,585	-954,723	-1,768,659
	6.0	25,258	-	-	1,970,453	-3,480	-	-	-1,702,003
	8.0	26,550	-	-	1,970,453	-14,421	-	-	-1,548,332
1,000	2.5	20,684	215,747	1,156,517	1,970,453	44,207	-134,058	-1,027,476	-1,841,412
	3.0	22,924	215,747	1,156,517	1,970,453	39,888	-133,041	-979,482	-1,793,418
	4.0	25,442	215,747	1,156,517	1,970,453	32,243	-131,203	-873,315	-1,687,251
	5.0	26,949	215,747	1,156,517	1,970,453	24,317	-129,627	-753,576	-1,567,512
	6.0	28,002	-	-	1,970,453	15,553	-	-	-1,434,199
	8.0	29,440	-	-	1,970,453	-5,181	-	-	-1,126,857
2,000	2.5	22,812	215,747	1,156,517	1,970,453	106,969	-52,961	-901,039	-1,714,975
	3.0	25,337	215,747	1,156,517	1,970,453	100,285	-50,973	-805,052	-1,618,988
	4.0	28,160	215,747	1,156,517	1,970,453	87,209	-47,388	-592,719	-1,406,655
	5.0	29,844	215,747	1,156,517	1,970,453	72,687	-44,327	-353,239	-1,167,175
	6.0	31,020	-	-	1,970,453	56,090	-	-	-900,551
	8.0	32,623	-	-	1,970,453	15,894	-	-	-285,864
4,000	2.5	24,997	215,747	1,156,517	1,970,453	234,565	107,450	-656,154	-1,470,090
	3.0	27,892	215,747	1,156,517	1,970,453	223,354	111,245	-464,180	-1,278,116
	4.0	31,089	215,747	1,156,517	1,970,453	199,648	118,052	-39,514	-853,450
	5.0	32,985	215,747	1,156,517	1,970,453	172,077	123,813	439,445	-374,491
	6.0	34,305	-	-	1,970,453	139,915	-	-	158,759
	8.0	36,101	-	-	1,970,453	60,933	-	-	1,388,132
6,000	2.5	26,215	215,747	1,156,517	1,970,453	363,128	265,484	-422,218	-1,236,154
	3.0	29,399	215,747	1,156,517	1,970,453	347,469	270,905	-134,257	-948,193
	4.0	32,870	215,747	1,156,517	1,970,453	313,236	280,571	502,744	-311,192
	5.0	34,915	215,747	1,156,517	1,970,453	272,679	288,668	1,221,181	407,245
	6.0	36,335	-	-	1,970,453	224,995	-	-	1,207,120
	8.0	38,262	-	-	1,970,453	107,290	-	-	3,051,181
10,000	2.5	27,496	215,747	1,156,517	1,970,453	621,409	574,403	11,334	-802,602
	3.0	31,196	215,747	1,156,517	1,970,453	596,918	582,533	491,269	-322,667
	4.0	35,114	215,747	1,156,517	1,970,453	541,729	596,830	1,552,936	739,000
	5.0	37,390	215,747	1,156,517	1,970,453	475,266	608,511	2,750,332	1,936,396
	6.0	38,961	-	-	1,970,453	396,589	-	-	3,269,520
	8.0	41,084	-	-	1,970,453	201,503	-	-	6,342,956
15,000	2.5	28,017	215,747	1,156,517	1,970,453	945,340	947,115	484,896	-329,040
	3.0	32,379	215,747	1,156,517	1,970,453	909,791	957,609	1,204,798	390,862
	4.0	36,799	215,747	1,156,517	1,970,453	828,466	975,655	2,797,299	1,983,363
	5.0	39,316	215,747	1,156,517	1,970,453	729,667	989,779	4,593,393	3,779,457
	6.0	41,039	-	-	1,970,453	612,286	-	-	5,779,144
	8.0	43,354	-	-	1,970,453	320,525	-	-	10,389,297

หมายเหตุ: ช่องที่พิมพ์สีเข้มหมายถึงค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในแต่ละสภาพสายทาง

ตารางที่ 4.10: ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงทั้ง 4 แบบ สำหรับสายทางที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา (3 - 5 % gradient)

		Maintenance Cost				Benefit - Cost			
AADT	IRI	Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	14,820	215,747	1,156,517	1,970,453	-2,728	-199,361	-1,133,155	-1,947,091
	3.0	16,703	215,747	1,156,517	1,970,453	-5,286	-199,234	-1,123,557	-1,937,493
	4.0	18,730	215,747	1,156,517	1,970,453	-8,941	-199,055	-1,102,323	-1,916,259
	5.0	19,917	215,747	1,156,517	1,970,453	-12,123	-198,974	-1,078,376	-1,892,312
	6.0	20,739	-	-	1,970,453	-15,309	-	-	-1,865,649
	8.0	21,852	-	-	1,970,453	-22,254	-	-	-1,804,181
500	2.5	16,985	215,747	1,156,517	1,970,453	13,245	-174,866	-1,098,217	-1,912,153
	3.0	19,152	215,747	1,156,517	1,970,453	9,389	-174,557	-1,074,221	-1,888,157
	4.0	21,481	215,747	1,156,517	1,970,453	2,992	-174,122	-1,021,137	-1,835,073
	5.0	22,844	215,747	1,156,517	1,970,453	-3,360	-173,934	-961,268	-1,775,204
	6.0	23,788	-	-	1,970,453	-10,213	-	-	-1,708,547
	8.0	25,067	-	-	1,970,453	-26,072	-	-	-1,554,876
1,000	2.5	18,813	215,747	1,156,517	1,970,453	41,646	-134,271	-1,040,266	-1,854,202
	3.0	21,228	215,747	1,156,517	1,970,453	35,854	-133,675	-992,273	-1,806,209
	4.0	23,820	215,747	1,156,517	1,970,453	25,127	-132,849	-886,106	-1,700,042
	5.0	25,335	215,747	1,156,517	1,970,453	13,634	-132,516	-766,366	-1,580,302
	6.0	26,384	-	-	1,970,453	767	-	-	-1,446,990
	8.0	27,804	-	-	1,970,453	-29,814	-	-	-1,139,647
2,000	2.5	20,800	215,747	1,156,517	1,970,453	100,119	-53,939	-925,415	-1,739,351
	3.0	23,504	215,747	1,156,517	1,970,453	90,660	-52,834	-829,428	-1,643,364
	4.0	26,395	215,747	1,156,517	1,970,453	71,497	-51,359	-617,094	-1,431,030
	5.0	28,083	215,747	1,156,517	1,970,453	49,855	-50,868	-377,615	-1,191,551
	6.0	29,250	-	-	1,970,453	25,051	-	-	-924,926
	8.0	30,830	-	-	1,970,453	-34,849	-	-	-310,240
4,000	2.5	22,912	215,747	1,156,517	1,970,453	218,926	103,288	-699,954	-1,513,890
	3.0	25,968	215,747	1,156,517	1,970,453	202,361	105,147	-507,980	-1,321,916
	4.0	29,211	215,747	1,156,517	1,970,453	166,573	107,392	-83,313	-897,249
	5.0	31,098	215,747	1,156,517	1,970,453	124,779	107,669	395,645	-418,291
	6.0	32,401	-	-	1,970,453	76,202	-	-	114,959
	8.0	34,162	-	-	1,970,453	-42,201	-	-	1,344,332
6,000	2.5	24,167	215,747	1,156,517	1,970,453	338,590	255,922	-480,228	-1,294,164
	3.0	27,476	215,747	1,156,517	1,970,453	315,017	258,183	-192,267	-1,006,203
	4.0	30,962	215,747	1,156,517	1,970,453	262,716	260,492	444,733	-369,203
	5.0	32,982	215,747	1,156,517	1,970,453	200,833	259,852	1,163,170	349,234
	6.0	34,375	-	-	1,970,453	128,530	-	-	1,149,109
	8.0	36,256	-	-	1,970,453	-48,314	-	-	2,993,170
10,000	2.5	25,682	215,747	1,156,517	1,970,453	578,913	547,356	-58,356	-872,292
	3.0	29,398	215,747	1,156,517	1,970,453	541,422	549,363	421,579	-392,357
	4.0	33,249	215,747	1,156,517	1,970,453	456,214	549,690	1,483,246	669,310
	5.0	35,463	215,747	1,156,517	1,970,453	354,228	545,102	2,680,642	1,866,706
	6.0	36,986	-	-	1,970,453	234,522	-	-	3,199,831
	8.0	39,037	-	-	1,970,453	-59,133	-	-	6,273,266
15,000	2.5	26,716	215,747	1,156,517	1,970,453	880,176	885,574	435,027	-378,909
	3.0	30,876	215,747	1,156,517	1,970,453	825,354	885,283	1,154,930	340,994
	4.0	35,091	215,747	1,156,517	1,970,453	699,102	879,170	2,747,431	1,933,495
	5.0	37,492	215,747	1,156,517	1,970,453	547,045	865,684	4,543,524	3,729,588
	6.0	39,135	-	-	1,970,453	368,127	-	-	5,729,276
	8.0	41,343	-	-	1,970,453	-71,487	-	-	10,339,429

หมายเหตุ: ช่องที่พิมพ์สีเข้มหมายถึงค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในแต่ละสภาพสายทาง

ตารางที่ 4.11: ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงทั้ง 4 แบบ สำหรับสายทางที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินเขาสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง (>5 % gradient)

AADT	IRI	Maintenance Cost				Benefit - Cost			
		Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	14,334	215,747	1,156,517	1,970,453	-3,204	-199,657	-1,133,479	-1,947,415
	3.0	16,102	215,747	1,156,517	1,970,453	-5,932	-199,656	-1,123,880	-1,937,816
	4.0	18,022	215,747	1,156,517	1,970,453	-10,135	-199,772	-1,102,647	-1,916,583
	5.0	19,151	215,747	1,156,517	1,970,453	-14,037	-200,045	-1,078,699	-1,892,635
	6.0	19,934	-	-	1,970,453	-18,082	-	-	-1,865,972
	8.0	20,996	-	-	1,970,453	-27,134	-	-	-1,804,504
500	2.5	16,389	215,747	1,156,517	1,970,453	11,434	-175,690	-1,099,281	-1,913,217
	3.0	18,436	215,747	1,156,517	1,970,453	6,991	-175,701	-1,075,285	-1,889,221
	4.0	20,651	215,747	1,156,517	1,970,453	-934	-176,016	-1,022,201	-1,836,137
	5.0	21,950	215,747	1,156,517	1,970,453	-9,166	-176,724	-962,331	-1,776,267
	6.0	22,851	-	-	1,970,453	-18,221	-	-	-1,709,611
	8.0	24,073	-	-	1,970,453	-39,420	-	-	-1,555,940
1,000	2.5	18,078	215,747	1,156,517	1,970,453	37,569	-136,195	-1,043,255	-1,857,191
	3.0	20,384	215,747	1,156,517	1,970,453	30,470	-136,259	-995,261	-1,809,197
	4.0	22,864	215,747	1,156,517	1,970,453	16,570	-136,976	-889,095	-1,703,031
	5.0	24,315	215,747	1,156,517	1,970,453	1,255	-138,480	-769,355	-1,583,291
	6.0	25,320	-	-	1,970,453	-16,060	-	-	-1,449,979
	8.0	26,680	-	-	1,970,453	-57,374	-	-	-1,142,636
2,000	2.5	19,814	215,747	1,156,517	1,970,453	91,478	-58,889	-934,897	-1,748,833
	3.0	22,454	215,747	1,156,517	1,970,453	79,253	-59,191	-838,910	-1,652,846
	4.0	25,257	215,747	1,156,517	1,970,453	53,611	-60,975	-626,577	-1,440,513
	5.0	26,888	215,747	1,156,517	1,970,453	24,251	-64,330	-387,098	-1,201,034
	6.0	28,014	-	-	1,970,453	-9,494	-	-	-934,409
	8.0	29,537	-	-	1,970,453	-90,924	-	-	-319,723
4,000	2.5	21,408	215,747	1,156,517	1,970,453	201,177	88,959	-733,450	-1,547,386
	3.0	24,538	215,747	1,156,517	1,970,453	178,876	87,658	-541,476	-1,355,412
	4.0	27,771	215,747	1,156,517	1,970,453	129,965	82,698	-116,809	-930,745
	5.0	29,628	215,747	1,156,517	1,970,453	72,650	74,595	362,150	-451,786
	6.0	30,904	-	-	1,970,453	6,136	-	-	81,463
	8.0	32,622	-	-	1,970,453	-155,398	-	-	1,310,837
6,000	2.5	22,078	215,747	1,156,517	1,970,453	311,800	227,746	-553,320	-1,367,256
	3.0	25,656	215,747	1,156,517	1,970,453	279,465	224,749	-265,359	-1,079,295
	4.0	29,235	215,747	1,156,517	1,970,453	207,369	215,219	371,642	-442,294
	5.0	31,262	215,747	1,156,517	1,970,453	122,155	200,975	1,090,079	276,143
	6.0	32,647	-	-	1,970,453	22,913	-	-	1,076,018
	8.0	34,505	-	-	1,970,453	-218,668	-	-	2,920,079
10,000	2.5	22,118	215,747	1,156,517	1,970,453	534,345	477,933	-261,927	-1,075,863
	3.0	26,709	215,747	1,156,517	1,970,453	481,825	469,456	218,008	-595,928
	4.0	30,934	215,747	1,156,517	1,970,453	363,406	446,608	1,279,675	465,739
	5.0	33,251	215,747	1,156,517	1,970,453	222,444	415,902	2,477,071	1,663,135
	6.0	34,814	-	-	1,970,453	57,786	-	-	2,996,260
	8.0	36,894	-	-	1,970,453	-343,832	-	-	6,069,695
15,000	2.5	20,253	215,747	1,156,517	1,970,453	814,442	738,795	-40,691	-854,627
	3.0	26,858	215,747	1,156,517	1,970,453	735,944	719,550	679,211	-134,725
	4.0	31,971	215,747	1,156,517	1,970,453	559,539	672,218	2,271,712	1,457,776
	5.0	34,632	215,747	1,156,517	1,970,453	348,911	613,100	4,067,806	3,253,870
	6.0	36,395	-	-	1,970,453	102,506	-	-	5,253,557
	8.0	38,712	-	-	1,970,453	-499,119	-	-	9,863,710

หมายเหตุ: ช่องที่พิมพ์สีเข้มหมายถึงค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในแต่ละสภาพสายทาง

ค่าผลประโยชน์รวมที่เป็นผลลัพธ์ในตารางนั้น ค่าตัวเลขที่มีเครื่องหมายเป็นบวกหมายถึง ค่าผลประโยชน์ที่ได้จากการบำรุงทาง ในขณะที่ค่าลบหมายถึงมีการสูญเสียประโยชน์ในการซ่อมบำรุงโดยวิธีนั้น เมื่อวัดจากค่าใช้จ่ายทั้งหมดในช่วงระยะเวลา 1 ปี หลังจากการซ่อมบำรุง ส่วนค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงจะมีเครื่องหมายบวกเครื่องหมายเดียวซึ่งแสดงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนของงานบำรุงรักษาสายทางนั้น ๆ

ผลการวิเคราะห์จากสายทางในลักษณะภูมิประเทศทั้ง 3 กลุ่ม ให้ค่าสอดคล้องกัน ทั้งในแง่ของค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง และค่าผลประโยชน์รวม คือ ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงแบบบำรุงปกติที่ค่าดัชนีสภาพผิวทางต่ำ ๆ จะมีค่าต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่ค่าดัชนีสภาพผิวทางมีค่ามากกว่า ส่วนค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงประเภทอื่น ๆ จะมีค่าเท่ากันในทุกสภาพภูมิประเทศ สภาพผิวทางและการจราจร เนื่องจากมีฐานการคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับระยะเวลาที่ซ่อมบำรุง ส่วนวิธีการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่ายของสายทางแต่ละลักษณะนั้น สามารถสรุปผลจากตารางได้ดังนี้

- การซ่อมบำรุงทางโดยวิธีบำรุงปกติ (Routine Maintenance) เป็นวิธีที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุดเมื่อสายทางมีปริมาณการจราจรต่ำ คือช่วงของค่า AADT ประมาณ 0 – 2,000 คันต่อวันต่อสองช่องจราจรในทุกระดับสภาพผิวทาง และที่ค่าดัชนีสภาพผิวทางในช่วง 2.0 – 3.0 เมตรต่อกิโลเมตร สำหรับสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูง คือ 2,000 – 10,000 คันต่อวันต่อสองช่องจราจร
- การซ่อมบำรุงแบบฉาบผิวทาง (Seal Coating) จะให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดเฉพาะในกรณีที่ สายทางเป็นสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูง และมีสภาพผิวทางที่ดี เช่น ในตารางที่ 5.2 สำหรับสายทางความชันปานกลาง ที่มีค่า IRI = 3.0, AADT = 10,000 และ 15,000 คันต่อวัน
- การซ่อมบำรุงแบบเสริมผิวทาง (Asphalt Overlay) เป็นวิธีที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อสภาพความเสียหายของสายทางอยู่ในระดับปานกลาง คือค่า IRI ประมาณ 3.0 – 5.0 และมีปริมาณการจราจรของสายทางสูงกว่า 4,000 คันต่อวัน
- งานบูรณะชั้นทาง (Rehabilitation) เป็นวิธีการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุด เมื่อสายทางเป็นสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูงกว่า 4,000 คันต่อวันต่อสองช่องจราจรขึ้นไป และมีระดับความเสียหายสูง คือ ค่า IRI สูงกว่า 6.0 ขึ้นไป

จากวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ดังกล่าวจะพบว่า ในบางกรณีของการซ่อมบำรุง ถึงแม้จะใช้วิธีการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมที่ดีที่สุดสำหรับสภาวะของสายทางในขณะนั้นแล้วก็ตาม ค่าผลประโยชน์รวมที่ได้ก็อาจให้ค่าลบ คือในสภาพผิวทางขณะนั้น ไม่ว่าจะใช้การซ่อมบำรุงวิธีใดก็ก่อให้เกิดความสูญเสียผลประโยชน์ขึ้น กรณีเหล่านี้จะเกิดขึ้นกับสายทางที่มีปริมาณการจราจรที่ต่ำ คือน้อยกว่า 1,000 คันต่อวัน ซึ่งทำให้ค่าผลประโยชน์ที่ได้จากการซ่อมบำรุงต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ซ่อมบำรุง และจะเกิดขึ้นกับกรณีที่สายทางมีปริมาณจราจรต่ำถึงปานกลาง ประมาณ 500 – 1,500 คันต่อวัน ที่มีความเสียหายสูงมาก (IRI > 6) ทำให้ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ไม่สามารถชดเชยค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางได้ ซึ่งสภาวะของสายทางเหล่านั้นเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงและป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น

นอกจากการพิจารณาเฉพาะวิธีการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเพียงอย่างเดียวแล้ว การพิจารณาในแง่ของข้อจำกัดด้านงบประมาณก็มีความสำคัญ และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงอย่างมากได้ ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบผลเฉลยจากตัวอย่างการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมแบบปีต่อปีในหัวข้อ 4.2 แบบพิจารณาข้อจำกัดของงบประมาณที่ 2,900,000 บาท กับวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมแบบไม่พิจารณาข้อจำกัดของงบประมาณ จะพบว่าวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมเมื่อจำกัดงบประมาณนั้น ไม่อยู่ในลำดับแรก ๆ ของแผนงานเมื่อเรียงตามค่าผลประโยชน์รวมแบบไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ ซึ่งแผนงานที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดนั้นจะต้องมีค่าใช้จ่ายอย่างน้อย 3,859,341 บาท และจากการคำนวณค่าผลประโยชน์รวมและค่าใช้จ่าย กรณีที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดตามงบประมาณ 2,900,000 บาท จะอยู่เป็นลำดับที่ 91 เมื่อเรียงตามลำดับของค่าผลประโยชน์รวมทุกกรณี ดังนั้นค่างบประมาณจึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมสำหรับแผนงานเปลี่ยนแปลง บางแผนงานที่ให้ค่าผลประโยชน์มากกว่าหรือใกล้เคียงกัน อาจต้องใช้งบประมาณในการซ่อมบำรุงมากกว่าได้ ซึ่งกรณีของการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมรองลงมาแต่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าก็จะกลายเป็นวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมกว่าในแผนงานนั้น

4.3 ปัญหาและข้อจำกัดของข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัยและวิเคราะห์แบบจำลองในงานวิจัยนี้ ได้พบข้อจำกัดและปัญหาดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลดิบที่ได้จากแหล่งข้อมูล ยังมีการเก็บรวมรวมในรูปแบบที่ไม่เป็นระเบียบและเหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์ ทำให้ต้องคัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่สมบูรณ์และถูกต้องเพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ ทำให้เสียเวลาอย่างมากในการจัดเตรียมข้อมูลดังกล่าว

2. เนื่องจากข้อจำกัดของความสามารถของคอมพิวเตอร์และโปรแกรมในการคำนวณ จึงไม่สามารถแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ที่ทำให้เห็นภาพอย่างชัดเจน เช่น แผนงานบำรุงรักษาทางสำหรับทั้งประเทศ หรือสำหรับพื้นที่เขตทางหนึ่ง ๆ ได้ ทำให้ผลจากตัวอย่างในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับ ผลจากงานซ่อมบำรุงที่เกิดขึ้นจริงได้เนื่องจากเป็นการพิจารณางบประมาณในระบบสายทางขนาดใหญ่

3. ค่าดัชนีสภาพความเสียหาย, IRI เป็นดัชนีที่มีข้อด้อยในการสะท้อนค่าความเสียหายทางด้านโครงสร้าง และความเสียหายของผิวทางบางประเภท เช่น Narrow cracking ดังนั้น การใช้ค่าดัชนี IRI เพียงอย่างเดียวในการบ่งบอกสภาพผิวทางจึงอาจไม่เพียงพอในการพิจารณาเลือกวิธีการซ่อมบำรุงทาง

4. ในปัจจุบัน กรมทางหลวงใช้การจัดสรรงบประมาณแบบปีต่อปี ตามความจำเป็นและความเสียหายของแต่ละพื้นที่ในแต่ละปี โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจจากประสบการณ์ของผู้ดูแลงบประมาณ จึงยากที่จะกำหนดให้แน่ชัดว่างบประมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสมต่อการนำมาเป็นตัวอย่างในการวางแผนงานซ่อมบำรุงสายทางที่ได้นำเสนอไปข้างต้น

5. เนื่องจากแบบจำลองที่ทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เป็นแบบจำลองที่ต้องอาศัยค่าองค์ประกอบในการวิเคราะห์จากแบบจำลองอื่น ๆ จึงมีข้อจำกัดจากแบบจำลองอื่น ๆ ที่เป็นแบบจำลองที่นำมาใช้หาค่าเบื้องต้นประกอบการคำนวณ มาเป็นข้อจำกัดในการใช้แบบจำลองของงานวิจัยนี้ด้วย เช่น แบบจำลองเพื่อการทำนายค่าสภาพผิวทาง และการทำนายค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางและค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง นั้นเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลย้อนหลังประมาณ 5 - 7 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองของต่างประเทศที่ใช้ข้อมูลย้อนหลังมากกว่า 25 ปี ดังนั้น การวิเคราะห์แผนงานล่วงหน้าในปีอนาคตหลายปีจึงอาจให้ค่าจากการคำนวณคลาดเคลื่อนได้มาก ต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองดังกล่าวในทุกระยะเพื่อให้เกิดความถูกต้องของข้อมูลประกอบสำหรับแบบจำลองในการวางแผนงานมากขึ้น

6. แบบจำลองที่ได้วิเคราะห์ขึ้นนี้ สามารถใช้ได้กับกรณีของการซ่อมบำรุงตามปกติของการใช้งานทางเท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงความเสียหายของทางที่เกิดจากภัยธรรมชาติต่าง ๆ ตลอดจนความเสียหายในกรณีฉุกเฉิน เช่น ความเสียหายของสายทางจากอุทกภัย เป็นต้น

7. สมมติฐานในการทำนายสภาพของผิวทางหลังจากการซ่อมบำรุงแบบต่าง ๆ ยังไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากยังขาดการวิเคราะห์ถึงสภาพผิวทางจากการซ่อมบำรุงโดยการบูรณะผิวทาง และมีสมมติฐานของแบบจำลองการทำนายสภาพผิวทางที่ให้สภาพกลับไปเหมือนผิวทางใหม่หลังจากการเสริมผิวทาง ทำให้ต้องสมมติให้สภาพผิวทางหลังการบูรณะผิวทางอยู่ที่สภาพเหมือนกับการเสริมผิวทางเช่นกัน

8. ค่าดัชนีสภาพผิวทางที่ได้จากฐานข้อมูลนั้น อาจไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริง ณ เวลาที่ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลสภาพผิวทางทีละเส้นทาง เมื่อเวลาผ่านไปสภาพผิวทางอาจเกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นได้อีก

9. ไม่ควรให้ระยะเวลาในการวิเคราะห์นานเกินกว่า 5 ปี เนื่องจากแบบจำลองสภาพผิวทางและค่าใช้จ่ายที่เป็นสมการพื้นฐานในการหาค่าประกอบการวิเคราะห์นั้น มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังในช่วงระยะเวลา 5-7 ปี ซึ่งตามเกณฑ์การใช้แบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยนั้น ไม่ควรใช้ค่าของการทำนายไปนานเกินกว่าระยะของฐานข้อมูลเดิมที่นำมาสร้างแบบจำลอง ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาแบบจำลององค์ประกอบอย่างต่อเนื่องเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์ จากความผิดพลาดของค่าองค์ประกอบที่ได้

10. การพิจารณาในแง่ของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ของการซ่อมบำรุงทางในงานวิจัยนี้ ยังไม่ครอบคลุมถึงค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางที่เสียไปในเวลาระหว่างการซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายในแง่ของความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม ซึ่งยากต่อการวัดออกมาเป็นค่าเงินได้

11. เนื่องจากจำนวนของกรณีในการวิเคราะห์จะทวีคูณขึ้นอย่างมากเมื่อจำนวนของสายทางหรือจำนวนปีในการพิจารณามากขึ้น ทำให้ไม่สามารถแสดงรายละเอียดของการคำนวณที่มากนี้ ได้ทั้งหมด อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการเลือกใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ ซึ่งไม่สามารถรองรับการคำนวณที่มีจำนวนตัวแปรในสมการสูงมากเกินข้อจำกัดของโปรแกรมได้

4.4 สรุป

เนื้อหาที่ได้กล่าวไว้ในบทนี้ เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการหาแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสม จากแบบจำลองที่ได้วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 รวมถึงตัวอย่างการวิเคราะห์ ทั้งในแบบการพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี และแบบพิจารณาแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี และผลการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการซ่อมบำรุงที่สภาพทางต่าง ๆ ตลอดจนปัญหาและข้อจำกัดของข้อมูลที่เกิดขึ้น โดยได้อธิบายถึงวิธีการวิเคราะห์และรูปแบบคำตอบ ขั้นตอนและตัวอย่างการวิเคราะห์จากแบบจำลองในหัวข้อที่ 4.1 และผลจากการใช้แบบจำลองวิเคราะห์สายทางที่สภาพต่าง ๆ กันในหัวข้อที่ 4.2 ส่วนปัญหาและข้อจำกัดในการใช้แบบจำลองที่ได้นี้วิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาทาง ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3 เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นข้อปรับปรุงเพื่อพัฒนาแบบจำลองและองค์ประกอบในการวางแผนงานบำรุงรักษาทางได้ต่อไป ซึ่งในบทต่อไปจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง โดยทดสอบกับค่าอัตราผลตอบแทนที่ 3 – 20 เปอร์เซ็นต์ และค่าอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (PCU) ว่ามีผลต่อคำตอบที่เป็นแผนงานการซ่อมบำรุงทางอย่างไรบ้าง ตลอดจนการตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณโดยแบบจำลอง และผลจากการคำนวณโดยแบบจำลองเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถนำเอาแบบจำลองที่ได้วิเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนงานจริงได้ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การทดสอบแบบจำลอง

แบบจำลองที่ได้วิเคราะห์ขึ้นทุก ๆ แบบจำลองนั้น ถึงแม้ว่าจะสามารถทำการคำนวณแก้ปัญหาเพื่อหาผลลัพธ์จากสมการได้แล้วก็ตาม การทดสอบแบบจำลองว่าให้ผลการใช้งานเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความถูกต้องและขอบเขตในการใช้งานเป็นอย่างไร ก็เป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึง เนื้อหาในบทนี้ เป็นการทดสอบแบบจำลองทั้งในแง่ของ ความอ่อนไหวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าสมมติฐาน ความถูกต้องของแบบจำลองและผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ตลอดจนทดสอบความน่าเชื่อถือจากความคงที่ของผลการวิเคราะห์ เพื่อทราบถึงความเหมาะสมในการนำแบบจำลองไปใช้งานหรือนำไปประยุกต์ปรับปรุงข้อจำกัดเพื่อการใช้กับงานจริงได้ต่อไป

5.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

แผนงานบำรุงรักษาทางที่ได้วิเคราะห์จากแบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมในงานงานวิจัยฉบับนี้ มีพื้นฐานการพิจารณาจากข้อมูลค่าใช้จ่ายประเภทต่าง ๆ จากการใช้งานและการซ่อมบำรุงถนน ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยทางเศรษฐกิจ ซึ่งได้แก่ อัตราผลตอบแทนที่ใช้พิจารณาความเหมาะสมด้านการเศรษฐศาสตร์ของโครงการ และปัจจัยทางด้านกายภาพ ได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร สภาพภูมิประเทศ สัดส่วนของรถหนัก ซึ่งข้อมูลปริมาณจราจร สภาพภูมิประเทศและสัดส่วนของรถหนักนั้น เป็นค่าองค์ประกอบเฉพาะในแต่ละสายทางที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่ได้จากแบบจำลองโดยตรง และได้พิจารณาผลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 5.1 โดยกำหนดค่าอัตราส่วนเหล่านี้ไว้คงที่จากค่าเฉลี่ยปริมาณการจราจรในประเทศไทย ดังนั้นจึงจะไม่นำมารวมในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้ แต่จะพิจารณาความอ่อนไหวเฉพาะค่าที่ถือเป็นสมมติฐานในการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์เท่านั้น ซึ่งได้แก่ ค่าอัตราผลตอบแทน (MARR) และค่าอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจร

เกณฑ์การคำนวณหาผลลัพธ์ที่เป็นวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมจากแบบจำลอง ในตารางที่ 4.9 ถึงตารางที่ 4.11 นั้น เป็นการวิเคราะห์หาแผนงานโดยไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจร (0% Traffic Growth Rate) และจากค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงที่อัตราผลตอบแทน 12% ซึ่งมาจากอัตราผลตอบแทนแท้จริงที่ 9.5% และอัตราเงินเฟ้อที่ 2.5% ซึ่งเป็นอัตราอ้างอิงที่

กรมทางหลวงใช้สำหรับวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการก่อสร้าง ณ ปี พ.ศ. 2542 ซึ่งความเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจของประเทศเป็นสิ่งเกิดขึ้นได้อยู่ตลอดเวลา ดังนั้น เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของลักษณะของแผนงานอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยดังกล่าว จึงต้องมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับอัตราผลตอบแทน และอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจรในระยะเวลา 1 ปีถัดไป โดยจะทำการวิเคราะห์ที่ระดับอัตราผลตอบแทน 0%, 7% และ 20% เปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่ 12% และอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรที่ 5% 10% และ -10% เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผลประโยชน์รวมที่อัตราการเพิ่มปริมาณจราจร 0% ซึ่งการวิเคราะห์นี้ได้พิจารณาเลือกแสดงเฉพาะสายทางกรณีความชันปานกลาง (3-5% Gradient) เนื่องจากผลลัพธ์จากการพิจารณาแบบไม่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณสำหรับทั้ง 3 ระดับความชัน ดังตัวอย่างในตารางที่ 4.9 – 4.11 ให้วิธีการซ่อมบำรุงที่มีค่าผลตอบแทนสูงสุดสอดคล้องกัน โดยผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบทั้งหมดสำหรับกรณีความชันปานกลาง 3-5% ได้แสดงตารางรายละเอียดไว้ในผนวก ง โดยตารางที่ ง-1 ถึง ง-6 แสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบ่งตามการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผลตอบแทนและค่าอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร โดยแสดงค่าของผลประโยชน์รวมที่ได้ที่สภาพของผิวทางและปริมาณการจราจรระดับต่าง ๆ และเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่เป็นสมมติฐานการวิเคราะห์ในปี 2542 คือ ที่อัตราผลตอบแทนที่ 12% เมื่อไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร และใช้ค่าสัดส่วนประเภทรถสำหรับปริมาณการจราจรเดียวกันกับสัดส่วนในการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.2 โดยได้เน้นสีเข้มสำหรับค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในสภาพสายทางเพื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงกับสมมติฐานเดิม

จากการทดสอบความอ่อนไหวพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำในการพิจารณาโครงการ และอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจรไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของวิธีการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ซึ่งวิธีการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดจะมีการเปลี่ยนแปลงจากการเปลี่ยนค่าอัตราผลตอบแทนหรืออัตราการเติบโตของปริมาณจราจร เฉพาะในกรณีที่เป็นสายทางปริมาณการจราจรปานกลางความเสียหายสูง (AADT > 4,000 , IRI = 5.0 – 6.0) และสายทางที่ปริมาณการจราจรสูงความเสียหายต่ำ (AADT > 6,000 , IRI = 2.5 – 4.0) เท่านั้น โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก คือ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงไปเป็นวิธีการซ่อมบำรุงที่อยู่ถัดไป 1 ระดับ ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงแบบตรงข้ามจากการซ่อมบำรุงแบบเล็กไปหาแบบใหญ่ทันที

ในแง่ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลประโยชน์รวมจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดและค่าอัตรากการเติบโตของปริมาณการจราจร ค่าผลประโยชน์รวมจะแปรผันตามค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด และแปรผกผันกับค่าอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร คือ มีแนวโน้มในทางเพิ่มขึ้น เมื่อค่าอัตราผลตอบแทนในการพิจารณามีค่าสูงขึ้น แต่จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจรมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าผลประโยชน์รวมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่ระดับเดียวกันของค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด

5.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องของการใช้งานแบบจำลอง

นอกจากการพิจารณาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงค่าสมมติฐานต่าง ๆ แล้ว เพื่อให้แน่ใจว่าแบบจำลองสามารถนำไปใช้ได้จริง การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้วิเคราะห์ขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในหัวข้อนี้ได้แบ่งแนวทางการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Validity) ออกเป็น 3 แนวทาง ได้แก่ การพิจารณาเปรียบเทียบกับผลจากระบบวางแผนงานในปัจจุบัน การพิจารณาผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎีการซ่อมบำรุงทาง และการเปรียบเทียบกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองกับผลโดย 3 แนวทางดังกล่าว

5.2.1 การพิจารณาเปรียบเทียบกับผลจากระบบวางแผนงานในปัจจุบัน

ระบบการวางแผนงานบำรุงรักษาของกรมทางหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบ TPMS และ TPMS Budgeting Module ซึ่งอาศัยวิธีพิจารณาความเหมาะสมของโครงการการซ่อมบำรุงจากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (B/C Ratio) และได้สรุปวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม ณ สภาพของทางระดับต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 ทั้งนี้การเปรียบเทียบกับวิธีการซ่อมบำรุงในระบบ TPMS ซึ่งยังไม่มีการพิจารณาข้อจำกัดทางงบประมาณนั้น จะต้องเปรียบเทียบกับวิธีการซ่อมบำรุงจากแบบจำลองโดยไม่พิจารณาข้อจำกัดทางงบประมาณเช่นกัน เมื่อจัดทำตารางวิธีการซ่อมบำรุงที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง ตามลักษณะการจัดเรียงในตารางที่ 3.5 จะได้วิธีการซ่อมบำรุงของทั้งสองแบบดังในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1: การเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงทางที่เหมาะสมระหว่างผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมและจาก Treatment Matrix เมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ

Roughness Range (IRI m/km)	Traffic Range – AADT							
	< 200	201 - 500	501 - 1,000	1,001 - 2,000	2,001 - 4,000	4,001 - 6,000	6,001 - 10,000	> 10,000
	Optimization Model							
< 3.00	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	Seal
3.0 – 4.0	RM	RM	RM	RM	RM	Seal	Seal	OL - 50
4.0 – 5.0	RM	RM	RM	RM	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50
5.0 – 6.0	RM	RM	RM	RM	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50
6.0 – 8.0	RM	RM	RM	RM	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
	TPMS Treatment Matrix							
< 3.00	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM
3.0 – 4.0	RM	RM	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	OL-50
4.0 – 5.0	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	OL-50	OL-50	REH-AC
5.0 – 6.0	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50	OL - 50	REH-AC	REH-AC
6.0 – 8.0	OL - 50	OL - 50	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC

RM - Routine Maintenance

Seal - Slurry Seal or Surface Treatment

OL - 50 - 50mm Asphaltic Concrete Overlay

REH - AC - Rehabilitation with Granular Base and 50mm Asphaltic Concrete Overlay

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าในตาราง Treatment Matrix ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่เป็นวิธีการซ่อมบำรุงจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองไม่ตรงกัน โดยวิธีการซ่อมบำรุงจากแบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมจะเลือกวิธีซ่อมบำรุงตามระดับของปริมาณการจราจรมากกว่า คือ เลือกวิธีซ่อมบำรุงปกติในทุกระดับความเสียหายเมื่อปริมาณการจราจรต่ำกว่า 2,000 คันต่อวัน และเริ่มมีวิธีอื่น ๆ เมื่อปริมาณการจราจรมากกว่า 2,000 คันขึ้นไป แต่วิธีในตาราง Treatment Matrix จะใช้การซ่อมบำรุงตามระดับความเสียหายมากกว่าปริมาณจราจร คือ ถึงแม้สายทางจะมีปริมาณการจราจรน้อยมากคือ ต่ำกว่า 200 คันต่อวัน แต่ถ้าความเสียหายสูงกว่า 4.0 ก็จะเลือกการซ่อมบำรุงแบบฉาบผิวทาง แต่วิธีการซ่อมบำรุงจากตารางทั้งสองจะใกล้เคียงกันเมื่อปริมาณการจราจรมากกว่า 2,000 คัน

ต่อวันขึ้นไป ซึ่งการที่ผลจากแบบจำลองเลือกโดยอิงจากปริมาณการจราจรเป็นหลักเนื่องจาก ค่าปัจจัยหลักในการพิจารณามาจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรของสายทาง อีกทั้งในงานวิจัยนี้ได้ตั้งค่าปรับลดผลกระทบจากปริมาณการจราจรไว้ที่ 1.0 ความสำคัญของค่าเชิงเศรษฐศาสตร์จากค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางจึงมีอิทธิพลต่อวิธีการซ่อมบำรุงมากกว่าระดับความเสียหาย

อย่างไรก็ดี นับว่าผลลัพธ์ที่เป็นวิธีการซ่อมบำรุงจากทั้งสองวิธี ให้ค่าที่สอดคล้องกันคือเลือกการซ่อมบำรุงแบบปกติสำหรับสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำความเสียหายไม่มากนัก และเลือกวิธี ฉาบผิวทาง เสริมผิวทาง และงานบูรณะผิวทาง เมื่อความเสียหายเกิดขึ้นมากขึ้นในสายทางที่มีปริมาณการจราจรมากขึ้นตามลำดับ

5.2.2 การพิจารณาผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎีการซ่อมบำรุงทาง

ในแง่ของทฤษฎีการซ่อมบำรุงทาง เป็นอีกแนวทางหนึ่งซึ่งควรพิจารณาเปรียบเทียบด้วยว่าแผนงานที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองนั้น ขัดแย้งต่อแนวทางที่เป็นนโยบาย หรือความรู้สึกของผู้ใช้หรือไม่ เช่น ถ้าเปรียบเทียบสายทางสองสายทางที่มีปริมาณการจราจรเท่ากันแต่ความเสียหายไม่เท่ากัน สายทางที่มีความเสียหายมากกว่า ควรจะได้รับการซ่อมบำรุงก่อน หรือในกรณีสายทางที่เกิดความเสียหายที่เท่ากัน สายทางที่มีต้องรองรับปริมาณการจราจรที่มากกว่าก็ควรจะได้รับการซ่อมแซมก่อนนั่นเอง ซึ่งได้ทำการทดสอบการวิเคราะห์จากแบบจำลองจากทั้งสองตัวอย่าง ดังตัวอย่างที่ 1 ในตารางที่ 5.2 ซึ่งทดสอบการซ่อมบำรุงสายทางที่มีปริมาณการจราจรเท่ากันแต่ความเสียหายแตกต่างกัน

ตารางที่ 5.2: การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองตัวอย่างที่ 1

ROUTE_NO	PCU	Grade	m.	Avg_IRI99	%HV	Age
1	10,000	M	1,000	3.00	22.00%	4.207
2	10,000	M	1,000	4.00	22.00%	7.119
3	10,000	M	1,000	5.00	22.00%	9.378

จากตารางที่ 5.2 ได้กำหนดค่าปริมาณการจราจรและสัดส่วนรถบรรทุกหนักของทั้ง 3 สายทางตัวอย่างไว้เท่ากัน แต่ให้มีระดับความเสียหายแตกต่างกันคือมีค่า IRI = 3.0, 4.0 และ 5.0 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง จะได้ค่าผลประโยชน์รวม และค่าใช้จ่ายในการซ่อม

บำรุงแบบปีต่อปี เมื่อพิจารณาค่าอัตราผลตอบแทนที่ 12% และอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจรที่ 0% ดังในตารางที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.3: ค่าผลประโยชน์รวมจากการวิเคราะห์สายทางตัวอย่างในตารางที่ 5.2

		ค่าผลประโยชน์รวมของแต่ละสายทาง		
Maint. Option		สายทางที่ 1	สายทางที่ 2	สายทางที่ 3
Routine	0	541,422	456,214	354,228
Seal	1	549,363	549,690	545,102
Overlay	2	421,579	1,483,246	2,680,642
Rehab.	3	-392,357	669,310	1,866,706

ตารางที่ 5.4: ค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงทางทั้ง 3 จากสายทางตัวอย่างในตารางที่ 5.2

		ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุงของแต่ละสายทาง		
Maint. Option		สายทางที่ 1	สายทางที่ 2	สายทางที่ 3
Routine	0	29,397.93	33,248.58	35,463.18
Seal	1	215,747.00	215,747.00	215,747.00
Overlay	2	1,156,517.00	1,156,517.00	1,156,517.00
Rehab.	3	1,970,453.00	1,970,453.00	1,970,453.00

และเมื่อวิเคราะห์แบบไม่พิจารณางบประมาณโดยใช้แบบจำลองจะได้ วิธีการซ่อมบำรุงของแต่ละสายทางคือ วิธีเสริมผิวทางสำหรับสายทางที่ 2 และ 3 และฉาบผิวทางสำหรับสายทางที่ 1 ดังตารางที่ 5.5 คือ

ตารางที่ 5.5: วิธีการซ่อมบำรุงแบบไม่พิจารณางบประมาณสำหรับสายทางทั้ง 3

	วิธีการซ่อมบำรุง			
ค่าผลประโยชน์รวม	สายทางที่ 1	สายทางที่ 2	สายทางที่ 3	ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง
4,713,252	1	2	2	2,528,781

แต่ในการที่จะรู้ได้ว่าจะเลือกซ่อมสายทางใดก่อนนั้น ต้องอาศัยข้อจำกัดทางงบประมาณเข้าช่วย คือ เมื่องบประมาณมีไม่เพียงพอ แบบจำลองจะต้องเลือกการซ่อมบำรุงทางที่ทำให้ได้ค่าผล

ประโยชน์รวมสูงที่สุดก่อน การวิเคราะห์จึงกำหนดงบประมาณที่ 300,000 บาท และ 500,000 บาท เพื่อพิจารณาว่าสายทางใดจะได้รับการพิจารณาให้ซ่อมบำรุงก่อน ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6: วิธีการซ่อมบำรุงเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 300,000 และ 500,000 บาท

		วิธีการซ่อมบำรุง			
งบประมาณ	ค่าผลประโยชน์รวม	สายทางที่ 1	สายทางที่ 2	สายทางที่ 3	ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง
300,000	1,542,738	0	0	1	278,394
500,000	1,636,214	0	1	1	460,892

จากตารางจะเห็นได้ว่า เมื่อจำกัดงบประมาณที่ 300,000 บาท และ 500,000 บาท จะทำให้เลือกซ่อมบำรุงได้เพียงสายทางเดียวและสองสายทางตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้เลือกซ่อมบำรุงสายทางที่ 3 ที่เป็นสายทางที่เสียหายมากที่สุดก่อน และเมื่อมีงบประมาณมากขึ้นจึงเลือกซ่อมสายทางที่ 2 ซึ่งมีความเสียหายมากรองลงมา นับว่าสอดคล้องตามทฤษฎีงานบำรุงทาง

ตัวอย่างที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบเพื่อเลือกการซ่อมบำรุงระหว่างสายทางที่มีความเสียหายเท่ากันแต่มีปริมาณการจราจรแตกต่างกัน เพื่อดูความสอดคล้องกับการซ่อมบำรุงทางทฤษฎี ซึ่งควรซ่อมบำรุงทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่าก่อน ตัวอย่างลักษณะของสายทางแสดงได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7: การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองตัวอย่างที่ 2

ROUTE_NO	PCU	Grade	m.	Avg_IRI99	%HV	Age
1	6,000	M	1,000	4.00	22.00%	4.207
2	8,000	M	1,000	4.00	22.00%	7.119
3	10,000	M	1,000	4.00	22.00%	9.378

ตัวอย่างในตารางที่ 5.7 ได้กำหนดค่า IRI และสัดส่วนรถบรรทุกหนักของทั้ง 3 สายทางตัวอย่างไว้เท่ากันคือที่ IRI = 4.0 และ %HV = 22% แต่ให้มีปริมาณการจราจรแตกต่างกันคือ = 6,000, 8,000 และ 10,000 คันต่อวันตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง จะได้ค่าผลประโยชน์รวม และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแบบปีต่อปี เมื่อพิจารณาค่าอัตราผลตอบแทนที่ 12% และอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจรที่ 0% ดังในตารางที่ 5.8 และ 5.9

ตารางที่ 5.8: ค่าผลประโยชน์รวมจากการวิเคราะห์สายทางตัวอย่างในตารางที่ 5.7

		ค่าผลประโยชน์รวมของแต่ละสายทาง		
Maint. Option		สายทางที่ 1	สายทางที่ 2	สายทางที่ 3
Routine	0	262,716	359,329	456,214
Seal	1	260,492	407,930	549,690
Overlay	2	444,733	966,951	1,483,246
Rehab.	3	-369,203	153,015	669,310

ตารางที่ 5.9: ค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงทางทั้ง 3 จากสายทางตัวอย่างในตารางที่ 5.7

		ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุงของแต่ละสายทาง		
Maint. Option		สายทางที่ 1	สายทางที่ 2	สายทางที่ 3
Routine	0	30,961.53	32,240.86	33,248.58
Seal	1	215,747.00	215,747.00	215,747.00
Overlay	2	1,156,517.00	1,156,517.00	1,156,517.00
Rehab.	3	1,970,453.00	1,970,453.00	1,970,453.00

และเมื่อวิเคราะห์แบบไม่พิจารณางบประมาณโดยใช้แบบจำลองจะได้ วิธีการซ่อมบำรุงเป็นวิธีเสริมผิวทางสำหรับทุกสายทาง ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10: วิธีการซ่อมบำรุงแบบไม่พิจารณางบประมาณสำหรับสายทางทั้ง 3

	วิธีการซ่อมบำรุง			
ค่าผลประโยชน์รวม	สายทางที่ 1	สายทางที่ 2	สายทางที่ 3	ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง
2,894,931	2	2	2	3,469,551

เช่นเดียวกันกับในตัวอย่างที่ 1 คือต้องอาศัยข้อจำกัดทางงบประมาณเข้าช่วยเพื่อทราบถึงลำดับความสำคัญของงานซ่อมบำรุง ซึ่งแบบจำลองจะต้องเลือกการซ่อมบำรุงทางที่ทำให้ได้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุดก่อนเมื่องบประมาณมีไม่เพียงพอ การวิเคราะห์จึงกำหนดงบประมาณที่ 300,000 บาท และ 500,000 บาท เพื่อพิจารณาว่าสายทางใดจะได้รับการพิจารณาให้ซ่อมบำรุงก่อน ดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11: วิธีการซ่อมบำรุงเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 300,000 และ 500,000 บาท

		วิธีการซ่อมบำรุง			
งบประมาณ	ค่าผลประโยชน์รวม	สายทางที่ 1	สายทางที่ 2	สายทางที่ 3	ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุง
300,000	1,171,735	0	0	1	278,949
500,000	1,220,336	0	1	1	462,456

จะเห็นได้ว่า สายทางที่ได้รับการพิจารณาเลือกซ่อมทางก่อนได้แก่ สายทางที่ 3 ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณการจราจรมากที่สุด และรองลงมาคือสายทางที่ 2 ที่มีปริมาณการจราจรรองลงมาเช่นกัน ซึ่งนับว่าสอดคล้องกับความต้องการในการจัดลำดับงานซ่อมบำรุงทางในเชิงทฤษฎีเช่นกัน

5.2.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในงานวิจัยนี้ ได้เปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างปัญหาการวางแผนงานซ่อมบำรุงระหว่าง ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม ทั้งการพิจารณาแบบปีต่อปี และแบบการพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี ซึ่งที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2 กับแผนงานที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในด้านการวางแผนงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงในโจทย์ปัญหาเดียวกัน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของแผนงานที่ได้ ซึ่งความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญนั้น ได้จากการสอบถามแผนงานบำรุงรักษาสายทางในโจทย์ปัญหาตามความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ระดับ 7 สองท่านจากกองบำรุง กรมทางหลวง และเจ้าหน้าที่ระดับ 4 หนึ่งท่าน จากกองวางแผนและพิจารณาโครงการ ที่มีความรู้ด้านการวางแผนงานบำรุงรักษาของกรมทางหลวง และได้สรุปความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทั้งสามท่านมาเป็นแผนงานบำรุงรักษาทางเพื่อการเปรียบเทียบ โดยสามารถแสดงตารางเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ทั้งสองแบบที่อัตราผลตอบแทน 12% ได้ดังตารางที่ 5.12 และ 5.13 สำหรับตัวอย่างแผนงานแบบปีต่อปี และตัวอย่างการพิจารณาแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี ตามลำดับ

ตารางที่ 5.12: การเปรียบเทียบแผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,900,000 บาท

แผนงานบำรุงรักษา	วิธีการซ่อมบำรุง (j)							Maint. Cost	Benefit – Cost
	1	2	3	4	5	6	7		
แบบจำลอง (จำกัดงบประมาณ)	0	2	0	1	0	3	0	2,881,881	6,601,057
แบบจำลอง (ไม่จำกัดงบประมาณ)	0	2	0	2	0	3	0	3,859,341	7,302,339
ผู้เชี่ยวชาญ (จำกัดงบประมาณ)	1	1	1	1	1	3	0	2,829,440	6,327,035
ผู้เชี่ยวชาญ (ไม่จำกัดงบประมาณ)	1	2	1	2	1	3	1	4,593,452	7,028,514

วิธีการซ่อมบำรุงปีต่อปีเมื่อพิจารณาแบบจำกัดงบประมาณในตารางที่ 5.12 ซึ่งสายทางที่มีลำดับความสำคัญเนื่องจากมีปริมาณการจราจรสูงและมีความเสียหายมากกว่าสายทางอื่น ๆ ได้แก่ สายทางที่ 6 สายทางที่ 2 และ 4 ตามลำดับ วิธีซ่อมบำรุงที่ได้จากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญและแบบจำลองมีความเหมือนกันในสายทางทางที่ 6 และ 4 แต่เกิดความแตกต่างกันสำหรับการเลือกวิธีซ่อมบำรุงในสายทาง คือ สายทางที่ 1 2 3 5 และ 7 ผู้เชี่ยวชาญได้พยายามเลือกการซ่อมบำรุงให้กับทางที่มีลำดับความสำคัญรองลงมาให้เกิดการซ่อมบำรุงในทุกสายทาง โดยซ่อมแบบฉาบผิวสำหรับทุกสายทางที่เหลือได้ยกเว้นสายทางที่ 7 และได้ปรับลดการซ่อมบำรุงแบบเสริมผิวทางในสายทางที่ 2 เป็นฉาบผิวทางเนื่องจากงบประมาณไม่เพียงพอ ส่วนวิธีการซ่อมบำรุงจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง ได้เลือกการซ่อมบำรุงปกติสำหรับสายทางที่ 1 3 5 และ 7 แต่มีการเสริมผิวทางในสายทางที่ 2 ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมจากวิธีในแบบจำลองสูงกว่าแต่ยังไม่เกินงบประมาณ และเมื่อเปรียบเทียบการพิจารณาแบบไม่จำกัดงบประมาณ วิธีการซ่อมบำรุงสำหรับสายทางที่ปริมาณการจราจรสูงและเสียหายมากจะตรงกัน แต่สำหรับที่สายทางอื่น ๆ ที่สำคัญรองลงมา แบบจำลองจะยอมรับระดับของการซ่อมบำรุงปกติได้ ในขณะที่ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญนั้น ได้พยายามเลือกการซ่อมบำรุงที่มากกว่าการซ่อมบำรุงปกติในทุกสายทางแม้ว่าจะมีความเสียหายต่ำ โดยมีเหตุผลเพื่อการป้องกันความเสียหายภายหลัง

ตารางที่ 5.13: การเปรียบเทียบแผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,000,000 บาท และไม่จำกัดงบประมาณ

แผนงานบำรุงรักษา	ช่วงสายทางที่ 4			ช่วงสายทางที่ 6			Maint. Cost	Benefit - Cost
	2542	2543	2544	2542	2543	2544		
แบบจำลอง (จำกัดงบประมาณ)	0	1	1	0	0	3	1,986,200	6,573,669
แบบจำลอง (ไม่จำกัดงบประมาณ)	0	1	2	0	0	3	2,796,817	7,694,633
ผู้เชี่ยวชาญ (จำกัดงบประมาณ)	0	0	0	3	0	0	1,963,490	5,674,116
ผู้เชี่ยวชาญ (ไม่จำกัดงบประมาณ)	2	0	1	3	0	1	3,411,862	5,948,370

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงในระยะเวลาต่อเนื่อง 3 ปี ในตารางที่ 5.13 ทั้งแบบจำกัดและไม่จำกัดงบประมาณ ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนจากการเลือกทั้ง 2 แบบ คือ ผู้เชี่ยวชาญจะพยายามให้เกิดการซ่อมบำรุงทันทีที่สามารถทำได้ เพื่อแก้ไขความเสียหายโดยสังเกตได้จากการที่เลือกซ่อมบำรุงในปีแรกทันที ทั้งแบบจำกัดและไม่จำกัดงบประมาณ ในขณะที่การวิเคราะห์จากแบบจำลองจะมองผลรวมของผลประโยชน์รวมที่ได้รับในปีสุดท้ายที่ประเมินผล จึงเลือกการซ่อมบำรุงในปีที่ 3 ที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุด ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่พิจารณาในตัวอย่างนี้สูงถึง 12% ทำให้ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงถูกกว่าปีแรก ๆ เมื่อพิจารณาในรูปของมูลค่าปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ดีการซ่อมบำรุงในปีท้าย ๆ ซึ่งประเมินว่ามีค่าใช้จ่ายต่ำลงก็ทำให้สามารถเลือกการซ่อมบำรุงแบบฉาบผิวทางสำหรับสายทางที่ 4 ได้ สำหรับกรณีที่งบประมาณจำกัด ซึ่งนับว่าไม่สามารถซ่อมบำรุงสายทางที่ 4 ได้จากการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ลักษณะของแผนงานซ่อมบำรุงเมื่อพิจารณาข้อจำกัดของงบประมาณจากแบบจำลองจึงให้ผลที่ครอบคลุมกว่าในระยะยาว

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของทั้ง 2 กรณีตัวอย่าง ถึงแม้ว่ามีความแตกต่างกันสำหรับวิธีการซ่อมบำรุงที่เลือกโดยผู้เชี่ยวชาญและจากแบบจำลอง แต่วิธีการซ่อมจากทั้ง 2 ความเห็นนี้นับว่ามีความสอดคล้องไปในทางเดียวกัน คือ ให้ความสำคัญในการจัดหาวิธีซ่อมบำรุงให้กับ

สายทางที่มีปริมาณการจราจรสูงและความเสียหายมากก่อน และได้วิธีการซ่อมบำรุงที่เหมือนกัน แต่มีความแตกต่างสำหรับสายทางรองลงมาจากระดับการยอมรับว่าจะไม่เลือกการซ่อมบำรุงโดยวิธีใด ๆ ในปีนั้น (งานบำรุงปกติ) และเมื่อจำกัดงบประมาณซึ่งทำให้มีความแตกต่างบางส่วนเมื่อต้องเลือกวิธีการซ่อมบำรุง

5.3 การทดสอบความเชื่อถือได้ของแบบจำลอง

การทดสอบความเชื่อถือได้ (Reliability Test) สำหรับแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษานี้ ได้จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาจาก 2 ตัวอย่าง โดยให้เปรียบเทียบตัวอย่างการวิเคราะห์ 7 ช่วงสายทางในหัวข้อที่ 4.1.2 กับแผนงานซ่อมบำรุงที่ได้จากการวิเคราะห์สายทางอีก 7 สายทางที่มีสภาพใกล้เคียงกันกับตัวอย่างแรกว่าเหมือนหรือให้ผลสอดคล้องกันหรือไม่ ตัวอย่างสายทางสำหรับการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14: ข้อมูลของสายทางตัวอย่างเพื่อทดสอบความเชื่อถือได้ของแบบจำลอง

No.	CAR	LBUS	HBUS	LTRUCK	MTRUCK	HTRUCK	PCU	ความชัน	ระยะทาง m.	ค่าIRI
1	1,995	494	299	3,877	550	444	11,138	M	850	2.67
2	1,155	223	114	2,568	388	155	6,656	L	700	4.13
3	1,770	446	12	2,538	187	21	6,686	M	1,050	4.89
4	3,222	360	10	3,811	588	253	11,181	M	1,000	2.31
5	2,354	333	7	4,904	144	30	10,572	H	950	7.65
6	2,870	246	140	3,000	590	433	10,065	H	1,000	3.02
7	271	11	6	38	70	8	513	L	1,000	3.90

ตัวอย่างสายทางทั้ง 7 ในตารางที่ 5.14 นี้ ได้สุ่มขึ้นจากข้อมูลสายทางทั่วประเทศ ณ ปี พ.ศ. 2542 เพื่อให้ได้ลักษณะสายทางที่มีความใกล้เคียงกับภาพรวมของสายทางตัวอย่างในหัวข้อ 4.1.2 ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองจะให้แผนงานที่เป็นผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15: แผนงานบำรุงรักษาที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในตารางที่ 5.14 ด้วยแบบจำลอง

การพิจารณา	วิธีการซ่อมบำรุง (j) สำหรับสายทางที่							Max Benefit - Cost	Maint. Cost
	1	2	3	4	5	6	7		
งบประมาณ 2,900,000 บาท	0	2	0	0	3	0	0	6,452,777	2,813,147
ไม่จำกัดงบประมาณ	0	2	2	0	3	0	0	7,354,717	3,992,510

เมื่อเปรียบเทียบแผนงานที่ได้จากตัวอย่างในตารางที่ 5.14 กับ ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างในหัวข้อ 4.1.2 พบว่า แผนงานที่ได้มีลักษณะเหมือนกันสำหรับสายทางที่มีสภาพผิวทางและปริมาณการจราจรใกล้เคียงกัน คือ ใช้การบูรณะผิวทางสำหรับสายทางที่ 5 ที่มีความเสียหายสูงสุดและมีปริมาณการจราจรสูงและเสริมผิวทางในสายทางที่ 2 ส่วนการพิจารณาแบบไม่จำกัดงบประมาณก็ให้ผลการวิเคราะห์แบบปีต่อปีตรงกันกับตัวอย่างในหัวข้อ 4.1.2 เช่นกัน แสดงว่าแบบจำลองที่ใช้มีความคงที่ของการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 สรุป

ในบทที่ 5 นี้ ได้ทำการทดสอบแบบจำลองที่ได้วิเคราะห์ขึ้นในบทที่ 3 เพื่อทราบถึงความเป็นไปได้และข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริง ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง การทดสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง และการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ซึ่งการทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลอง ได้ทดสอบผลการวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงค่าสมมติฐาน 2 ค่า คือ ค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดในการพิจารณาโครงการ และค่าอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจร ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าการเปลี่ยนแปลงสมมติฐานเหล่านี้ไม่ส่งผลการเปลี่ยนแปลงการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงในภาพรวมของแผนงานบำรุงรักษาทาง เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในทางเดียวกันกับทุก ๆ สายทางที่พิจารณา ส่วนการทดสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ของแบบจำลองได้ทดสอบใน 3 ลักษณะ ได้แก่ การเปรียบเทียบกับผลจากระบบ TPMS เปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี และกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ โดยจากการทดสอบทั้ง 3 แบบให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องไปในทางเดียวกันในภาพรวม แต่มีความแตกต่างเกิดขึ้นกับวิธีการซ่อมบำรุงที่เลือกในบางกรณีและเมื่อมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ในด้านการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองได้ทดสอบแผนการซ่อมบำรุงจาก 2 ตัวอย่างชุดสายทางที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน พบว่าผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองได้เลือกแผนงานในลักษณะเดียวกัน จึงสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองเพื่อการวางแผนงานโดยวิธีหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมที่ได้วิเคราะห์ขึ้นนี้สามารถนำไปใช้งานวิเคราะห์แผนงานได้ดีในระดับหนึ่ง โดยมีความถูกต้องและสอดคล้องกับนโยบายการวางแผนบำรุงรักษาทางในปัจจุบัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในด้านงานซ่อมบำรุงทางของกรมทางหลวงในปัจจุบัน เป็นผลสืบเนื่องจากในระยะเวลา 20-30 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยได้เร่งการก่อสร้างถนนเพิ่มขึ้นอย่างมากตามความต้องการและการขยายตัวของเศรษฐกิจ ในขณะที่งบประมาณการซ่อมบำรุงมีอยู่อย่างจำกัดไม่เพียงพอต่อความต้องการการซ่อมบำรุง จึงทำให้เกิดความเสียหายของถนนเร็วกว่าที่ควรจะเป็น

แนวทางการบริหารงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงในปัจจุบัน ได้ใช้เกณฑ์การบำรุงรักษาตามสภาพความเสียหายของผิวทางและระยะเวลาเป็นหลัก และอ้างอิงแนวทางเพื่อกำหนดลำดับความสำคัญของสายทางที่ควรซ่อมบำรุงและวิธีซ่อมบำรุงจากระบบ TPMS Budgeting Module ซึ่งได้มีการปรับปรุงจากระบบการพิจารณาเดิมซึ่งให้ความสำคัญต่อความเสียหายของสายทางเป็นหลัก ให้สามารถลำดับความสำคัญของการซ่อมบำรุงในแต่ละสายทางในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้ และเริ่มใช้งานในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ.2537 โดยยังคงมีข้อจำกัดที่สำคัญในการพิจารณาแผนงานซ่อมบำรุง คือ การที่ไม่สามารถปรับปรุงสูตรคำนวณและสมมติฐานของการวิเคราะห์จากสภาวะทางเศรษฐกิจได้เมื่อเวลาผ่านไป ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน และแผนงานที่ระบบเสนอนั้นเป็นแผนงานปีต่อปีไม่สามารถกำหนดแผนระยะยาวได้ อีกทั้งยังไม่มีการวิเคราะห์โดยพิจารณาข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ (Budgeting constraint) ร่วมด้วย ทำให้การวิเคราะห์ที่ได้จากเกณฑ์การพิจารณาของกรมทางหลวงในปัจจุบันนี้ ยังไม่เป็นคำตอบที่เหมาะสมกับสภาวะปัจจุบันที่มีงบประมาณจำกัด และต้องการระบบที่สามารถประมาณความต้องการงบประมาณในระยะยาวได้

งานวิจัยฉบับนี้ ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Optimization Model) สำหรับการคำนวณการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง เพื่อปรับปรุงระบบในการคำนวณสำหรับพิจารณาการบริหารงานบำรุงทางจากเดิม (TPMS และTPMS budgeting module) ให้สามารถอาศัยเกณฑ์ในการตัดสินใจจาก ความเสียหายของผิวทาง การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ และข้อจำกัดทางด้านงบประมาณร่วมกัน และสามารถพิจารณาสำหรับการวางแผนงบประมาณในระยะยาวได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแผนงานบำรุงรักษาสำหรับสายทางทุกช่วงสายทางที่ได้มีการเลือกมาอยู่ในระบบปัญหาว่า

ช่วงสายทางใด จะทำการซ่อมบำรุงโดยวิธีใด ณ ปีปัจจุบัน หรือปีอื่น ๆ ถัดไปตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้ได้ค่าผลประโยชน์ต่อรวมของงานบำรุงทางสูงที่สุด โดยค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุงทั้งหมดจะไม่เกินไปกว่ากรอบของงบประมาณที่มีให้ในช่วงเวลาที่พิจารณานั้น ซึ่งผลลัพธ์นี้ จะสามารถช่วยในการพิจารณาวางแผนงานซ่อมบำรุงทางโดยมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณได้ ทั้งแผนงานที่พิจารณาแบบปีต่อปี และแผนงานที่พิจารณาเป็นช่วงระยะเวลาเพื่อความยืดหยุ่นในด้านการพิจารณางบประมาณ

การพัฒนาแบบจำลอง มีขั้นตอนเริ่มจากกำหนดลักษณะของปัญหา โดยวิเคราะห์องค์ประกอบของปัญหา ผลลัพธ์ที่ต้องการ ค่าที่ใช้ในการวัดผล และเกณฑ์ในการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำมาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ที่เป็นสมการจุดประสงค์แทนตัวปัญหา และสมการข้อจำกัดจากค่าองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องและแบบจำลองสำหรับหาค่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงแบบจำลองเพื่อการทำนายค่าองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อการวางแผนในปีปัจจุบันและอนาคต ได้แก่ แบบจำลองเพื่อทำนายค่าสภาพความเสียหาย แบบจำลองค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง และใช้รูปแบบของสมการเชิงเส้นเป็นสมการปัญหาแทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ มาประกอบกับสมการข้อจำกัดซึ่งใช้ลักษณะของตัวแปรแบบ 0 1 ซึ่งแทนความหมายของการเลือกการซ่อมบำรุงแบบต่าง ๆ สำหรับสายทาง โดยแบบจำลองที่ได้นี้เป็นแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลที่มีการเก็บอยู่ในฐานข้อมูลงานทางของกรมทางหลวงในปัจจุบันเป็นหลัก ได้แก่ ค่าดัชนีการเสื่อมสภาพของผิวทาง (IRI) ค่าความขัน ความยาวของช่วงสายทาง และค่าปริมาณการจราจรของพาหนะแต่ละประเภท และรูปแบบของคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง จะเป็นแผนงานบำรุงรักษาที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุดสำหรับสายทางหรือระบบสายทางที่ได้เลือกมาพิจารณา โดยสามารถพิจารณาแผนงานได้ 2 แบบคือ แบบปีต่อปีและแบบเป็นช่วงระยะเวลาหลายปีติดต่อกัน ซึ่งแผนงานทั้ง 2 แบบนี้สามารถเลือกการวางแผนทั้งที่มีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ คือ กำหนดวงเงินงบประมาณที่ใช้ในระยะเวลา 1 ปีสำหรับการวางแผนงานแบบปีต่อปี หรือเป็นวงเงินงบประมาณสำหรับหลายปีรวมกันสำหรับการวางแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปีก็ได้ หรือสามารถวิเคราะห์หาแผนงานที่ไม่จำกัดวงเงินงบประมาณ เพื่อประมาณความต้องการงบประมาณเพื่อการซ่อมบำรุงสายทางที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดได้อีกรูปแบบหนึ่ง

การวิเคราะห์ผลโดยแบบจำลองจากข้อมูลสายทางตัวอย่าง ได้ใช้ข้อมูลสภาพสายทางและสมมติฐานการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์สำหรับงานโครงการของกรมทางหลวงในปี 2542 มาทำการพิจารณาแผนงาน โดยได้วิเคราะห์แบบจำกัดงบประมาณทั้งแบบปีต่อปีและต่อเนื่องหลายปี เพื่อ

แสดงลักษณะของแผนงานที่ได้จากแบบจำลอง และพิจารณาผลจากการวิเคราะห์แบบไม่จำกัดงบประมาณสำหรับสายทางที่ค่าสภาพผิวทาง และปริมาณการจราจรต่าง ๆ กันเพื่อหาแนวทางการซ่อมบำรุงซึ่งให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงและค่าผลประโยชน์รวมจากสายทางในลักษณะภูมิประเทศทั้ง 3 กลุ่ม ให้ค่าสอดคล้องกัน โดย วิธีบำรุงปกติเป็นวิธีที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุดเมื่อสายทางมีปริมาณการจราจรต่ำประมาณ 0 – 2,000 คันต่อวันในทุกระดับสภาพผิวทาง และที่ค่า IRI ในช่วง 2.0 – 3.0 สำหรับสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูง คือ 2,000 – 10,000 คันต่อวันต่อสองช่องจราจร การซ่อมบำรุงแบบฉาบผิวทาง ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดในกรณีที่ปริมาณการจราจรสูง และมีสภาพผิวทางที่ดี คือ ค่า IRI ประมาณ 2.5 - 3.0 และปริมาณจราจร 10,000 - 15,000 คันต่อวัน การซ่อมบำรุงแบบเสริมผิวทางเป็นวิธีที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อ สภาพความเสียหายของสายทางอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง คือค่า IRI ประมาณ 3.0 – 5.0 และมีปริมาณการจราจรของสายทางสูงกว่า 4,000 คันต่อวัน และงานบูรณะชั้นทางจะให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุด เมื่อสายทางมีปริมาณการจราจรสูงกว่า 4,000 คันต่อวันขึ้นไป และมีระดับความเสียหายสูง คือ ค่า IRI สูงกว่า 6.0 ขึ้นไป ซึ่งจำนวนงบประมาณที่ได้กำหนดในการวิเคราะห์นั้น เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากต่อลักษณะของแผนงานที่ได้ โดยส่งผลให้แนวทางการบำรุงรักษาเปลี่ยนแปลงไป นับเป็นเกณฑ์การพิจารณาที่ควรมีการคำนึงถึงและเป็นจุดที่ได้พัฒนาขึ้นจากแนวการพิจารณาวางแผนงานบำรุงทางเดิม

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้ทดสอบเพื่อทราบถึงความเป็นไปได้และข้อจำกัดในการนำไปใช้งานของแบบจำลองที่ได้วิเคราะห์ขึ้น ซึ่งการทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลองของการเปลี่ยนแปลงค่าสมมติฐาน 2 ค่า คือ อัตราผลตอบแทนต่ำสุดในการพิจารณาโครงการ และค่าอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจร พบว่าค่าผลประโยชน์รวมจะแปรผันตามค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด และแปรผกผันกับค่าอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร คือ มีแนวโน้มในทางเพิ่มขึ้นประมาณ 106% สำหรับการซ่อมบำรุงปกติ 21% ในงานฉาบผิวทาง 13% งานเสริมผิวทาง และ 6% สำหรับงานบูรณะผิวทาง เมื่อค่าอัตราผลตอบแทนในการพิจารณามีค่าสูงขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ แต่จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าอัตราการเติบโตของปริมาณการจราจรมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าผลประโยชน์รวมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่ระดับเดียวกันของค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด โดยทุก ๆ 1% ของการเพิ่มของอัตราการเติบโตของปริมาณจราจร ค่าผลประโยชน์รวมจะลดลงประมาณ 117% 23% 15% และ 7% สำหรับค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุงแบบบำรุงปกติ งานฉาบผิวทาง งานเสริมผิวทาง และงานบูรณะตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าสมมติฐานทั้งสองนี้ ไม่ส่งผลการเปลี่ยนแปลงการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงในภาพรวมของแผน

งานบำรุงรักษาทาง ส่วนการทดสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ของแบบจำลองนั้น จากการทดสอบทั้ง 3 แบบได้แก่ การเปรียบเทียบกับผลจากระบบ TPMS เปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี และกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องไปในทางเดียวกันในภาพรวม แต่มีความแตกต่างเกิดขึ้นกับวิธีการซ่อมบำรุงที่เลือกในบางกรณีและเมื่อมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ในด้านการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองได้เลือกแผนการซ่อมบำรุงจากชุดสายทางที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเป็นแผนงานในลักษณะเดียวกัน นับว่าแบบจำลองเพื่อการวางแผนงานบำรุงรักษาที่ได้วิเคราะห์ขึ้นนี้สามารถนำไปใช้งานวิเคราะห์แผนงานได้ โดยมีความถูกต้องและสอดคล้องกับนโยบายการวางแผนบำรุงรักษาทางในปัจจุบันในระดับหนึ่ง

วิธีการวางแผนงานจากแบบจำลองในงานวิจัยนี้ ได้อาศัยค่าองค์ประกอบจากแบบจำลองที่ได้วิเคราะห์ขึ้นเพื่อการใช้งานในประเทศไทย และใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลที่กรมทางหลวงมีอยู่ปัจจุบันเป็นหลัก โดยใช้วิธีในการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาเป็นวิธีการซ่อมบำรุงสำหรับสายทางที่พิจารณา และได้ปรับปรุงข้อจำกัดในการวิเคราะห์แผนงานเดิมในปัจจุบัน ด้วยการพิจารณาแผนงานได้ในระยะเวลาปีต่อปีหรือต่อเนื่องหลายปี รวมถึงการพิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ โดยสามารถปรับปรุงค่าสมมติฐานตลอดจนปรับปรุงหรือเพิ่มเติมแบบจำลององค์ประกอบเพื่อให้ค่าตัวเลขในการพิจารณามีความถูกต้องมากขึ้นได้ ซึ่งแนวคิดและรูปแบบของสมการจากแบบจำลองที่วิเคราะห์ขึ้นนี้ สามารถนำไปปรับปรุงขยายผลเพื่อการนำไปใช้จริงกับงานวางแผนบำรุงรักษาทางของประเทศไทยได้ต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยในครั้งนี้ยังคงมีข้อจำกัดในหลายด้านอันเนื่องมาจากองค์ประกอบของแบบจำลองและความครอบคลุมของสมมติฐานในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งประการแรกมาจากการที่สมมติฐานในการทำนายสภาพของผิวทางหลังจากการซ่อมบำรุงแบบต่าง ๆ ยังขาดการวิเคราะห์ถึงสภาพผิวทางจากการซ่อมบำรุงโดยวิธีการอื่น ๆ เช่น การปรับระดับผิวทาง (Leveling) การบูรณะผิวทาง รวมถึงวิธีการซ่อมบำรุงใหม่ ๆ ที่ได้มีการพัฒนาขึ้น อีกทั้งแบบจำลองเพื่อการทำนายค่าสภาพผิวทาง และการทำนายค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางและค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงนั้นเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลย้อนหลังที่ยังไม่นานเพียงพอ ทำให้การวิเคราะห์แผนงานล่วงหน้าในปีอนาคตหลายปีจึงอาจให้ค่าจากการคำนวณคลาดเคลื่อนได้มาก จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองดังกล่าวในทุกระยะ รวมถึงการปรับปรุงเพื่อให้ครอบคลุมถึงวิธีการซ่อมบำรุงทุกประเภทสำหรับสายทาง เพื่อให้เกิดความถูกต้องของข้อมูล

ประกอบสำหรับแบบจำลองในการวางแผนงาน ซึ่งแบบจำลององค์ประกอบที่สามารถทำนายค่าในอนาคตได้ในระยะยาวขึ้นก็จะช่วยให้แบบจำลองสามารถวิเคราะห์แผนงานที่มีช่วงระยะเวลาในการพิจารณาได้นานมากขึ้นด้วย

ประการที่สอง ควรมีการพัฒนาการเก็บข้อมูลและดัชนีซึ่งบ่งบอกถึงสภาพความเสียหายที่แท้จริงของสายทางและมีความสัมพันธ์กับค่า IRI ได้ เนื่องจากค่า IRI เป็นดัชนีที่แสดงถึงสภาพการบริการของสายทาง (Serviceability) ได้ดี แต่มีข้อด้อยในการสะท้อนค่าความเสียหายทางด้านโครงสร้าง การใช้ค่าดัชนี IRI เพียงอย่างเดียวในการบ่งบอกสภาพผิวทางจึงอาจไม่เพียงพอในการพิจารณาเลือกวิธีการซ่อมบำรุงทาง การวัดผลประโยชน์ได้จากการพิจารณาทั้งความเสียหายในด้านโครงสร้างและการบริการจะสามารถทำให้การตัดสินเลือกวิธีการซ่อมบำรุงมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ควรมีการพัฒนาแนวทางการวัดค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ของการซ่อมบำรุงทางที่ครอบคลุมถึงค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางที่เสียไปในเวลาระหว่างการซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายในแง่ของความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม ซึ่งยากต่อการวัดออกมาเป็นค่าเงินได้ นอกจากนี้ควรมีการพิจารณาถึงการพัฒนาค่า IRI ในช่วงเวลาระหว่างเวลาที่เก็บข้อมูลเสร็จจนกระทั่งเวลาที่ทำการวิเคราะห์ ตลอดจนควรทำการจัดแบ่งระดับคุณภาพของทางเพื่อดูการพัฒนาค่าสภาพผิวทาง เพื่อทำให้การทำนายการเสื่อมสภาพผิวทางของผิวทางทำได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ประการที่สาม ในการประยุกต์แบบจำลองจากงานวิจัยนี้ไปใช้งานจริง ต้องอาศัยการออกแบบระบบฐานข้อมูลและมีโปรแกรมการคำนวณที่สามารถรองรับการคำนวณตามวิธีแก้ปัญหาสมการของแบบจำลองที่เกิดจากข้อมูลของสายทางจำนวนมากได้ เนื่องจากจำนวนของกรณีในการวิเคราะห์จะทวีคูณขึ้นอย่างมากเมื่อจำนวนของสายทางหรือจำนวนปีในการพิจารณามากขึ้น ซึ่งการพัฒนาโปรแกรมการคำนวณและระบบการจัดเก็บข้อมูลจะมีบทบาทสำคัญอย่างมากในทางปฏิบัติ วิธีที่เหมาะสมเช่น วิธี Dynamic Chain Continuous จะสามารถช่วยลดขั้นตอนและจำนวนตัวแปรที่ต้องคำนวณลงได้มาก

ประการที่สี่ รูปแบบของผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองในงานวิจัยนี้ เป็นคำตอบแบบชี้เฉพาะว่าควรซ่อมบำรุงกับสายทางใดโดยวิธีใด ซึ่งการพัฒนาแบบจำลององค์ประกอบให้สามารถวิเคราะห์ในลักษณะที่บอกถึงสัดส่วนความเป็นไปได้ของโอกาสที่จะเกิดความเสียหายของผิวทางและการซ่อมบำรุงแต่ละกรณีได้ แผนงานซ่อมบำรุงที่ได้จากการวิเคราะห์จะสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการพิจารณาจัดสรรงบประมาณและเลือกวิธีการซ่อมบำรุงได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองในงานวิจัยนี้ อ้างอิงมาจากเกณฑ์และแนวทางปฏิบัติของกรมทางหลวง รวมถึงใช้ลักษณะของฐานข้อมูลปัจจุบันของกรมทางหลวงเป็นหลัก ทำให้แบบจำลองที่วิเคราะห์ขึ้นนี้มีความเหมาะสมในการใช้กับสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงเท่านั้น แต่อย่างไรก็ดี แนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองนี้ก็สามารถนำไปใช้กับสายทางในความรับผิดชอบของหน่วยงานอื่น และระบบโครงสร้างพื้นฐานอื่นได้ เช่น ถนนคอนกรีต สะพาน อุโมงค์ หรือทางรถไฟ โดยจำเป็นต้องมีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการทำนายค่าองค์ประกอบเพื่อมาประยุกต์ใช้งานกับแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษา และประยุกต์เอาแนวทางการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองในงานวิจัยนี้มาใช้กับวิธีการวัดผลของระบบโครงสร้างพื้นฐานเหล่านั้นได้

นอกจากนี้การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางสำหรับระบบสายทางยังคงมีแนวทางและวิธีในการพิจารณาอีกหลากหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับระบบการบริหารงานบำรุงรักษาผิวทางในประเทศไทย เช่น การพิจารณาโดยวิธี Simulation ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ในงานบำรุงรักษาเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสม การใช้ระบบปัญญาเทียม (Neural Network) ในการเลือกแผนงานซ่อมบำรุง หรือ อาจใช้แบบจำลองที่มีสมการจุดประสงค์ในลักษณะอื่นซึ่งสามารถสะท้อนค่าที่เป็นปัจจัยในการเลือกการบำรุงรักษาทางได้ดี มาเป็นแบบจำลองเพื่อช่วยในการตัดสินใจการบริหารงานบำรุงรักษา และอาจมีเทคนิคที่ช่วยในการวางแผนงานที่ดีขึ้นอีกในอนาคตซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการบริหารงานโครงสร้างพื้นฐานสำหรับประเทศไทยได้ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กชกร โง้วศิริ. 2542. การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์โดยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมทางหลวง. 2531. ระบบการบริหารจัดการงานบำรุงทางและคู่มือระบบ BSM. กรุงเทพมหานคร: กองบำรุง.

กรมทางหลวง. 2535. หลักเกณฑ์การคิดราคาประเมินค่างานฉาบผิวทางลาดยางโดยวิธี Slurry Seal. กรุงเทพมหานคร. กองบำรุง.

กรมทางหลวง. 2542. มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักสำรวจและออกแบบ.

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

เทียนโชติ จงพีร์เพียร และ สุรชัย ศรีเลณวัติ. 2543. บทความเรื่องระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวง, กองบำรุง กรมทางหลวง. หน้า 1-12.

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

วิศณุ ทรัพย์สมพล และคณะ. 2545. ผลของการฉาบผิวต่อสภาพของผิวทาง: กรณีศึกษาในประเทศไทย. วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 13 ฉบับที่ 2

สราวุธ ทรงศิวิไล. 2542. เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง งานบำรุงรักษาทาง. กรมทางหลวง: กองบำรุง.

สำนักดัชนีและเศรษฐกิจการค้า. 2538 - 2542. ดัชนีราคาผู้ผลิตของประเทศตามกิจกรรมการผลิตและผู้บริโภคทั่วไป. กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์.

ภาษาอังกฤษ

Bruce Hutchinson, Fred P.Nix, Ralph Haas, 1994. Optimality of Highway Pavement Strategies in Canada, Transportation Research Record 1455. TRB, National Research Council, Washington D.C.

Department of Highway.1998. Thailand Road User Effect Model. Bangkok.

Department of Highway. 1992. Road Maintenance Project, Thailand. Asian Development Bank.

Essam A. Sharaf, Eric Reichelt, Mahamed Y. Shahin, and Kumares C. Sinha, 1991. Development of a methodology to estimate pavement maintenance and repair costs for different ranges of pavement condition index, Transportation Research Record 1123, TRB, National Research Council, Washington D.C.,

Jean Marie Lantran, Jacques Baillon and Jean-Marc Pages. 1994. Road Maintenance and the environment. The World Bank, The Economic Commission for Africa and the Sahelian Operations Review Sub-Saharan Africa Transport Program.

John Collura, Gary Spring, and Kenneth B. Black, 1993. Service lives and costs of local highway maintenance and rehabilitation treatments, Transportation Research Record 1397, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Jyh – Cherng Jong and Paul Schonfeld, 1999. Cost functions for Optimizing Highway alignments, Transportation Research Record 1659, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Kelvin C.P. Wang, John Zanieski et al., 1994. Analysis of Arizona Department of Transportation's New Pavement Network Optimization System, Transportation Research Record 1455, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Michael J. Markow , Samer M. Madanat ,Dmitry I. Grurenich , 1993. Optimal rehabilitation times for concrete bridge decks ,Transportation research record 1392, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Ningyuan Li, Michel Huot, Ralph Hass, 1997. Cost-effectiveness-based priority programming of standardized pavement maintenance, Transportation Research Record 1592, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Paterson, William D.O., 1987. Road Deterioration and Maintenance Effects Model for Planning and Management published for The World Bank, The Johns Hopkins University Press, Baltimore and Lodon.

Stephen G. Nash and Ariela Sofer, 1996. Linear and Nonlinear Programming, International Edition, The McGraw-Hil Companies, Inc.

Venkatesh Ravirala, et al., 1997. Goal - Oriented Optimization Procedure for Long - Term Highway Investment Planning, Transportation Research Record 1592,TRB, National Research Council, Washington D.C.

Vera Mijuskovic, et al., 1994. Impact of Different Economic Criteria on Priority in Pavement Management System, Transportation Research Record 1455, TRB, National Research Council, Washington D.C.

William V.Harper, Kamran Majidzadeh, 1991. Optimization enhancements for an integrated bridge management system , Transportation Research Record 1304, TRB, National Research Council, Washington D.C.

W. Ronald Hudson, Ralph Hass, Waheed Uddin, 1997.Infrastructure Management, The McGraw-Hil Companies, Inc.

Xin Chen, et al., 1995. Development of New Network Optimization Model for Oklahoma Department of Transportation, Transportation Research Record 1524,TRB, National Research Council, Washington D.C.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองที่ใช้หาค่าองค์ประกอบการวิเคราะห์ในแผนงานบำรุงรักษา

ในการวิเคราะห์เพื่อการวางแผนงานบำรุงรักษาทาง ลำพังการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการหาแผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยค่าจากการทำนายโดยแบบจำลองอื่น ๆ ด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงแบบจำลองเกี่ยวกับสภาพทาง และค่าใช้จ่าย ที่ได้มีการศึกษาจากสภาพการใช้งานจริงในประเทศไทย ดังนี้

- **แบบจำลองทำนายสภาพผิวทาง** (Deterioration Model)

ได้อ้างอิงจากแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางจากงานวิจัยของ วิศณุและคณะ (2543) ซึ่งเป็น Empirical Model ที่พิจารณาโดยวิธีการศึกษาจากข้อมูลการใช้งานจริง (Deterioration In-service) และวิเคราะห์โดยวิธีสมการถดถอยเชิงซ้อน เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม คือ ดัชนีความเรียบของผิวทาง (IRI) กับกลุ่มตัวแปรอิสระ ซึ่งได้แก่ ปัจจัยสภาพแวดล้อม ลักษณะของผิวทาง ประวัติการซ่อมบำรุง และลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้น ผลที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นสภาพของผิวทางที่ปีใด ๆ หลังจากการก่อสร้างหรือหลังการซ่อมบำรุงใหญ่ โดยมีสมมติฐานว่าสภาพผิวทางหลังจากการซ่อมบำรุงโดยวิธี Overlay จะทำให้สภาพความเรียบของผิวทางหลังการซ่อมกลับไปอยู่ในสภาพที่ดีใกล้เคียงกันเสมอ โดยได้ผลสรุปว่าลักษณะความสัมพันธ์ของแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดเป็นฟังก์ชั่น Exponential โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ระหว่าง 0.6 – 0.8 ลักษณะของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังสมการที่ ก.1

$$IRI = a * e^{(b_1*AGE) + (b_2*AVG.AADT) + (b_3*\%HV)} \qquad (ก.1)$$

โดยที่

IRI	=	ค่าดัชนีความเรียบสากลของผิวทางช่วงที่พิจารณา(ม./กม.)
a, b_1, b_2, b_3	=	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ
AGE	=	อายุ (ปี) นับจากการ Overlay
AVG.AADT	=	ปริมาณการจราจรเฉลี่ย (คัน/วัน – 2 ช่องจราจร)
%HV	=	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก (เปอร์เซ็นต์)

แบบจำลองนี้ ได้กำหนดลักษณะของภูมิประเทศที่นำมาวิเคราะห์ เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ โดยกำหนดจากลักษณะความลาดชันของพื้นที่ (% Gradient) แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ (Gradient 0-3%) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน (Gradient 3-5%) และลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง (Gradient >5%) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1: ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง	ความลาดชันของภูมิประเทศ							
	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
Adjusted R^2	0.641		0.694		0.728		0.568	

จากค่าผลการวิเคราะห์ค่า Beta ดังตารางที่ 3.6 พบว่า ปัจจัยจากอายุการใช้งานของผิวทางหลังจากการเสริมหรือบูรณะผิวทางมีผลต่อสภาพความเสียหายสูงที่สุด รองลงมาเป็นปัจจัยจากปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน และสัดส่วนของรถหนักตามลำดับ

นอกจากนี้เพื่อให้การบ่งบอกสภาพผิวทางครอบคลุมถึงการบำรุงรักษาประเภทอื่นด้วย จึงได้ใช้ผลของการฉาบผิวต่อสภาพของผิวทางจากแบบจำลองของ วิศณุและคณะ (2544) ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ลักษณะของสภาพของผิวทางเมื่อมีการซ่อมบำรุงโดยวิธีฉาบผิวที่เวลาใด ๆ หลังการก่อสร้างทางหรือการบูรณะผิวทาง แบบจำลองและค่าของตัวแปรมีลักษณะทั่วไปดังสมการที่ ก.2

$$\Delta IRI = a + (b_1 * IRI_0) + (b_2 * AVE.AADT) + (b_3 * \%HV) \qquad (ก.2)$$

โดยที่

ΔIRI = ค่าความแตกต่างที่ได้จากการนำค่า IRI ในปีหลังจากการทำฉาบผิว 1 ปี ลบกับค่า IRI ในปีที่มีการทำฉาบผิว (IRI_0)

a, b_1, b_2, b_3, b_4 = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง

IRI_0 = ค่าดัชนีความเรียบสากลของผิวทางช่วงที่พิจารณาในปีที่มีการฉาบผิว

AGE = อายุ (ปี) นับจากการ Overlay

AVE.AADT = ปริมาณการจราจรเฉลี่ย (คัน/วัน – 2 ช่องจราจร)

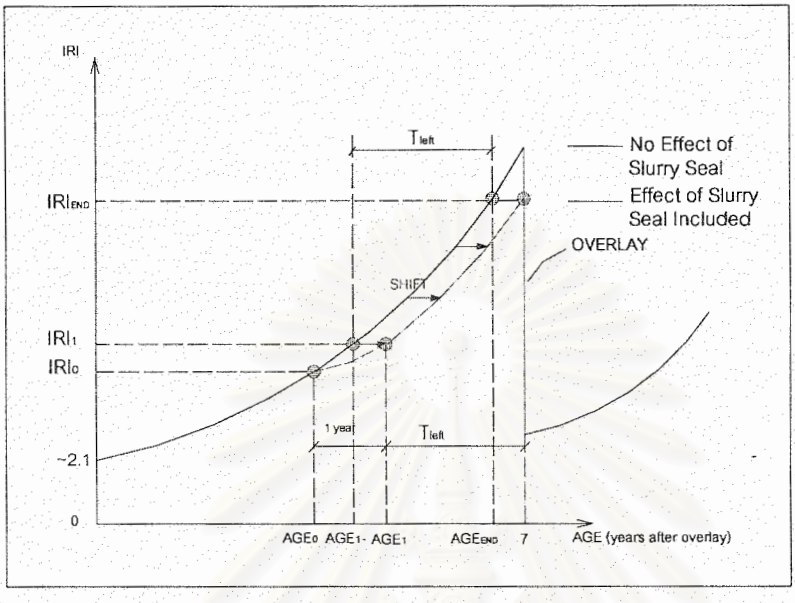
%HV = ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก (เปอร์เซ็นต์)

แบบจำลองนี้ ได้กำหนดลักษณะของภูมิประเทศที่นำมาวิเคราะห์ เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ โดยกำหนดลักษณะความลาดชันของพื้นที่เป็น 3 กลุ่มเช่นกัน ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ (Gradient 0-3%) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน (Gradient 3-5%) และลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง (Gradient >5%) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ ก-2

ตารางที่ ก-2: ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองที่ 3.2 สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง	ความลาดชันของภูมิประเทศ							
	0-3%		3-5%		>5%		เฉลี่ย	
	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta	Coefficient	Beta
a ($\times 10^{-2}$)	-9.950	-	-12.200	-	-13.400	-	-7.220	-
b_1($\times 10^{-2}$)	4.574	0.716	5.440	0.745	6.537	0.752	4.841	0.639
b_2($\times 10^{-6}$)	3.426	0.327	6.601	0.341	12.920	0.259	3.291	0.228
b_3($\times 10^{-3}$)	1.043	0.106	1.703	0.165	3.690	0.249	0.506	0.045
Adjusted R^2	0.640		0.534		0.492		0.441	

ผลที่ได้จากแบบจำลองนี้จะเป็นค่า ΔIRI โดยที่ค่า ΔIRI นี้ จะบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพความเสียหายของผิวทาง ในปีหลังจากการทำฉาบผิว 1 ปีเมื่อเทียบกับค่าดัชนีสภาพผิวทางเดิม (IRI_0) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยจากค่าดัชนี IRI ในช่วงที่มีการฉาบผิวทาง มีผลต่อสภาพความเสียหายสูงที่สุด รองลงมาเป็นปัจจัยจากปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน และสัดส่วนของรถหนักตามลำดับ โดยการนำค่าจากแบบจำลองไปใช้จะมีลักษณะในการพิจารณาดังรูปที่ ก-1



ภาพที่ ก-1: การนำค่าจากแบบจำลองผลกระทบจากการทำฉาบผิวมาใช้

จากรูปที่ ก-1 การใช้งานค่า ΔIRI จะเหมือนกับการต่อเส้นความสัมพันธ์จากกราฟการเสื่อมสภาพของผิวทางเดิมในจุดที่มีการฉาบผิว IRI_0 ด้วยเส้นตรงที่แทนค่า ΔIRI ในช่วง 1 ปีต่อมา แล้วจึงต่อกลับด้วยกราฟของ Deterioration model เช่นเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการยืดอายุการใช้งานของผิวทางจากการซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิวได้ ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองในการทำนายสภาพผิวทางทั้งสองมาใช้ร่วมกันจึงสามารถนำมาใช้เพื่อทำนายสภาพผิวทางที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน และวิธีการซ่อมบำรุงโดยกรมทางหลวงได้ดียิ่งขึ้น

ทั้งนี้ สำหรับค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ย (AADT) ที่ใช้ในการคำนวณในงานวิจัยนี้ จะใช้ค่า Passenger Car Unit (PCU) ซึ่งเป็นค่าหน่วยนับของยานพาหนะเมื่อเทียบกับรถยนต์นั่ง เนื่องจากรถแต่ละชนิดที่วิ่งอยู่บนผิวทางจะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป โดยค่า PCU นี้จะมีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะการจราจร ความลาดชันและระยะทางของความลาดชัน สัดส่วนของรถบรรทุกในการจราจรรวมทั้งสภาพถนน ซึ่งรถแต่ละชนิดจะมีค่าเทียบเท่าในหน่วยของ PCU ดังตารางที่ ก-3

ตารางที่ ก-3: ค่าเทียบเท่าของ PCU ของรถประเภทต่าง ๆ

ประเภทรถ	ค่าเทียบเท่า PCU
รถยนต์นั่ง	1.0
รถโดยสารขนาดเล็ก	1.5
รถโดยสารขนาดใหญ่	2.0
รถบรรทุกขนาดเล็ก	1.5
รถบรรทุกขนาดกลาง	2.0
รถบรรทุกขนาดใหญ่	2.0

ที่มา : กรมทางหลวง (2538)

- **แบบจำลองค่าใช้จ่าย** (Cost Model)

ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องการพิจารณาแผนงานบำรุงรักษานั้น งานวิจัยนี้ได้อ้างอิงข้อมูลจากรายงานวิจัยเรื่อง "การกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลท์โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนน" ของ กชกร (2543) ซึ่งได้วิเคราะห์แบบจำลองเพื่อทำนายแนวโน้มและค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน โดยแบ่งค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาออกเป็น ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา และค่าใช้จ่ายงานบูรณะ ส่วนค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนได้ใช้การพิจารณาจากดัชนีต้นทุนผู้ใช้ถนน (Road User Cost Index: RUC) ซึ่งมีที่มาจากการพิจารณาค่าใช้จ่าย 2 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการใช้รถ และค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษา (Maintenance cost)

ได้แบ่งตามวิธีของงานซ่อมบำรุงหลักของกรมทางหลวง 3 วิธี คือ งานซ่อมบำรุงปกติ งานเสริมผิวทาง และงานบูรณะ โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (Routine Maintenance Cost)

โดยที่ RMC คือค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ เป็น บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร จะได้แบบจำลองแสดงค่าใช้จ่าย คือ

$$RMC = 5{,}125 \times K_m \left(Age^{0.234} \times AADT^{0.15} \right) \qquad (ก.3)$$

ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance Cost)

โดยที่ OLC คือค่าใช้จ่ายงานบำรุงแบบเสริมผิวทาง (Asphaltic Overlay) เป็น บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร จะได้แบบจำลองแสดงค่าใช้จ่าย คือ

$$OLC = 392,401 + 158,958\ Fuel + 391,605\ Asph + 107,374\ Equip \quad (ก.4)$$

ค่าใช้จ่ายงานบูรณะ (Rehabilitation Cost)

โดยที่ RHC คือค่าใช้จ่ายงานบูรณะ เป็น บาทต่อกิโลเมตรต่อความกว้างช่องจราจร 7 เมตร จะได้แบบจำลองแสดงค่าใช้จ่าย คือ

$$RHC = 1,251,279 + 592,828\ Ashp + 173,398\ Fuel + 145,707\ Equip + 76,270\ M - 442,510\ K_m \quad (ก.5)$$

โดยที่

Age = อายุ (ปี) นับจากการ Overlay ครั้งหลังสุด

AADT = ปริมาณการจราจร (คัน / วัน ต่อความกว้าง 7 เมตร)

Ashp = ดัชนีราคา Asphalt

Fuel = ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

Equip = ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง

M = ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง ไม่รวมเหล็กและซีเมนต์

K_m = ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง

เพื่อให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต สำหรับการวางแผนงานล่วงหน้าได้ จึงต้องมีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อการทำนายแนวโน้มของดัชนีราคาต่าง ๆ ซึ่งได้มีการพัฒนาแบบจำลองและสามารถทำนายค่าดัชนีต่าง ๆ โดยใช้ค่าในปีฐานคือ ปี พ.ศ. 2542 ได้ดังนี้คือ

$$Ashp = 0.9554 + 0.0248\ Year \quad (ก.6)$$

$$Fuel = 1.4651 + 0.0412\ Year \quad (ก.7)$$

$$Equip = 1.4630 + 0.0339\ Year \quad (ก.8)$$

$$M = 1.8499 + 0.0610\ Year \quad (ก.9)$$

$$K_m = 1.0294 + 0.0042\ Year \quad (ก.10)$$

โดยที่

Year = ระยะเวลาจากการก่อสร้างถนนแล้วเสร็จและเริ่มเปิดใช้บริการ (ปี) โดยให้มีค่าเท่ากับศูนย์ปีที่เริ่มต้นทำการวิเคราะห์

เมื่อนำค่าดัชนีจากสมการที่ ก.6 ถึง ก.10 แทนลงในสมการค่าใช้จ่ายงานบำรุง ก็จะได้แบบจำลองที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงแต่ละแบบกับเวลาและปัจจัยในการใช้งานของถนน ซึ่งทำให้เป็นแบบจำลองที่สามารถคาดการณ์แนวโน้มของค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ ดังนี้

$$RMC = (5{,}276 + 21.5\ Year)(Age^{0.234} \cdot AADT^{0.150}) \quad (ก.11)$$

$$OLC = 1{,}156{,}517 + 19{,}901\ Year \quad (ก.12)$$

$$RHC = 1{,}970{,}453 + 29{,}578\ Year \quad (ก.13)$$

ค่าใช้จ่ายงานบำรุงรักษาที่ได้มีการวิเคราะห์เหล่านี้ยังไม่รวมถึงวิธีการซ่อมบำรุงผิวทางแบบ Seal coating ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องมีการวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของราคาค่าซ่อมโดยวิธีฉาบผิว กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถทำนายแนวโน้มของราคางานฉาบผิวในการวางแผนงานซ่อมบำรุงได้ต่อไป

แบบจำลองเพื่อการทำนายค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิวทาง

ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า ค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาที่ได้อ้างอิงมาใช้ในงานวิจัยนี้นั้น ยังไม่รวมถึงค่าใช้จ่ายจากวิธีการซ่อมบำรุงผิวทางแบบฉาบผิว (Seal Coating) ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งของวิธีซ่อมในการวิเคราะห์หาแผนงานซ่อมบำรุง ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของราคาค่าซ่อมโดยวิธีฉาบผิว กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถทำนายแนวโน้มของราคางานฉาบผิวในการวางแผนงานซ่อมบำรุงได้

โดยการศึกษานี้ ได้อ้างอิงกระบวนการพัฒนาแบบจำลอง และลักษณะของแบบจำลอง จากงานวิจัยของ กชกร (2543) เพื่อให้ปรับใช้กับแบบจำลองในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายได้ง่าย โดยรายละเอียดในการวิเคราะห์หาแบบจำลอง และแนวคิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

ผลสรุปจากการวิเคราะห์ จะได้แบบจำลองเพื่อการคิดค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิวทาง ดังในสมการที่ ก.14 คือ

$$SCC = 190{,}723 + 76.6\ Fuel + 88.5\ Cement \qquad (ก.14)$$

เมื่อ SCC = ค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง (บาทต่อ กม.ต่อความกว้างผิวจราจร 7 ม.)

Fuel = ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

Cement = ดัชนีราคาปูนซีเมนต์

โดยมีค่าสถิติของการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในสมการดังตารางที่ 3.9 ซึ่งเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่เป็นปัจจัย เพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่างานฉาบผิวทางอย่างมีนัยสำคัญ โดยเรียงตามลำดับได้แก่ ดัชนีราคาปูนซีเมนต์ และดัชนีราคาน้ำมันดีเซล ซึ่งผลการวิเคราะห์แบบจำลองได้ค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.951 และมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานประมาณ 1,030 บาทต่อกิโลเมตร

ตารางที่ ก-4: การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทางกับดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนโดยวิธี Backward

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Adjusted R Square	Std. Error of Estimate
	B	Std. Error	Beta				
(Constant)	190723.158	1949.053		97.854	.000		
ดัชนีราคาน้ำมันดีเซล	76.637	19.208	.495	3.990	.010	.951	1033.124
ดัชนีราคาปูนซีเมนต์	88.527	19.708	.558	4.492	.006		

Dependent Variable: ราคางานฉาบผิว (บาทต่อกิโลเมตร)

และเมื่อปรับปรุงแบบจำลองให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทางกับระยะเวลา เพื่อให้สามารถทำนายแนวโน้มของราคางานในอนาคตได้ จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.15 คือ

$$SCC = 215{,}747.24 + 951.17\ Year \qquad (ก.15)$$

เมื่อ SCC = ราคางานซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิว (บาท ต่อ กม. ต่อความกว้าง 7 ม.)

Year = ระยะเวลานับจากปี 2542 โดยที่เริ่มนับปีถัดไปได้เป็น 1,2,3, ... ,n

ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน (Road User Cost: RUC)

ได้อ้างอิงการคิดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจากการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนแบ่งตามประเภทยานพาหนะ โดย กชกร (2544) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาแบบจำลองมาตรฐานสำหรับใช้ในการกำหนดแนวโน้มของต้นทุนที่จะเกิดขึ้นกับผู้ใช้ถนน ซึ่งค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจะมีการพิจารณาจากค่าใช้จ่าย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการใช้รถ และค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ดังสามารถแสดงได้ต่อไปนี้

ค่าใช้จ่ายการใช้รถ (Vehicle Operating Cost, VOC)

อ้างอิงจากแบบจำลองค่าใช้จ่ายจากการใช้รถจาก THAI-RUE (THAI-RUE, 1999) ซึ่งได้จากการปรับปรุงจากโมเดล HDM-III ของธนาคารโลกเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศไทย แบบจำลองจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความเสียหายของผิวทางกับอัตราการบริโภคทรัพยากรของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ เช่น อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น ยางรถ อะไหล่รถ เป็นต้น และเมื่อนำอัตราการสิ้นเปลืองมาคูณกับราคาต่อหน่วยของทรัพยากร ก็จะได้ค่าใช้จ่ายต่อกิโลเมตรของยานพาหนะแต่ละประเภท แบบจำลองดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ ก.16

$$VOC = (FUEL \cdot \text{Fuel Cost}) + (OIL \cdot \text{Oil Cost}) + (TYRE \cdot \text{Tyre Cost}) + (\text{Maint} \cdot \text{Vehicle Cost} / 1000) + (LH \cdot \text{Labor Cost} / 1000) + DEPCST + INTCST + \text{Crew Cost} \quad \text{(ก.16)}$$

เมื่อ

VOC = ค่าใช้จ่ายการใช้รถแต่ละคัน (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

FUEL = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่อคัน (ลิตรต่อกิโลเมตรต่อคัน)

Fuel Cost = ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันเชื้อเพลิง (บาทต่อลิตร)

OIL = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น (ลิตรต่อกิโลเมตรต่อคัน)

Oil Cost = ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น (บาทต่อลิตร)

TYRE = อัตราการสิ้นเปลืองยางรถ (เส้นต่อกิโลเมตรต่อคัน)

Tyre Cost = ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของยางรถ (บาทต่อเส้น)

Maint = อัตราการสิ้นเปลืองอะไหล่รถต่อ 1,000 กิโลเมตร โดยคิดเป็นสัดส่วนของราคาเฉลี่ยยานพาหนะใหม่

Vehicle Cost = ราคาเฉลี่ยทางเศรษฐศาสตร์ของยานพาหนะใหม่ (บาทต่อคัน)

LH = อัตราการสิ้นเปลืองค่าแรงซ่อมบำรุงรถต่อ 1,000 กิโลเมตร โดยคิดเป็นจำนวนชั่วโมงของช่างซ่อม (ชั่วโมงต่อ 1,000 กม. ต่อคัน)

Labor Cost = อัตราค่าแรงทางเศรษฐศาสตร์ของช่างซ่อมบำรุงรถ (บาทต่อชั่วโมง)

DEPCST = ค่าเสื่อมราคายานพาหนะ (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

INTCST = ค่าดอกเบี้ยยานพาหนะ (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

Crew Cost = ค่าใช้จ่ายพนักงานประจำรถ (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

ค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง (Time Travel Cost, TTC)

ได้พิจารณาจากสมมติฐานว่า สภาพความเสียหายของผิวทางที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละประเภทลดลงและใช้เวลาในการเดินทางนานขึ้น จึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความเสียหายของผิวทางกับค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ซึ่งจะคำนวณจากความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภทในสภาพความเสียหายต่าง ๆ เพื่อให้ทราบระยะเวลาที่สูญเสียไปในการเดินทาง

รูปแบบสมการของ THAI-RUE สำหรับคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทาง คือ

$$TTC = \frac{PAX}{V_{ss}} \bullet UPT_C \qquad \text{(ก.17)}$$

เมื่อ

TTC = ค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง ในรูปของค่าเสียเวลาในการเดินทางตามประเภทยานพาหนะ (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

PAX = จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยแยกตามประเทยานพาหนะ (คนต่อคัน)

V_{ss} = ค่าแรงเฉลี่ยของผู้โดยสารสำหรับยานพาหนะแต่ละประเภท (บาทต่อชั่วโมงต่อคน)

UPT_C = ความเร็วดุลยภาพ Steady State Speed (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

จะเห็นได้ว่า การคิดค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน มีรายละเอียดมากและประกอบไปด้วยตัวแปรหลายตัว เพื่อลดขั้นตอนและความยุ่งยากในการคำนวณ จึงอาศัยการคิดค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจากงานวิจัยของ กชกร (2543) โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน กับดัชนีความเรียบสากล (IRI)

โดยวิธีวิเคราะห์สมการถดถอย ซึ่งได้ชุดของสมการทำนายค่าใช้จ่ายและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ ก.18 ถึง ก.23

Passenger car:

$$RUC_{PC} = 0.0284\ IRI^2 + 0.186\ IRI + 3.3215 \qquad R^2 = 0.957 \qquad (ก.18)$$

Light truck:

$$RUC_{LT} = 0.0201\ IRI^2 + 0.1585\ IRI + 2.4446 \qquad R^2 = 0.962 \qquad (ก.19)$$

Medium truck:

$$RUC_{MT} = 0.0055\ IRI^2 + 0.4698\ IRI + 4.0503 \qquad R^2 = 0.999 \qquad (ก.20)$$

Heavy truck:

$$RUC_{HT} = 0.0068\ IRI^2 + 0.4924\ IRI + 6.8310 \qquad R^2 = 0.999 \qquad (ก.21)$$

Light bus:

$$RUC_{LB} = 0.0324\ IRI^2 + 0.1601\ IRI + 4.3524 \qquad R^2 = 0.972 \qquad (ก.22)$$

Heavy bus:

$$RUC_{HB} = 0.0919\ IRI^2 + 0.3856\ IRI + 20.8227 \qquad R^2 = 0.998 \qquad (ก.23)$$

เมื่อ RUC = ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนอ้างอิงจากราคาในปี 2542 (บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน)

IRI = ดัชนีความเรียบสากล (เมตรต่อกิโลเมตร)

ซึ่งค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนที่ได้จากสมการที่ ก.18 ถึง ก.23 นี้ จะใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในปี 2542 และเนื่องจากแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาทางนี้ จะต้องสามารถพิจารณาทางเลือกจากค่าใช้จ่ายในปี ใด ๆ ได้ จึงต้องอาศัยการทำนายแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับภาวะเศรษฐกิจ

ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีความสัมพันธ์เป็นไปตามปัจจัยหลายอย่าง และปัจจัยเหล่านั้นก็มีการเปลี่ยนแปลงไปตามภาวะเศรษฐกิจ แต่เนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้ยากต่อการคาดเดาได้ชัดเจน การใช้ดัชนีค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนจึงเป็นการทำให้สามารถทำนายแนวโน้มของค่าใช้จ่ายในระยะยาวได้ดีในระดับหนึ่ง รูปแบบของสมการความสัมพันธ์โดยพิจารณาปีฐานที่ พ.ศ. 2542 แสดงได้ดังสมการที่ ก.24

$$RUC_T = K_{RUC,T} \times RUC_{BASE} \qquad (ก.24)$$

เมื่อ

RUC_T = ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ณ เวลาปีใด ๆ นับจากปีฐาน

$K_{RUC,T}$ = RUC index ณ เวลาปีใด ๆ นับจากปีฐาน

RUC_{BASE} = ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน ณ ปีฐาน

ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง RUC index กับระยะเวลา(ปี) โดยวิธีวิเคราะห์สมการถดถอยจะได้แบบจำลองทำนายค่า RUC index ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.942 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (SE) เท่ากับ 0.0152 คือ

$$K_{RUC,T} = 100.0 + 4.39\ Year \qquad (ก.25)$$

เมื่อ Year = จำนวนปีนับจากปีฐาน โดยกำหนดให้ปีฐาน (ปี พ.ศ. 2538) มีค่าเป็นศูนย์

เมื่อแทนค่าจากการทำนายในสมการที่ ก.25 ลงในสมการ ก.24 สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนได้ดังสมการที่ ก.26 คือ

$$RUC_T = (1.00 + 0.0439\ Year) \times RUC_{BASE} \qquad (ก.26)$$

เมื่อ Year = จำนวนปีนับจากปีฐาน โดยกำหนดให้ปีฐาน (ปี พ.ศ. 2542) มีค่าเป็นศูนย์

ซึ่งแบบจำลองเหล่านี้ จะถูกนำไปใช้ในการหาค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนเพื่อการวิเคราะห์ในแบบจำลองการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองการคิดค่าใช้จ่ายงานบำรุงรักษาผิวทางโดยวิธีฉาบผิว

หลักเกณฑ์การประเมินค่างานของกรมทางหลวง

ในปัจจุบันกรมทางหลวงมีหลักเกณฑ์ในการคิดราคาประเมินของงานซ่อมบำรุงโดยวิธีฉาบผิวลาดยางเดิมโดยวิธี Slurry Seal จากสมการ คือ

$$N = F_1 [5.71 + (0.0025A + 0.0145C + 1.2155X + 0.25779Y + 0.15961W + 1.85P) / 182] \quad (ข.1)$$

$$R = F_1 [6.03 + (0.0025A + 0.0145C + 1.2155X + 0.25779Y + 0.15961W + 1.85P) / 182] \quad (ข.2)$$

เมื่อ N = ค่างานในกรณีปกติ (บาทต่อ ตรม.)

R = ค่างานในกรณีฝนตกชุก (บาทต่อ ตรม.)

F_1 = F x Traffic Factor

F = Factor สำหรับประเมินราคาจ้างเหมา ตามตารางที่ ก-1

Traffic Factor = Factor ที่กำหนดไว้สำหรับปริมาณการจราจรต่าง ๆ ใช้ตามตารางที่ ก-2

A = ราคาสารผสมแอสฟัลท์ (additive) ที่กรุงเทพ บวกด้วยค่าขนส่งถึงจุดกองรวม(stock pile) ของหินย่อย ณ กึ่งกลางระยะทางที่จะทำการฉาบผิว (บาท/ตัน)

C = ราคาปูนซีเมนต์ท้องถิ่นบวกด้วยค่าขนส่งถึงจุดกองรวม (stock pile) ของหินย่อย ณ กึ่งกลางระยะทางที่จะทำการฉาบผิว (บาท/ตัน)

X = ราคาหินปากโม่ บวกด้วยค่าขนส่งถึงจุดกองรวม (stock pile) ของหินย่อย ณ กึ่งกลางระยะทางที่จะทำการฉาบผิว (บาท/ลบม.)

Y = ราคาอีมัลชั่นแอสฟัลท์ที่กรุงเทพ บวกด้วยค่าขนส่งถึงจุดกองรวม(stock pile) ของหินย่อย ณ กึ่งกลางระยะทางที่จะทำการฉาบผิว (บาท/ตัน

W = ราคาน้ำ ณ กึ่งกลางระยะทางที่จะทำการฉาบผิว (บาท/ลบม.)

P = ค่าขนส่งวัสดุผสม slurry ระหว่างทำการฉาบผิว คิดเป็นระยะทางหนึ่งในสี่ของระยะทางที่จะทำการฉาบผิว (บาท/ลบม.)

จากสูตรคำนวณข้างต้นจะเห็นได้ว่า ราคางานฉาบผิวจะแปรผันไปตามราคาของวัสดุที่ใช้ โดยมีตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อค่างานตามลำดับความสำคัญคือ ค่าขนส่งวัสดุ ค่าหินปากโม่ ค่าอีมัลชั่นแอสฟัลท์ ค่าน้ำ ค่าปูนซีเมนต์ และค่าหินปากโม่ตามลำดับ แต่เป็นการยากหากจะนำสูตรประเมินราคานี้มาใช้กับแบบจำลองในการวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายต่ำสุด เนื่องจากต้องมีการแยกพิจารณาสำหรับในทุกพื้นที่ และต้องมีการพิจารณาความยาวในการขนส่งถึงจุดกองเก็บเป็นแต่ละจุดของแต่ละสายทาง อีกทั้งยังยากต่อการนำไปทำนายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของราคางานฉาบผิวในอนาคต จึงควรมีการวิเคราะห์หาแบบจำลองสำหรับทำนายค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงทางโดยวิธีการฉาบผิว เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้กับการวิเคราะห์หาแผนงานโดยวิธีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม

ตารางที่ ข-1 : Factor สำหรับงานบำรุงทางแบบ Slurry seal

งานต้นทุนไม่เกิน (ล้านบาท)	Factor (F)		งานต้นทุนไม่เกิน (ล้านบาท)	Factor (F)	
	ปกติ	ฝนชุก		ปกติ	ฝนชุก
0.2	1.3032	1.3553	12.0	1.2723	1.3232
0.4	1.3026	1.3547	13.0	1.2697	1.3205
0.6	1.3020	1.3541	14.0	1.2671	1.3178
0.8	1.3015	1.3535	15.0	1.2644	1.3150
1.0	1.3010	1.3530	16.0	1.2618	1.3123
2.0	1.2984	1.3503	17.0	1.2592	1.3095
3.0	1.2958	1.3476	18.0	1.2566	1.3068
4.0	1.2932	1.3449	19.0	1.2540	1.3041
5.0	1.2906	1.3422	20.0	1.2514	1.3014
6.0	1.2879	1.3394	21.0	1.2488	1.2987
7.0	1.2854	1.3368	22.0	1.2462	1.2960
8.0	1.2827	1.3340	23.0	1.2436	1.2933
9.0	1.2801	1.3313	24.0	1.2409	1.2905
10.0	1.2775	1.3286	25.0	1.2383	1.2878
11.0	1.2749	1.3259			

ตารางที่ ข-2: Traffic Factor สำหรับงานบำรุงทางแบบ Slurry Seal

ค่า Traffic Factor สำหรับ Average Daily Traffic (ADT) ของทางหลวง 2 ช่องทางจราจร 2 ทิศทาง (2 Lanes 2 Directions)

ADT (คันต่อวัน)	Traffic Factor
ไม่เกิน 250	1.000
251-500	1.002
501-750	1.004
751-1,000	1.006
1,001 – 1,250	1.009
1,251 – 1,500	1.011
1,501 – 1,750	1.013
1,751 – 2,000	1.015
2,001 – 2,500	1.019
2,501 – 3,000	1.024
3,001 – 3,500	1.028
3,501 – 4,000	1.032
4,001 – 4,500	1.037
4,501 – 5,000	1.041
5,001 – 5,500	1.045
5,501 – 6,000	1.050
เกินกว่า 6,000	1.050

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความหมายและวิธีการทำ Seal Coating

การซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิวมีขั้นตอนวิธีการทำโดยเป็นการพ่นน้ำยางแอสฟัลท์ และส่วนผสมซึ่งเป็นหินขนาดเล็กและผงซีเมนต์ เป็นชั้นบาง ๆ ลงบนผิวทางที่ต้องการซ่อมบำรุง แล้วจึงบดทับเพื่อปรับระดับ และให้เกิดการอัดแน่นของเนื้อวัสดุ ซึ่งจากวิธีที่ได้กล่าวมานั้น ไม่ว่าจะทำการฉาบผิวกับความเสียหายในระดับใดที่เกิดขึ้น ก็จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในระดับมาตรฐานราคาเท่ากัน ซึ่งจากเกณฑ์การพิจารณาราคางานซ่อมบำรุงโดยการฉาบผิวของกรมทางหลวงที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าค่างานฉาบผิว จะขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญ ได้แก่ ค่าวัสดุ และค่าขนส่ง ซึ่งค่าวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อราคางานคือ ปูนซีเมนต์และหินย่อย อีมัลชั่นแอสฟัลท์ และสารผสม ส่วนค่าขนส่งจะแปรเปลี่ยนตามราคาน้ำมันเชื้อเพลิงและเครื่องจักร ดังนั้นรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวกับปัจจัยที่มีผลกระทบจึงสามารถแสดงได้ดังรูปแบบข้างล่าง โดยพิจารณาให้ราคางานเป็นราคาต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจร (7 เมตร) เนื่องจากวิธีการฉาบผิวปัจจุบันของกรมทางหลวงเป็นการดำเนินการพร้อมกันตลอดความกว้างของสายทาง ซึ่งส่วนใหญ่มีขนาด 2 ช่องจราจร

$$SCC \ \alpha \ f(M)$$

โดยที่

SCC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงตามกำหนดเวลาโดยวิธีฉาบผิว (บาท / กม. / 2ช่องจราจร)

$f(M)$ = ฟังก์ชันของ ราคาวัสดุ และค่าขนส่ง

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจต่อแบบจำลองการคิดค่าใช้จ่าย

เนื่องจากปัจจัยทางเศรษฐกิจมีความสัมพันธ์กับราคาวัสดุและค่าแรง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง แบบจำลองซึ่งพัฒนาขึ้นมาใช้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง ไม่สามารถใช้ได้เมื่อสภาวะทางเศรษฐกิจเปลี่ยนแปลงไป อีกทั้งไม่สามารถทำนายแนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์เพื่อหาตัวอ้างอิงสำหรับเป็นตัวแทนค่าของตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักในสมการ โดยมีสมมติฐานว่าข้อมูลและแนวโน้มในอดีต สามารถนำมาพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตได้ระดับหนึ่ง และจากลักษณะของข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ผ่านมานั้น พบว่าแนวโน้มของค่าใช้จ่ายเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

งานวิจัยนี้ ได้อาศัยข้อมูลดัชนีราคา จากสำนักดัชนีและเศรษฐกิจการค้า กรมการค้าภายใน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดอย่างหนึ่ง สำหรับบ่งบอกถึงความเคลื่อนไหวและคาดการณ์ราคาวัสดุและค่าแรงของ

ประเทศเป็นตัวแปรที่ใช้แทนกลุ่มปัจจัยทางเศรษฐกิจ สำหรับนำมาวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่าย โดยกำหนดให้

ดัชนีราคาแอสฟัลต์ แทนกลุ่มปัจจัยที่มีผลต่อราคาของอีมัลชั่นแอสฟัลท์ และสารผสม

ดัชนีราคาปูนซีเมนต์ และดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างไม่รวมซีเมนต์และเหล็กแทนกลุ่มปัจจัยที่มีผลต่อราคาของปูนซีเมนต์และหินย่อย

ดัชนีราคาเครื่องจักรกล ดัชนีราคาน้ำมันดีเซล แทนกลุ่มปัจจัยที่มีผลต่อราคาของค่าขนส่ง

และในส่วนของการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง ได้รวบรวมจากข้อมูลราคากลางอ้างอิงของกองบำรุงรักษา กรมทางหลวง ที่ได้จัดทำขึ้นระหว่างปีงบประมาณ 2536 – 2543 ดังแสดงในตารางที่ ข-3 โดยราคาดังกล่าวจะเป็นราคาบาทต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจรที่ความกว้าง 7 เมตร

ตาราง ข-3: ข้อมูลค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิวทาง และดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างที่เกี่ยวข้อง ระหว่างปี 2536 – 2543

ราคางานฉาบผิว Seal coating (บาทต่อกม.)	ปี พ.ศ.	ดัชนีราคาวัสดุงานบำรุงทางเฉลี่ยต่อปี				
		แอสฟัลต์	น้ำมันดีเซล	เครื่องจักรกล	ปูนซีเมนต์	วัสดุก่อสร้างไม่รวมซีเมนต์และเหล็ก
209,831.0460	2536	86.80	124.31	124.30	108.37	145.45
210,103.9141	2537	85.75	115.88	126.11	106.13	149.69
207,927.1432	2538	84.35	118.64	127.24	106.05	156.96
210,666.1353	2539	86.80	135.33	127.26	106.93	163.03
212,693.5304	2540	90.00	148.64	129.69	114.28	168.73
213,922.3794	2541	89.95	143.69	153.98	151.51	189.13
217,371.9124	2542	99.13	142.65	155.33	167.69	186.44
222,124.4892	2543	146.38	210.97	156.48	172.41	190.13

สำหรับวิธีในการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง จะใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression Analysis) โดยวิธี Backward ซึ่งเป็นการเลือกตัวแปรเข้าสมการความถดถอย โดยนำตัวแปรอิสระทุกตัวที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเข้าสมการ แล้วจึงตัดเอาตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามออกจากสมการครั้งละตัว เพื่อทำการเปรียบเทียบสมการที่เกิดจากตัวแปรอิสระแต่ละตัวว่าสมการใดให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Adjust R^2) สูง

ที่สุด แล้วจึงเลือกเอาสมการที่มีค่าความสัมพันธ์สูงที่สุดและมีจำนวนตัวแปรอิสระที่เหมาะสม มาใช้เป็นแบบจำลองสำหรับทำนายค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง

จากการวิเคราะห์ถดถอยซึ่งแสดงค่าจากการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ ข-2 พบว่า จากตัวแปรที่ใช้ร่วมในการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 ชนิด มีเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่างานฉาบผิวทางอย่างมีนัยสำคัญ โดยเรียงตามลำดับได้แก่ ดัชนีราคาปูนซีเมนต์ และดัชนีราคาน้ำมันดีเซล ซึ่งผลการวิเคราะห์แบบจำลองได้ค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.951 ซึ่งนับว่ามีความคลาดเคลื่อนต่ำมากในทางสถิติ คือ อิทธิพลของตัวแปรอิสระสามารถทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ถูกต้องถึง 95.1% และมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานประมาณ 1030 บาทต่อกิโลเมตร

ตาราง ข-4: การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทางกับดัชนีราคาที่เกี่ยวข้องโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนโดยวิธี Backward

Model		Unstandardized Coefficients		tandardize Coefficients	t	Sig.	Adjusted R Square	td. Error o Estimate
		B	Std. Error	Beta				
1	(Constant)	212066.62	18201.66		11.65	.007		
	ดัชนีราคาแอสฟัลท์	2.33	134.23	0.010	.017	.988	.932	1219.49
	ดัชนีราคาน้ำมันดีเซล	55.97	100.26	0.362	.558	.633		
	ดัชนีราคาเครื่องจักรกล	-342.80	341.73	- 1.083	-1.003	.421		
	ดัชนีราคาปูนซีเมนต์	244.39	135.02	1.540	1.810	.212		
	ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างไม่รวมซีเมนต์และเหล็ก	49.77	164.42	0.191	.303	.791		
2	(Constant)	212141.352	14442.230		14.689	.001		
	ดัชนีราคาน้ำมันดีเซล	57.630	25.374	0.373	2.271	.108	.955	995.786
	ดัชนีราคาเครื่องจักรกล	-341.114	267.530	- 1.077	-1.275	.292		
	ดัชนีราคาปูนซีเมนต์	244.702	109.293	1.542	2.239	.111		
	ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างไม่รวมซีเมนต์และเหล็ก	47.642	89.713	0.183	.531	.632		
3	(Constant)	207845.388	10837.091		19.179	.000		
	ดัชนีราคาน้ำมันดีเซล	65.976	18.045	0.426	3.656	.022	.963	901.998
	ดัชนีราคาเครื่องจักรกล	-225.566	140.996	- 0.712	-1.600	.185		
	ดัชนีราคาปูนซีเมนต์	207.930	76.594	1.310	2.715	.053		
4	(Constant)	190723.158	1949.053		97.854	.000		
	ดัชนีราคาน้ำมันดีเซล	76.637	19.208	.495	3.990	.010	.951	1033.124
	ดัชนีราคาปูนซีเมนต์	88.527	19.708	.558	4.492	.006		

Dependent Variable: ราคางานฉาบผิว (บาทต่อกิโลเมตร)

และสามารถแสดงสมการแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทางได้ดังสมการ ข.3 คือ

$$SCC = 190{,}723 + 76.6\,F_{uel} + 88.5\,C_{ement} \qquad (ข.3)$$

เมื่อ SCC = ค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง (บาทต่อ กม. ต่อความกว้างผิวจราจร 7.0 ม.)

F_{uel} = ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

C_{ement} = ดัชนีราคาปูนซีเมนต์

สมการที่ ข.3 เป็นแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทางที่สัมพันธ์กับตัวแปรดัชนีราคางานบำรุงทางที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนำมาใช้ในการประมาณราคาต่อหน่วยจากการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนวัสดุในอนาคตต่อไป ดังที่ได้อธิบายไปแล้วว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ไม่สามารถนำมาใช้งานในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองเพื่อให้สามารถพิจารณาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับการพยากรณ์แนวโน้มค่าของดัชนีราคาในอนาคตเพื่อนำไปแทนค่าในสมการนั้น ได้อ้างอิงการพยากรณ์แนวโน้มระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงของดัชนีราคาในอนาคตจากงานวิจัยของ กชกร (2000) ซึ่งได้ใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับสร้างความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีราคาและเวลา โดยเลือกรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นในลักษณะของเส้นฐานเฉลี่ย(Average Baseline) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในระยะยาว และกำหนดให้ปี พ.ศ. 2542 เป็นปีฐานหรือปีเริ่มต้นสำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีและเวลาดังสมการที่ ข.4

$$Fuel = 146.51 + 0.0412\,Year \qquad (ข.4)$$

ซึ่งตัวแปรซึ่งส่งผลต่อค่าจากแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวที่ยังไม่ได้มีการทำนายไว้คือดัชนีราคาปูนซีเมนต์ ดังนั้นจึงได้ใช้วิธีเดียวกันในการวิเคราะห์หาแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีราคาปูนซีเมนต์และเวลา(ปี) และได้สมการจากการวิเคราะห์ดังสมการที่ ข.5 คือ

$$Cement = 155.95 + 10.712\,Year \qquad (ข.5)$$

เมื่อ Year = ระยะเวลานับจากปี 2542 โดยที่เริ่มนับปีถัดไปได้เป็น 1,2,3, ... ,n

ผลจากการวิเคราะห์สมการถดถอย จะได้ค่าคลาดเลื่อนมาตรฐานประมาณ 14.419 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.794 ซึ่งในทางสถิติหากสูงกว่า 0.7 แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นเมื่อแทนค่าจากความสัมพันธ์ในสมการที่ ก.4 และ ก.5 ลงในแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง จะได้แบบจำลองที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและค่าใช้จ่ายงานบำรุงทางโดยวิธีการฉาบผิว อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของราคาวัสดุงานบำรุงทางเมื่อเวลาผ่านไป ดังสมการที่ ก.6

$$SCC = 215{,}747.24 + 951.17\ Year \qquad (ก.6)$$

เมื่อ SCC = ราคางานซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิว (บาท ต่อ กม. ต่อความกว้าง 7.0 ม.)

Year = ระยะเวลานับจากปี 2542 โดยที่เริ่มนับปีถัดไปได้เป็น 1,2,3, ... ,n

ซึ่งแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงโดยวิธีการฉาบผิวที่ได้นี้ จะถูกนำไปประกอบเป็นส่วนหนึ่งของโมดูลในการคิดค่าใช้จ่ายสำหรับงานซ่อมบำรุงในแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หาแผนงานซ่อมบำรุงโดยวิธีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสมต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการวิเคราะห์หาแผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม

ขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาโดยแบบจำลอง

เนื่องจากได้แบ่งลักษณะของการิเคราะห์โดยแบบจำลองออกเป็น 2 แบบ คือ การพิจารณาแบบปีต่อปี และการพิจารณาแบบต่อเนื่องหลายปี ดังนั้นในหัวข้อนี้จะได้แสดงตัวอย่างกรณีศึกษาสำหรับการคำนวณเป็น 2 ตัวอย่างคือ แบบปีต่อปี จะเป็นตัวอย่างการพิจารณาสำหรับสายทาง 7 ช่วงสายทางในระยะเวลา 1 ปี คือปี 2542 – 2543 และแบบต่อเนื่องหลายปี จะเป็นตัวอย่างการพิจารณาแผนงานการซ่อมบำรุงสำหรับสายทาง 2 สายทางในช่วงระยะเวลา 3 ปี คือ ปี 2542 - 2545 ดังที่จะได้แสดงรายละเอียดของข้อมูลและวิธีการคำนวณในขั้นตอนต่อไป

ข้อมูลสำหรับตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลที่นำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์นี้ ได้มาจากฐานข้อมูลสภาพผิวทาง และปริมาณการจราจรของกรมทางหลวงในปี 2542 โดยลักษณะของข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปหาค่าใช้จ่ายต่างๆ และค่าทำนายสภาพผิวทาง จากแบบจำลองนั้น ได้แก่ ชนิดของผิวทาง ความกว้างของช่องจราจร ค่าปริมาณการจราจรของแต่ละสายทาง ระยะเวลา (ปี) ที่ทำการวิเคราะห์ ค่าดัชนีสภาพผิวทาง หรือ IRI ค่าสัดส่วนรถบรรทุกหนัก ค่าความลาดชัน รวมถึงประวัติงานซ่อมบำรุงของสายทางนั้น ดังที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อลักษณะข้อมูลที่ต้องการสำหรับแบบจำลอง ในรูปที่ 3.6 ซึ่งข้อมูลทั้งหมดสำหรับสายทางตัวอย่างที่นำมาพิจารณา สามารถแสดงได้ดังตารางที่ ค.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1: ข้อมูลของสายทางตัวอย่างที่นำมาพิจารณา

No.	เลขสายทาง	ช่วงสายทาง	PCU *	ความชัน**	ระยะทาง m.	ค่าIRI
1	1013	100	11,263	M	1,000	2.27
2	1013	200	6,637	L	631	4.15
3	1016	100	11,157	M	840	2.66
4	1017	100	6,702	M	1,039	4.71
5	1021	100	10,066	H	1,005	2.96
6	1022	102	10,564	H	930	7.81
7	1024	100	510	L	1,000	3.88

* PCU = Passenger Car Unit คือ ค่าหน่วยนับของยานหาหนะเมื่อเทียบกับรถนั่ง

** ค่าความชัน L = ความชันต่ำ (gradient 0-3%)

M = ความชันปานกลาง (gradient 3-5%)

H = ความชันสูง (gradient >5%)

ค่า PCU ในตารางที่ ค.1 นี้ จะใช้สำหรับการหาค่าสภาพผิวทางจากแบบจำลองทำนายสภาพผิวทาง โดยจะได้จากการคำนวณปรับค่าปริมาณจราจร AADT ของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ดังค่าในตารางที่ ค.2 ซึ่งค่าปริมาณจราจรเหล่านี้จะถูกนำไปคำนวณหาค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน จากแบบจำลองที่ ก.18 - ก.23 เพื่อประกอบการพิจารณาต่อไป

ตารางที่ ค-2: ค่าปริมาณการจราจรของแต่ละสายทางต่อวันตามประเภทยานพาหนะ

สายทางที่	CAR	LBUS	HBUS	LTRUCK	MTRUCK	HTRUCK
1	3,215	364	12	3,832	597	268
2	1,157	225	112	2,568	392	141
3	2,037	488	295	3,897	531	445
4	1,769	454	13	2,577	172	8
5	2,877	244	141	2,987	592	438
6	2,332	344	7	4,913	134	32
7	268	9	8	35	74	6

เมื่อ CAR = รถยนต์นั่ง LBUS = รถโดยสารขนาดเล็ก

HBUS = รถโดยสารขนาดใหญ่ LTRUCK = รถบรรทุกขนาดเล็ก

MTRUCK = รถบรรทุกขนาดกลาง HTRUCK = รถบรรทุกขนาดใหญ่

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษา

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ส่วนแรกเป็นการหาค่าองค์ประกอบที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และค่าสภาพผิวทาง ของทางแต่ละช่วงสายทาง ทั้งในปีปัจจุบันที่วิเคราะห์และในอนาคต จากการทำนายจากแบบจำลองต่าง ๆ และในส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาแผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดมาเป็นแผนงานบำรุงรักษาต่อไป โดยสามารถแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้งหมดตามลำดับได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 การคำนวณค่าองค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณหาค่าองค์ประกอบสำหรับการคำนวณค่าอายุของสายทางจากค่าดัชนีสภาพผิวทางและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการซ่อมบำรุงโดยวิธีต่าง ๆ ในปีที่พิจารณา

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในปีปัจจุบัน และในปีถัดไป

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุงในปีปัจจุบัน และค่าผลประโยชน์หักด้วยค่าใช้จ่าย

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสม

จากขั้นตอนดังที่ได้กล่าวไว้นี้ สามารถแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้งหมดตามลำดับ สำหรับช่วงสายทางตัวอย่าง คือ สายทางที่ 1 ตามข้อมูลเบื้องต้นตามตารางที่ ค.1 และ ค.2 ได้ดังนี้

- **การคำนวณค่าองค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์**

1. การคำนวณหาค่าองค์ประกอบสำหรับการคำนวณค่าอายุของสายทางจากค่าดัชนีสภาพผิวทางและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

ค่าองค์ประกอบที่ต้องหาก่อนเพื่อหาค่าอายุสายทางได้ ได้แก่ ค่าสัดส่วนรถบรรทุกหนัก โดยใช้ค่าปริมาณการจราจรต่อวันของรถแต่ละประเภท ในตารางที่ ค.2 มาคำนวณหาค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณรถหนักเมื่อแปลงเป็นจำนวนรถยนต์นั่งต่อปริมาณการจราจรทั้งหมด (PCU) ซึ่งประเภทรถที่นับเป็นรถบรรทุกหนัก ได้แก่ รถโดยสารขนาดใหญ่ (HBUS) รถบรรทุกขนาดกลาง (MTRUCK) และรถบรรทุกขนาดใหญ่ (HTRUCK) ดังสามารถแสดงตัวอย่างการคิดสัดส่วนรถบรรทุกหนักสำหรับสายทางที่ 1 ได้ คือ

$$\%HV = 2 \times (12 + 597 + 268) / 11,263$$

$$= 15.57\%$$

เมื่อได้ค่าสัดส่วนรถหนักที่เป็นค่าองค์ประกอบแล้ว จึงคำนวณหาค่าอายุสายทาง โดยอาศัยการแทนค่า ปริมาณการจราจร สัดส่วนรถหนัก และค่าสภาพผิวทางในปีที่พิจารณา ลงในแบบจำลองสำหรับการทำนายสภาพผิวทาง คือสมการที่ 3.1 ดังตัวอย่างการคำนวณสำหรับสายทางที่ 1 คือ

สมการที่ 3.1 $IRI = a * e^{(b_1*AGE) + (b_2*AVG.AADT) + (b_3*\%HV)}$

แทนค่า $2.27 = 1.9 \times e^{(0.09879 \times age) + (0.000004072 \times 11,263) + (0.001905 \times 15.57 \%)}$

เมื่อแก้สมการจะได้ค่า

อายุ (Age) = 1.349 ปี

2. การคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการซ่อมบำรุงโดยวิธีต่าง ๆ ในปีที่พิจารณา

ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่พิจารณาประกอบไปด้วย 4 วิธี และสามารถคำนวณได้จากแบบจำลอง ดังสมการคือ

Routine Maintenance Cost = $(5,276 + 21.5 \text{ Year})(\text{Age}^{0.234} . \text{AADT}^{0.150})$

OverLay Cost = 1,156,517 + 19,901 Year

ReHabilitation Cost = 1,970,453 + 29,578 Year

Seal-Coating Cost = 215,747.24 + 951.17 Year

เมื่อแทนค่าข้อมูลของสายทางที่ 1 ได้แก่ ปี = 0 อายุสายทาง = 1.349 และปริมาณการจราจร = 11,263 ลงในสมการจะได้ค่าใช้จ่ายสำหรับงานซ่อมบำรุงทั้ง 4 ประเภท ในปี 2542 คือ

วิธีการซ่อมบำรุง	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
ค่าใช้จ่ายในปี 2542 (บาท)	22,932	215,747	1,156,517	1,970,453

กรณีเมื่อมีการพิจารณาแผนงานในระยะเวลาเกินกว่า 1 ปี ในปีถัดไปคือ ปี 2543 จะสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง สำหรับสายทางที่ 1 ได้เป็น 4 กรณี คือ กรณีที่เลือกซ่อมบำรุงปกติ กรณีเลือกงานฉาบผิว กรณีเลือกงานเสริมผิว และกรณีที่เลือกงานบูรณะในปี 2542 ซึ่งแต่ละกรณีก็จะให้ลักษณะและสภาพทางในปีถัดไปแตกต่างกัน ดังที่แสดงค่าในตารางด้านล่างคือ

ลักษณะและสภาพผิวทางปี 2543

กรณีเลือกการซ่อมบำรุงปกติในปี 2542

PCU	Grade	m.	Avg_IRI	%HV	Age
11,263	M	1,000	2.509	15.57%	2.349

กรณีเลือกการฉาบผิวทางในปี 2542 (คำนวณค่า ΔIRI ได้ = 0.076)

PCU	Grade	m.	Avg_IRI	%HV	Age
11,263	M	1,000	2.350	15.57%	1.683

กรณีเลือกการเสริมผิวทางหรืองานบูรณะทางในปี 2542

PCU	Grade	m.	Avg_IRI	%HV	Age
11,263	M	1,000	2.196	15.57%	1.000

การคิดค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงในปี 2543 ค่างานซ่อมบำรุงที่จะแตกต่างกันเนื่องจากสภาพผิวทาง คือ ค่างานซ่อมบำรุงปกติ ส่วนค่าใช้จ่ายงานประเภทอื่น ๆ จะมีค่าเท่ากันในแต่ละปี โดยจะได้ค่าจากการคำนวณผ่านแบบจำลอง ดังนี้

ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงปี 2543 ซึ่งยังไม่ได้แปลงเป็นมูลค่าปัจจุบันในปี 2542

กรณีเลือกการซ่อมบำรุงปกติในปี 2542

Routine	Seal	Overlay	Rehab.
26,217	216,698	1,176,418	2,000,031

กรณีเลือกการฉาบผิวทางในปี 2542

Routine	Seal	Overlay	Rehab.
24,250	216,698	1,176,418	2,000,031

กรณีเลือกการเสริมผิวทางหรืองานบูรณะทางในปี 2542

Routine	Seal	Overlay	Rehab.
21,469	216,698	1,176,418	2,000,031

3. การคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในปีปัจจุบัน และในปีถัดไป

ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนในจะได้จากการคำนวณโดยสมการที่ ก.18 - ก.23 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีสภาพผิวทางเป็นหลัก และจะต้องปรับค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางที่ได้นี้ตามสมการที่ ก.26 เพื่อปรับค่าใช้จ่ายจากฐานปี 2542 เป็นปีที่ต้องการ ดังตัวอย่างการคำนวณสำหรับสายทางที่ 1 คือ

ค่าดัชนีสภาพผิวทาง (IRI) = 2.27 เมตร ต่อ กิโลเมตร ในปี 2542

แทนค่า IRI ในสมการ ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางประเภทรถยนต์นั่ง

RUC_{PC} = $0.0284\ IRI^2 + 0.186\ IRI + 3.3215$

= 3.89 บาทต่อกิโลเมตรต่อคัน

แปลงค่าเป็นบาทต่อปี = 3.89 x 365 วัน x 3,215 คันต่อวัน x 1 กิโลเมตร

= 4,566,123 บาทต่อปี

และเมื่อคำนวณค่าดังตัวอย่างข้างต้นจะได้ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางต่อปีสำหรับช่วงทางที่ 1 สำหรับยานพาหนะแต่ละประเภทในปี 2542 ดังตาราง คือ

CAR	LBUS	HBUS	LTRUCK	MTRUCK	HTRUCK
4,566,123	648,862	97,123	4,068,482	1,121,500	781,145

หน่วย = บาทต่อปี

ซึ่งค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทาง (RUC) ของช่วงสายทางที่ 1 ในปี2542 จะได้จากผลรวมของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางของรถทุกประเภท ดังนั้น ค่า RUC สำหรับช่วงสายทางที่ 1 ในปี 2542 จะมีค่าเท่ากับ 11,283,235 บาท

สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปี 2543 หรือปีถัดไปนั้น จะได้จากการพิจารณาสภาพของผิวทางในปี 2543 เป็น 4 กรณี ตามทางเลือกของวิธีการซ่อมในปี 2542 แต่เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางแล้วจะต้องมีการคูณด้วยค่าแฟกเตอร์ตามสมการที่ 3.26 เพื่อปรับค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางจากฐานในปี 2542 ดังตัวอย่าง คือ

คำนวณหาค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปี 2543 จากกรณีที่ซ่อมบำรุงปกติในปี 2542

ค่าอายุสายทาง = 1.349 + 1 = 2.349 ปี

แปลงค่าอายุสายทางเป็นค่าดัชนีสภาพผิวทาง

$$IRI_{2543} = 1.9 \times (e^{(0.09879 \times AGE)+(0.000004072 \times AADT)+(0.001905 \times \%HV)})$$

$$= 2.509$$

จากค่า IRI ในปี 2543 กรณีที่เลือกการซ่อมบำรุงปกติในปี 2542 นี้ เมื่อคำนวณหาค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางประเภทต่าง ๆ จะได้ค่าดังตาราง คือ

CAR	LBUS	HBUS	LTRUCK	MTRUCK	HTRUCK
4,655,269	658,743	97,976	4,152,551	1,147,017	793,265

และได้ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางรวมของช่วงสายทางที่ 1

= 4,655,269+658,743+97,976+4,152,551+1,147,017+793,265

= 11,504,823 บาทต่อปี

หาค่า แฟกเตอร์ปรับค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทาง

$$RUC_{2543} = (1.00 + 0.0439 \text{ Year}) \times RUC_{BASE}$$

$$= (1.00 + 0.0439 \times 1) \times 11,504,823$$

= 12,009,884 บาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางที่ได้นี้ จะเป็นค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางเฉพาะกรณีที่เลือกการซ่อมบำรุงปกติในปี 2542 เท่านั้น และเมื่อหาค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปี 2543 จากการซ่อมบำรุงทั้ง 4 กรณี จะได้ค่าดังที่แสดงข้างล่าง คือ

กรณีซ่อมบำรุงปกติในปี 2542

RUC_{2543} = 12,009,884 บาทต่อปี

กรณีซ่อมบำรุงแบบฉาบผิวทางในปี 2542

RUC_{2543} = 11,852,455 บาทต่อปี

กรณีซ่อมบำรุงแบบเสริมผิวทางหรืองานบูรณะผิวทางในปี 2542

RUC_{2543} = 11,704,854 บาทต่อปี

4. การคำนวณค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุงในปีปัจจุบัน และค่าผลประโยชน์รวม

ค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุงในปี 2542 สำหรับสายทางที่ 1 ทั้ง 4 กรณี จากการเลือกซ่อมบำรุงในปี 2542 จะได้จากการหักลบค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปี 2543 ทั้ง 4 กรณี ด้วยค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปี 2542 คือ

กรณีซ่อมบำรุงปกติในปี 2542

ค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุง = 12,009,884 - 11,283,235

= -726,649 บาท

กรณีซ่อมบำรุงแบบฉาบผิวทางในปี 2542

ค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุง = 11,852,455 - 11,283,235

= -569,220 บาท

กรณีซ่อมบำรุงแบบเสริมผิวทางหรืองานบูรณะผิวทางในปี 2542

ค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุง = 11,704,854 - 11,283,235

= -421,619 บาท

ค่าผลประโยชน์ที่ได้นี้ จะถูกนำไปหักลบกับค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงวิธีต่าง ๆ ในปี 2542 เพื่อให้ได้ค่าผลประโยชน์รวมสำหรับการพิจารณาแผนงาน สำหรับช่วงสายทางที่ 1 ในปี 2542 คือ

วิธีการซ่อมบำรุง	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
ค่าใช้จ่ายรวม	-749,582	-784,967	-1,578,136	-2,392,072

และสำหรับการวางแผนงานแบบปีต่อปี ค่าผลประโยชน์รวมทั้งหมดของแต่ละสายทางทุกสายทาง จะถูกนำไปพิจารณาเพื่อหาแผนงานซ่อมบำรุงสำหรับปี 2542 ที่มีค่าผลประโยชน์หักลบด้วยค่าใช้จ่ายสูงสุดต่อไป

ทั้งนี้ ตัวอย่างในการคำนวณทั้งหมดที่ได้แสดงมานี้ ยังไม่ได้รวมการแปลงค่าให้อยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งถ้าพิจารณาให้ค่าอัตราผลตอบแทนเท่ากับ 12% จะได้ค่าใช้จ่ายในปี 2543 ซึ่งปรับค่าตามค่า Present worth factor คือ

ค่า SPPWF = Single Payment Present Worth Factor = $[1/(1 + i^t)]$

$= 1 / (1 + 0.12^1)$

$= 0.89285$

และจะได้ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในปี 2543 เมื่อแปลงค่าในรูปมูลค่าปี 2542 ดังนี้

ค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงปี 2543

กรณีเลือกการซ่อมบำรุงปกติในปี 2542

Routine	Seal	Overlay	Rehab.
23,408	193,481	1,050,373	1,785,742

กรณีเลือกการฉาบผิวทางในปี 2542

Routine	Seal	Overlay	Rehab.
21,652	193,481	1,050,373	1,785,742

กรณีเลือกการเสริมผิวทางหรืองานบูรณะทางในปี 2542

Routine	Seal	Overlay	Rehab.
19,169	193,481	1,050,373	1,785,742

ค่าผลประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทาง เมื่อซ่อมบำรุงโดยวิธีต่าง ๆ ในปี 2542

User Benefit (U t+1 - U t) if perform			
Routine	Seal	Overlay	Rehab.
560,124	700,686	832,472	832,472

ค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงโดยวิธีต่าง ๆ ทั้ง 4 วิธีในปี 2542

Benefit - Cost after treatment			
Routine	Seal	Overlay	Rehab.
537,191	484,939	-324,045	-1,137,981

- **การวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสม**

จากตัวอย่างที่ได้แสดงการคำนวณไว้ข้างต้น เมื่อได้คำนวณเพื่อหาค่าผลประโยชน์รวมจากการซ่อมบำรุงในปีปัจจุบัน สำหรับการพิจารณาแบบปีต่อปี และปีอื่น ๆ สำหรับการพิจารณาแบบข้ามปีแล้ว จะต้องทำการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าดังกล่าวอีกจนกระทั่งครบ สำหรับทุกสายทางที่อยู่ในการพิจารณา ซึ่งสำหรับตัวอย่างในการพิจารณาแบบปีต่อปีสำหรับสายทาง 7 สายทาง ตามข้อมูลเบื้องต้นในตารางที่ ค-1 และ ค-2 จะได้ค่าใช้จ่ายสำหรับงานซ่อมบำรุง ค่าผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุง และค่าผลประโยชน์รวมของทั้ง 7 สายทาง ที่ค่าอัตราผลตอบแทน 12% ต่อปี ดังแสดงในตารางที่ ค-3 ค-4 และ ค-5 ตามลำดับ คือ

ตารางที่ ค-3: ค่าใช้จ่ายของงานซ่อมบำรุงสายทางตัวอย่างทั้ง 7 ในปี 2542เมื่อพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี

	Agency Cost (Baht per sub section)			
	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
สายทางที่ 1	22,932	215,747	1,156,517	1,970,453
สายทางที่ 2	21,259	136,136	729,762	1,243,356
สายทางที่ 3	23,101	181,227	971,474	1,655,181
สายทางที่ 4	34,288	224,161	1,201,621	2,047,301
สายทางที่ 5	26,581	216,826	1,162,300	1,980,305
สายทางที่ 6	34,397	N/A	N/A	1,832,521
สายทางที่ 7	22,821	215,747	1,156,517	1,970,453

N/A = Not Applicable

ตารางที่ ค-4: ผลประโยชน์จากการซ่อมบำรุงสายทางตัวอย่างทั้ง 7 ในปี 2542เมื่อพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี

	User Benefit (U t+1 – U t) form			
	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
สายทางที่ 1	560,124	700,686	832,472	832,472
สายทางที่ 2	200,978	295,758	1,067,648	1,067,648
สายทางที่ 3	526,221	665,345	1,079,542	1,079,542
สายทางที่ 4	208,889	439,341	2,118,084	2,118,084
สายทางที่ 5	471,999	637,742	1,261,236	1,261,236
สายทางที่ 6	-326,231	319,635	6,386,407	6,386,407
สายทางที่ 7	31,196	46,053	153,010	153,010

ตารางที่ ค-5: ค่าผลประโยชน์รวมของการซ่อมบำรุงสายทางทั้งหมดในปี 2542 เมื่อพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี

	Benefit - Cost after treatment			
	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
สายทางที่ 1	537,191	484,939	-324,045	-1,137,981
สายทางที่ 2	179,718	159,622	337,886	-175,707
สายทางที่ 3	503,121	484,118	108,068	-575,638
สายทางที่ 4	174,601	215,180	916,463	70,783
สายทางที่ 5	445,418	420,916	98,937	-719,069
สายทางที่ 6	-360,629	N/A	N/A	4,553,886
สายทางที่ 7	8,375	-169,694	-1,003,507	-1,817,443

N/A = Not Applicable

จากค่าใช้จ่ายสำหรับงานซ่อมบำรุง ค่าผลประโยชน์ และค่าใช้จ่ายรวมในตารางที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 เนื่องจากค่า IRI ในปี 2542 ของสายทางที่ 6 มีค่าสูงกว่า 6.0 ดังนั้นการพิจารณางานบำรุงสำหรับสายทางที่ 6 ในปี 2542 จึงสามารถเลือกได้เพียง 2 กรณีเท่านั้น คือ โดยวิธีซ่อมบำรุงปกติ หรืองานซ่อมบูรณะผิวทาง ตัวเลขค่าใช้จ่ายในตารางสำหรับวิธีฉาบผิวทางและเสริมผิวทางจึงไม่ถูกนำมาพิจารณา และค่าตัวเลขในตารางที่ 4.5 ทั้งหมดนี้ จะถูกนำไปพิจารณาหาแผนงานบำรุงรักษาแบบปีต่อปี ตามรูปแบบของสมการที่ 3.27 เพื่อทำการแก้ปัญหาค่าสูงสุดต่อไป ซึ่งถ้านับจำนวนของกรณีที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมดจะได้เท่ากับ $(4^7)^1 = 16,384$ กรณี

ตัวอย่างการวิเคราะห์หาแผนงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม

ก. กรณีพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี

ตัวอย่างการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ ได้แยกลักษณะการวิเคราะห์ออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่จำกัดงบประมาณ และแบบที่ไม่จำกัดงบประมาณ เพื่อพิจารณาผลของระดับวงเงินต่อวิธีการซ่อมบำรุงได้ สำหรับตัวอย่างการคำนวณเพื่อการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางตัวอย่าง 7 ช่วงสายทาง ดังแสดงข้อมูลเริ่มต้นในตารางที่ ค.1 และ ค.2 เมื่อใช้อัตราผลตอบแทนที่ 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจรในอนาคต จะได้ตัวเลขทั้งหมดที่สามารถคำนวณเพื่อเตรียมการวิเคราะห์ตามขั้นตอน ดังค่าในตารางที่ ค.3 และ ค.5 และถ้ากำหนดค่างบประมาณสำหรับปี 2542

สำหรับ 7 สายทางนี้ ไว้ที่ไม่เกิน 2,900,000 บาท จะสามารถเขียนรูปแบบสมการ ของการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปีสำหรับ 7 สายทางนี้ ได้ดังสมการที่ ค.1 คือ

Maximize:

$$537{,}191\,X_{10} + 484{,}939\,X_{11} - 324{,}045\,X_{12} - 1{,}137{,}981\,X_{13}$$
$$+ 179{,}718\,X_{20} + 159{,}622\,X_{21} + 337{,}886\,X_{22} - 175{,}707\,X_{23}$$
$$+ 503{,}121\,X_{30} + 484{,}118\,X_{31} + 108{,}068\,X_{32} - 575{,}638\,X_{33}$$
$$+ 174{,}601\,X_{40} + 215{,}180\,X_{41} + 916{,}463\,X_{42} + 70{,}783\,X_{43}$$
$$+ 445{,}418\,X_{50} + 420{,}916\,X_{51} + 98{,}937\,X_{52} - 719{,}069\,X_{53}$$
$$- 360{,}629\,X_{60} + 4{,}553{,}886\,X_{63}$$
$$+ 8{,}375\,X_{70} - 169{,}694\,X_{71} - 1{,}003{,}507\,X_{72} - 1{,}817{,}443\,X_{73} \qquad \text{(ค.1)}$$

Subject to:

(1) $22{,}932X_{10} + 215{,}747X_{11} + 1{,}156{,}517X_{12} + 1{,}970{,}453X_{13} + 21{,}259X_{20} +$
$136{,}136X_{21} + 729{,}762X_{22} + 1{,}243{,}356X_{23} + 23{,}101X_{30} + 181{,}227X_{31} +$
$971{,}474X_{32} + 1{,}655{,}181X_{33} + 34{,}288X_{40} + 224{,}161X_{41} + 1{,}201{,}621X_{42} +$
$2{,}047{,}301X_{43} + 26{,}581X_{50} + 216{,}826X_{51} + 1{,}162{,}300X_{52} + 1{,}980{,}305X_{53} +$
$34{,}397X_{60} + 1{,}832{,}521X_{63} + 22{,}821X_{70} + 215{,}747X_{71} + 1{,}156{,}517X_{72} +$
$1{,}970{,}453X_{73} \leq 2{,}900{,}000$

(2) $X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} = 1$

(3) $X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} = 1$

(4) $X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{33} = 1$

(5) $X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} = 1$

(6) $X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} = 1$

(7) $X_{60} + X_{63} = 1$

(8) $X_{70} + X_{71} + X_{72} + X_{73} = 1$

(9) $X = 0$ หรือ 1

(10) ค่า $j = 0$ หรือ 4 เมื่อ ค่า IRI ≥ 6.0

จากสมการ ค.1 ถ้าต้องการเขียนสมการสำหรับกรณีไม่จำกัดงบประมาณ ค่าคงที่ฝั่งขวาของสมการข้อจำกัดที่ 1 สามารถใส่เป็นตัวเลขมาก ๆ หรือค่าที่ไม่จำกัดแทนได้

การวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาสมการที่ ค.1 จะอาศัยเทคนิคตามวิธีในหัวข้อที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งจำนวนของกรณีทั้งหมดในการวิเคราะห์จะมีถึง 16,384 กรณี ยากต่อการแสดงรายละเอียดทั้งหมด ในงานวิจัยนี้จึงแสดงเพียง ตัวอย่าง 25 กรณีของแผนงาน ที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดสำหรับการซ่อมบำรุงช่วงสายทาง 7 ช่วง ตามลำดับของการวิเคราะห์ ดังค่าในตารางที่ ค-6 ซึ่งแสดงการวิเคราะห์กรณีของแผนงานซ่อมบำรุงทางเมื่อพิจารณาแบบปีต่อปี แบบจำกัดงบประมาณสำหรับ 7 สายทาง เรียงตามลำดับ 25 ลำดับแรก ของแผนงานที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมของทั้ง 7 สายทางสูงสุด และตารางที่ 4.7 สำหรับการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ โดยมีคำอธิบายสำหรับค่าที่อยู่ในแต่ละหลักของตารางดังนี้

หลักที่ 1 (Maint. Case) คือกรณีของแผนการซ่อมบำรุงที่เกิดขึ้นสำหรับแต่ละช่วงสายทาง โดยจะเรียงตามลำดับของกรณีที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุด

หลักที่ 2-8 (Treatment Option) คือวิธีการซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทาง (j)เรียงตามลำดับโดยให้ R1 – R7 แทน ช่วงสายทางที่ 1 – 7

หลักที่ 9-16 (Benefit – Cost of section performed j treatment)
ได้แก่ ค่าผลประโยชน์รวม (บาท) จากการคำนวณสำหรับแต่ละช่วงสายทางที่ 1 – 7 ตามตารางที่ 4.5 และในช่องสุดท้ายจะเป็นค่าผลรวมของแผนงานแต่ละกรณี

หลักที่ 17-24 (Maintenance Cost for i section)
ได้แก่ ค่าใช้จ่ายของแต่ละช่วงสายทางจากวิธีการซ่อมบำรุงตามค่าในตารางหลักที่ 2 และในช่องสุดท้ายจะเป็นค่าผลรวมของแผนงานแต่ละกรณี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-6: กรณีของงานซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด 25 กรณีแรก เมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,900,000 บาท

Maint.	Treatment Option							Benefit – Cost of section performed j treatment								Maintenance Cost for i section							
Case	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Sum	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Sum
1	0	2	0	1	0	3	0	537,191	337,886	503,121	215,180	445,418	4,553,886	8,375	6,601,057	22,932	729,762	23,101	224,161	26,581	1,832,521	22,821	2,881,881
2	0	2	0	0	0	3	0	537,191	337,886	503,121	174,601	445,418	4,553,886	8,375	6,560,478	22,932	729,762	23,101	34,288	26,581	1,832,521	22,821	2,692,007
3	0	2	1	0	0	3	0	537,191	337,886	484,118	174,601	445,418	4,553,886	8,375	6,541,475	22,932	729,762	181,227	34,288	26,581	1,832,521	22,821	2,850,134
4	0	2	0	0	1	3	0	537,191	337,886	503,121	174,601	420,916	4,553,886	8,375	6,535,976	22,932	729,762	23,101	34,288	216,826	1,832,521	22,821	2,882,252
5	1	2	0	0	0	3	0	484,939	337,886	503,121	174,601	445,418	4,553,886	8,375	6,508,225	215,747	729,762	23,101	34,288	26,581	1,832,521	22,821	2,884,822
6	0	0	0	1	0	3	0	537,191	179,718	503,121	215,180	445,418	4,553,886	8,375	6,442,889	22,932	21,259	23,101	224,161	26,581	1,832,521	22,821	2,173,378
7	0	0	1	1	0	3	0	537,191	179,718	484,118	215,180	445,418	4,553,886	8,375	6,423,886	22,932	21,259	181,227	224,161	26,581	1,832,521	22,821	2,331,504
8	0	1	0	1	0	3	0	537,191	159,622	503,121	215,180	445,418	4,553,886	8,375	6,422,792	22,932	136,136	23,101	224,161	26,581	1,832,521	22,821	2,288,255
9	0	0	0	1	1	3	0	537,191	179,718	503,121	215,180	420,916	4,553,886	8,375	6,418,387	22,932	21,259	23,101	224,161	216,826	1,832,521	22,821	2,363,622
10	0	1	1	1	0	3	0	537,191	159,622	484,118	215,180	445,418	4,553,886	8,375	6,403,789	22,932	136,136	181,227	224,161	26,581	1,832,521	22,821	2,446,381
11	0	0	0	0	0	3	0	537,191	179,718	503,121	174,601	445,418	4,553,886	8,375	6,402,310	22,932	21,259	23,101	34,288	26,581	1,832,521	22,821	1,983,505
12	0	0	1	1	1	3	0	537,191	179,718	484,118	215,180	420,916	4,553,886	8,375	6,399,384	22,932	21,259	181,227	224,161	216,826	1,832,521	22,821	2,521,749
13	0	1	0	1	1	3	0	537,191	159,622	503,121	215,180	420,916	4,553,886	8,375	6,398,290	22,932	136,136	23,101	224,161	216,826	1,832,521	22,821	2,478,499
14	1	0	0	1	0	3	0	484,939	179,718	503,121	215,180	445,418	4,553,886	8,375	6,390,636	215,747	21,259	23,101	224,161	26,581	1,832,521	22,821	2,366,192
15	0	0	1	0	0	3	0	537,191	179,718	484,118	174,601	445,418	4,553,886	8,375	6,383,307	22,932	21,259	181,227	34,288	26,581	1,832,521	22,821	2,141,631
16	0	2	0	0	0	3	1	537,191	337,886	503,121	174,601	445,418	4,553,886	-169,694	6,382,409	22,932	729,762	23,101	34,288	26,581	1,832,521	215,747	2,884,933
17	0	1	0	0	0	3	0	537,191	159,622	503,121	174,601	445,418	4,553,886	8,375	6,382,213	22,932	136,136	23,101	34,288	26,581	1,832,521	22,821	2,098,382
18	0	1	1	1	1	3	0	537,191	159,622	484,118	215,180	420,916	4,553,886	8,375	6,379,288	22,932	136,136	181,227	224,161	216,826	1,832,521	22,821	2,636,626
19	0	0	0	0	1	3	0	537,191	179,718	503,121	174,601	420,916	4,553,886	8,375	6,377,808	22,932	21,259	23,101	34,288	216,826	1,832,521	22,821	2,173,749
20	1	0	1	1	0	3	0	484,939	179,718	484,118	215,180	445,418	4,553,886	8,375	6,371,633	215,747	21,259	181,227	224,161	26,581	1,832,521	22,821	2,524,319
21	1	1	0	1	0	3	0	484,939	159,622	503,121	215,180	445,418	4,553,886	8,375	6,370,539	215,747	136,136	23,101	224,161	26,581	1,832,521	22,821	2,481,069
22	1	0	0	1	1	3	0	484,939	179,718	503,121	215,180	420,916	4,553,886	8,375	6,366,134	215,747	21,259	23,101	224,161	216,826	1,832,521	22,821	2,556,437
23	0	1	1	0	0	3	0	537,191	159,622	484,118	174,601	445,418	4,553,886	8,375	6,363,210	22,932	136,136	181,227	34,288	26,581	1,832,521	22,821	2,256,508
24	0	0	1	0	1	3	0	537,191	179,718	484,118	174,601	420,916	4,553,886	8,375	6,358,805	22,932	21,259	181,227	34,288	216,826	1,832,521	22,821	2,331,875
25	0	1	0	0	1	3	0	537,191	159,622	503,121	174,601	420,916	4,553,886	8,375	6,357,711	22,932	136,136	23,101	34,288	216,826	1,832,521	22,821	2,288,626

ตารางที่ ค-7: กรณีของงานซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด 25 กรณีแรก เมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ

Maint.	Treatment Option							Benefit – Cost								Maint. Cost							
Case	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Sum	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Sum
1	0	2	0	2	0	3	0	537,191	337,886	503,121	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,302,339	22,932	729,762	23,101	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	3,859,341
2	0	2	1	2	0	3	0	537,191	337,886	484,118	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,283,337	22,932	729,762	181,227	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	4,017,467
3	0	2	0	2	1	3	0	537,191	337,886	503,121	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,277,838	22,932	729,762	23,101	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	4,049,585
4	0	2	1	2	1	3	0	537,191	337,886	484,118	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,258,835	22,932	729,762	181,227	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	4,207,712
5	1	2	0	2	0	3	0	484,939	337,886	503,121	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,250,086	215,747	729,762	23,101	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	4,052,155
6	1	2	1	2	0	3	0	484,939	337,886	484,118	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,231,084	215,747	729,762	181,227	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	4,210,282
7	1	2	0	2	1	3	0	484,939	337,886	503,121	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,225,585	215,747	729,762	23,101	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	4,242,399
8	1	2	1	2	1	3	0	484,939	337,886	484,118	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,206,582	215,747	729,762	181,227	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	4,400,526
9	0	0	0	2	0	3	0	537,191	179,718	503,121	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,144,171	22,932	21,259	23,101	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	3,150,838
10	0	0	1	2	0	3	0	537,191	179,718	484,118	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,125,169	22,932	21,259	181,227	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	3,308,964
11	0	2	0	2	0	3	1	537,191	337,886	503,121	916,463	445,418	4,553,886	-169,694	7,124,271	22,932	729,762	23,101	1,201,621	26,581	1,832,521	215,747	4,052,266
12	0	1	0	2	0	3	0	537,191	159,622	503,121	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,124,075	22,932	136,136	23,101	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	3,265,715
13	0	0	0	2	1	3	0	537,191	179,718	503,121	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,119,670	22,932	21,259	23,101	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	3,341,082
14	0	2	1	2	0	3	1	537,191	337,886	484,118	916,463	445,418	4,553,886	-169,694	7,105,268	22,932	729,762	181,227	1,201,621	26,581	1,832,521	215,747	4,210,393
15	0	1	1	2	0	3	0	537,191	159,622	484,118	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,105,072	22,932	136,136	181,227	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	3,423,841
16	0	0	1	2	1	3	0	537,191	179,718	484,118	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,100,667	22,932	21,259	181,227	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	3,499,209
17	0	2	0	2	1	3	1	537,191	337,886	503,121	916,463	420,916	4,553,886	-169,694	7,099,769	22,932	729,762	23,101	1,201,621	216,826	1,832,521	215,747	4,242,511
18	0	1	0	2	1	3	0	537,191	159,622	503,121	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,099,573	22,932	136,136	23,101	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	3,455,959
19	1	0	0	2	0	3	0	484,939	179,718	503,121	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,091,918	215,747	21,259	23,101	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	3,343,652
20	0	2	1	2	1	3	1	537,191	337,886	484,118	916,463	420,916	4,553,886	-169,694	7,080,766	22,932	729,762	181,227	1,201,621	216,826	1,832,521	215,747	4,400,637
21	0	1	1	2	1	3	0	537,191	159,622	484,118	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,080,570	22,932	136,136	181,227	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	3,614,086
22	1	0	1	2	0	3	0	484,939	179,718	484,118	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,072,916	215,747	21,259	181,227	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	3,501,779
23	1	2	0	2	0	3	1	484,939	337,886	503,121	916,463	445,418	4,553,886	-169,694	7,072,018	215,747	729,762	23,101	1,201,621	26,581	1,832,521	215,747	4,245,081
24	1	1	0	2	0	3	0	484,939	159,622	503,121	916,463	445,418	4,553,886	8,375	7,071,822	215,747	136,136	23,101	1,201,621	26,581	1,832,521	22,821	3,458,529
25	1	0	0	2	1	3	0	484,939	179,718	503,121	916,463	420,916	4,553,886	8,375	7,067,417	215,747	21,259	23,101	1,201,621	216,826	1,832,521	22,821	3,533,897

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากค่าที่แสดงในตาราง ค-6 จะได้คำตอบของสมการจากการวิเคราะห์จากแผนงานลำดับแรกในตารางที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด และมีค่าใช้จ่ายไม่เกินงบประมาณ เป็นแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับปี 2542 ตามตารางที่ ค-8 คือ

ตารางที่ ค-8: แผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,900,000 บาท

สายทางที่	วิธีการซ่อมบำรุง (j)							Benefit - Cost	Maint. Cost
	1	2	3	4	5	6	7		
ลำดับที่ 1	0	2	0	1	0	3	0	6,601,057	2,881,881

นั่นคือการเลือกวิธีซ่อมบำรุงแบบ บำรุงปกติสำหรับสายทางที่ 1, 3, 5 และ 7 งานบำรุงแบบฉาบผิวทางสำหรับช่วงสายทางที่ 4 เลือกงานเสริมผิวทางสำหรับช่วงสายทางที่ 2 และเลือกงานบูรณะผิวทางสำหรับสายทางที่ 6 โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทั้งหมดเท่ากับ 2,881,881 บาท ซึ่งไม่เกินจากงบประมาณ 2,900,000 บาท

และจากค่าผลประโยชน์รวมในตารางที่ ค-7 เมื่อพิจารณาหาแผนงานการซ่อมบำรุงที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุด จะได้แผนการบำรุงรักษาโดยไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณดังที่แสดงในตารางที่ ค-9 คือ

ตารางที่ ค-9: แผนการซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี สำหรับ 7 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ

สายทางที่	วิธีการซ่อมบำรุง (j)							Max Benefit - Cost	Maint. Cost
	1	2	3	4	5	6	7		
ลำดับที่ 1	0	2	0	2	0	3	0	7,302,339	3,859,341

นั่นคือการเลือกวิธีซ่อมบำรุงแบบ บำรุงปกติสำหรับสายทางที่ 1, 3, 5 และ 7 เลือกงานเสริมผิวทางสำหรับช่วงสายทางที่ 2 และ 4 และเลือกงานบูรณะผิวทางสำหรับสายทางที่ 6 โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทั้งหมดเท่ากับ 3,859,341 บาท และให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดที่ 7,302,339 บาท เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันในปี พ.ศ. 2542

ข. กรณีพิจารณาแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี

ในการวิเคราะห์หาแผนงานแบบพิจารณาต่อเนื่องหลายปีนั้น มีขั้นตอนในการวิเคราะห์และสมมติฐานของการคิดเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์แบบปีต่อปี คือแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้แก่ การหาค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เพื่อประกอบการวิเคราะห์และการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษา แต่จะแตกต่างกันที่ความซับซ้อนและความมากครั้งกว่าของการคำนวณข้อมูลประกอบ เนื่องจากเมื่อได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบปีต่อปีแล้ว ค่าเหล่านั้นจะต้องถูกนำมาเป็นข้อมูลเพื่อการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในปีต่อไปอีก จนกระทั่งครบช่วงระยะเวลาที่ต้องพิจารณา ดังเช่นในตัวอย่างที่ได้แสดงต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างการวางแผนงานสำหรับ 2 ช่วงสายทางในระยะเวลา 3 ปี คือปี 2542 – 2544 การพิจารณาจะต้องคำนวณค่าใช้จ่ายของปี 2542 ถึง 2545 เนื่องจากค่าผลประโยชน์จากการบำรุงรักษาจะได้จากการคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางในปีถัดไป โดยได้เลือก 2 สายทาง จากตัวอย่างช่วงสายทางในการพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปีมาเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ คือ สายทางที่ 4 และสายทางที่ 6 ซึ่งมีข้อมูลลักษณะสายทางเบื้องต้น คือ

No.	เลขสายทาง	ช่วงสายทาง	PCU *	ความชัน**	ระยะทาง m.	ค่าIRI
4	1017	100	6,702	M	1,039	4.71
6	1022	102	10,564	H	930	7.81

และข้อมูลปริมาณการจราจรตามประเภทรถของทั้ง 2 สายทางตัวอย่าง คือ

สายทางที่	CAR	LBUS	HBUS	LTRUCK	MTRUCK	HTRUCK
4	1,769	454	13	2,577	172	8
6	2,332	344	7	4,913	134	32

ดังที่ได้แสดงไว้ในตัวอย่างการพิจารณาแผนงานแบบปีต่อปี เมื่อพิจารณาหาค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ข้ามปี จำนวนกรณีจะมีเพิ่มขึ้นเนื่องจากทางเลือกในการซ่อมบำรุงที่ต่างกัน เช่น ในการพิจารณาค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางในปี 2542 จะต้องพิจารณาทั้ง 4 กรณีจากวิธีการซ่อมบำรุงที่เป็นไปได้ จึงมีค่าใช้จ่าย 4 ค่า สำหรับการพิจารณา 1 สายทาง ซึ่งเมื่อพิจารณาต่อเนื่องถึงปีที่ 3 ในแต่ละกรณีของการซ่อมบำรุงในปีแรกจะพิจารณาแยกออกได้เป็นอีก 4 กรณีในปีที่ 3 ดังนั้น จำนวนของค่าที่ต้องพิจารณาจึงเพิ่มขึ้นเป็น $4^4 = 64$ กรณี สำหรับ 1 สายทาง โดยสามารถแสดงค่าผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุง สำหรับการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาของช่วงสายทางที่ 4 และสายทางที่ 6 ได้ดังตารางที่ ค-10 และ ค-11 ตามลำดับ และสามารถอธิบายความหมายของหัวข้อในแต่ละหลักของตารางได้ คือ

หลักที่ 1 (Maint. Case) คือกรณีของแผนการซ่อมบำรุงที่เกิดขึ้นสำหรับแต่ละช่วงสายทาง

หลักที่ 2 - 4 (Maint. Option) คือวิธีการซ่อมบำรุง (j)ของแต่ละปี เรียงตามลำดับปี 2542 – 2544

หลักที่ 5 - 7 (Benefit - Cost) ค่าผลประโยชน์รวม (บาท) จากการคำนวณสำหรับแต่ละช่วงสายทาง ตามวิธีการซ่อมบำรุงในหลักที่ 2-4

หลักที่ 8 - 10 (Maintenance Cost) คือค่าใช้จ่ายของแต่ละช่วงสายทางจากวิธีการซ่อมบำรุงตามค่าในตารางหลักที่ 2-4

การวิเคราะห์เพื่อหาแผนงานบำรุงรักษาแบบต่อเนื่องหลายปีนั้น ได้แบ่งลักษณะการหาคำตอบออกเป็น 2 กรณีเช่นกันกับการพิจารณาปีต่อปี คือ แบบที่จำกัดงบประมาณ และแบบที่ไม่จำกัดงบประมาณ ซึ่งทั้งสองแบบจะต้องอาศัยค่าผลประโยชน์รวมและค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงจากตารางที่ ค.10 และ ค.11 เพื่อประกอบการคำนวณต่อไป

ตารางที่ ค-10: ค่าผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของช่วงสายทางที่ 4

	Maint. Option			Benefit - Cost			Maint. Cost		
Case	2542	2543	2544	2542	2543	2544	2542	2543	2544
1	0	0	0	-803,822	-909,476	-1,037,482	34,288	35,295	36,245
2	0	0	1	-803,822	-909,476	-860,758	34,288	35,295	226,138
3	0	0	2	-803,822	-909,476	1,181,283	34,288	35,295	1,242,975
4	0	0	3	-803,822	-909,476	315,495	34,288	35,295	2,108,764
5	0	1	0	-803,822	-792,091	-969,587	34,288	225,149	35,761
6	0	1	1	-803,822	-792,091	-822,849	34,288	225,149	226,138
7	0	1	2	-803,822	-792,091	874,045	34,288	225,149	1,242,975
8	0	1	3	-803,822	-792,091	8,256	34,288	225,149	2,108,764
9	0	2	0	-803,822	621,890	-453,089	34,288	1,222,298	20,719
10	0	2	1	-803,822	621,890	-544,335	34,288	1,222,298	226,138
11	0	2	2	-803,822	621,890	-1,537,085	34,288	1,222,298	1,242,975
12	0	2	3	-803,822	621,890	-2,402,874	34,288	1,222,298	2,108,764
13	0	3	0	-803,822	-233,844	-453,089	34,288	2,078,032	20,719
14	0	3	1	-803,822	-233,844	-544,335	34,288	2,078,032	226,138
15	0	3	2	-803,822	-233,844	-1,537,085	34,288	2,078,032	1,242,975
16	0	3	3	-803,822	-233,844	-2,402,874	34,288	2,078,032	2,108,764
17	1	0	0	-735,589	-852,543	-967,991	224,161	34,763	35,749
18	1	0	1	-735,589	-852,543	-821,957	224,161	34,763	226,138
19	1	0	2	-735,589	-852,543	866,777	224,161	34,763	1,242,975
20	1	0	3	-735,589	-852,543	989	224,161	34,763	2,108,764
21	1	1	0	-735,589	-761,274	-905,967	224,161	226,138	35,235
22	1	1	1	-735,589	-761,274	-787,431	224,161	226,138	226,138
23	1	1	2	-735,589	-761,274	584,132	224,161	226,138	1,242,975
24	1	1	3	-735,589	-761,274	-281,656	224,161	226,138	2,108,764
25	1	2	0	-735,589	343,106	-453,089	224,161	1,242,975	20,719
26	1	2	1	-735,589	343,106	-544,335	224,161	1,242,975	226,138
27	1	2	2	-735,589	343,106	-1,537,085	224,161	1,242,975	1,242,975
28	1	2	3	-735,589	343,106	-2,402,874	224,161	1,242,975	2,108,764
29	1	3	0	-735,589	-491,950	-453,089	224,161	2,078,032	20,719
30	1	3	1	-735,589	-491,950	-544,335	224,161	2,078,032	226,138
31	1	3	2	-735,589	-491,950	-1,537,085	224,161	2,078,032	1,242,975
32	1	3	3	-735,589	-491,950	-2,402,874	224,161	2,078,032	2,108,764
33	2	0	0	167,143	-447,642	-482,395	1,201,621	20,635	24,368
34	2	0	1	167,143	-447,642	-558,320	1,201,621	20,635	226,138
35	2	0	2	167,143	-447,642	-1,404,189	1,201,621	20,635	1,242,975
36	2	0	3	167,143	-447,642	-2,269,977	1,201,621	20,635	2,108,764
37	2	1	0	167,143	-543,401	-458,368	1,201,621	226,138	21,555
38	2	1	1	167,143	-543,401	-546,753	1,201,621	226,138	226,138
39	2	1	2	167,143	-543,401	-1,513,932	1,201,621	226,138	1,242,975
40	2	1	3	167,143	-543,401	-2,379,721	1,201,621	226,138	2,108,764
41	2	2	0	167,143	-1,537,085	-453,089	1,201,621	1,242,975	20,719
42	2	2	1	167,143	-1,537,085	-544,335	1,201,621	1,242,975	226,138
43	2	2	2	167,143	-1,537,085	-1,537,085	1,201,621	1,242,975	1,242,975
44	2	2	3	167,143	-1,537,085	-2,402,874	1,201,621	1,242,975	2,108,764
45	2	3	0	167,143	-2,372,142	-453,089	1,201,621	2,078,032	20,719
46	2	3	1	167,143	-2,372,142	-544,335	1,201,621	2,078,032	226,138
47	2	3	2	167,143	-2,372,142	-1,537,085	1,201,621	2,078,032	1,242,975
48	2	3	3	167,143	-2,372,142	-2,402,874	1,201,621	2,078,032	2,108,764
49	3	0	0	-678,537	-447,642	-482,395	2,047,301	20,635	24,368
50	3	0	1	-678,537	-447,642	-558,320	2,047,301	20,635	226,138
51	3	0	2	-678,537	-447,642	-1,404,189	2,047,301	20,635	1,242,975
52	3	0	3	-678,537	-447,642	-2,269,977	2,047,301	20,635	2,108,764
53	3	1	0	-678,537	-543,401	-458,368	2,047,301	226,138	21,555
54	3	1	1	-678,537	-543,401	-546,753	2,047,301	226,138	226,138
55	3	1	2	-678,537	-543,401	-1,513,932	2,047,301	226,138	1,242,975
56	3	1	3	-678,537	-543,401	-2,379,721	2,047,301	226,138	2,108,764
57	3	2	0	-678,537	-1,537,085	-453,089	2,047,301	1,242,975	20,719
58	3	2	1	-678,537	-1,537,085	-544,335	2,047,301	1,242,975	226,138
59	3	2	2	-678,537	-1,537,085	-1,537,085	2,047,301	1,242,975	1,242,975
60	3	2	3	-678,537	-1,537,085	-2,402,874	2,047,301	1,242,975	2,108,764
61	3	3	0	-678,537	-2,372,142	-453,089	2,047,301	2,078,032	20,719
62	3	3	1	-678,537	-2,372,142	-544,335	2,047,301	2,078,032	226,138
63	3	3	2	-678,537	-2,372,142	-1,537,085	2,047,301	2,078,032	1,242,975
64	3	3	3	-678,537	-2,372,142	-2,402,874	2,047,301	2,078,032	2,108,764

ตารางที่ ค-11: ค่าผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของช่วงสายทางที่ 6

	Maint. Option			Benefit - Cost			Maint. Cost		
Case	2542	2543	2544	2542	2543	2544	2542	2543	2544
1	0	0	0	-2,173,176	-2,643,989	-3,242,959	34,397	35,258	36,080
2	0	0	1	-2,173,176	-2,643,989	N/A	34,397	35,258	N/A
3	0	0	2	-2,173,176	-2,643,989	N/A	34,397	35,258	N/A
4	0	0	3	-2,173,176	-2,643,989	7,448,825	34,397	35,258	1,887,536
5	0	1	0	-2,173,176	N/A	-2,988,225	34,397	N/A	35,772
6	0	1	1	-2,173,176	N/A	N/A	34,397	N/A	N/A
7	0	1	2	-2,173,176	N/A	N/A	34,397	N/A	N/A
8	0	1	3	-2,173,176	N/A	6,526,459	34,397	N/A	1,887,536
9	0	2	0	-2,173,176	N/A	-682,672	34,397	N/A	19,856
10	0	2	1	-2,173,176	N/A	-737,998	34,397	N/A	202,414
11	0	2	2	-2,173,176	N/A	-1,507,839	34,397	N/A	1,112,577
12	0	2	3	-2,173,176	N/A	-2,282,798	34,397	N/A	1,887,536
13	0	3	0	-2,173,176	5,262,864	-682,672	34,397	1,860,029	19,856
14	0	3	1	-2,173,176	5,262,864	-737,998	34,397	1,860,029	202,414
15	0	3	2	-2,173,176	5,262,864	-1,507,839	34,397	1,860,029	1,112,577
16	0	3	3	-2,173,176	5,262,864	-2,282,798	34,397	1,860,029	1,887,536
17	1	0	0	N/A	-2,445,229	-2,988,402	N/A	34,932	35,772
18	1	0	1	N/A	-2,445,229	N/A	N/A	34,932	N/A
19	1	0	2	N/A	-2,445,229	N/A	N/A	34,932	N/A
20	1	0	3	N/A	-2,445,229	6,527,021	N/A	34,932	1,887,536
21	1	1	0	N/A	N/A	-2,757,709	N/A	N/A	35,456
22	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
23	1	1	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
24	1	1	3	N/A	N/A	5,686,858	N/A	N/A	1,887,536
25	1	2	0	N/A	N/A	-682,672	N/A	N/A	19,856
26	1	2	1	N/A	N/A	-737,998	N/A	N/A	202,414
27	1	2	2	N/A	N/A	-1,507,839	N/A	N/A	1,112,577
28	1	2	3	N/A	N/A	-2,282,798	N/A	N/A	1,887,536
29	1	3	0	N/A	4,539,494	-682,672	N/A	1,860,029	19,856
30	1	3	1	N/A	4,539,494	-737,998	N/A	1,860,029	202,414
31	1	3	2	N/A	4,539,494	-1,507,839	N/A	1,860,029	1,112,577
32	1	3	3	N/A	4,539,494	-2,282,798	N/A	1,860,029	1,887,536
33	2	0	0	N/A	-672,213	-745,386	N/A	19,775	23,352
34	2	0	1	N/A	-672,213	-773,558	N/A	19,775	202,414
35	2	0	2	N/A	-672,213	-1,250,663	N/A	19,775	1,112,577
36	2	0	3	N/A	-672,213	-2,025,622	N/A	19,775	1,887,536
37	2	1	0	N/A	-732,555	-715,724	N/A	202,414	21,984
38	2	1	1	N/A	-732,555	-756,583	N/A	202,414	202,414
39	2	1	2	N/A	-732,555	-1,372,959	N/A	202,414	1,112,577
40	2	1	3	N/A	-732,555	-2,147,919	N/A	202,414	1,887,536
41	2	2	0	N/A	-1,507,839	-682,672	N/A	1,112,577	19,856
42	2	2	1	N/A	-1,507,839	-737,998	N/A	1,112,577	202,414
43	2	2	2	N/A	-1,507,839	-1,507,839	N/A	1,112,577	1,112,577
44	2	2	3	N/A	-1,507,839	-2,282,798	N/A	1,112,577	1,887,536
45	2	3	0	N/A	-2,255,291	-682,672	N/A	1,860,029	19,856
46	2	3	1	N/A	-2,255,291	-737,998	N/A	1,860,029	202,414
47	2	3	2	N/A	-2,255,291	-1,507,839	N/A	1,860,029	1,112,577
48	2	3	3	N/A	-2,255,291	-2,282,798	N/A	1,860,029	1,887,536
49	3	0	0	3,546,855	-672,213	-745,386	1,832,521	19,775	23,352
50	3	0	1	3,546,855	-672,213	-773,558	1,832,521	19,775	202,414
51	3	0	2	3,546,855	-672,213	-1,250,663	1,832,521	19,775	1,112,577
52	3	0	3	3,546,855	-672,213	-2,025,622	1,832,521	19,775	1,887,536
53	3	1	0	3,546,855	-732,555	-715,724	1,832,521	202,414	21,984
54	3	1	1	3,546,855	-732,555	-756,583	1,832,521	202,414	202,414
55	3	1	2	3,546,855	-732,555	-1,372,959	1,832,521	202,414	1,112,577
56	3	1	3	3,546,855	-732,555	-2,147,919	1,832,521	202,414	1,887,536
57	3	2	0	3,546,855	-1,507,839	-682,672	1,832,521	1,112,577	19,856
58	3	2	1	3,546,855	-1,507,839	-737,998	1,832,521	1,112,577	202,414
59	3	2	2	3,546,855	-1,507,839	-1,507,839	1,832,521	1,112,577	1,112,577
60	3	2	3	3,546,855	-1,507,839	-2,282,798	1,832,521	1,112,577	1,887,536
61	3	3	0	3,546,855	-2,255,291	-682,672	1,832,521	1,860,029	19,856
62	3	3	1	3,546,855	-2,255,291	-737,998	1,832,521	1,860,029	202,414
63	3	3	2	3,546,855	-2,255,291	-1,507,839	1,832,521	1,860,029	1,112,577
64	3	3	3	3,546,855	-2,255,291	-2,282,798	1,832,521	1,860,029	1,887,536

N/A = Not Applicable

ค่าในตารางที่ ค-11 บางกรณีจะไม่นำมาอยู่ในการคำนวณวิเคราะห์ เนื่องจากค่าดัชนีสภาพผิวทางในปี 2542 ของสายทางที่ 6 มีค่ามากกว่า 6.0 วิธีการซ่อมบำรุงจึงเลือกได้เพียง 2 วิธีคือ การซ่อมบำรุงปกติและการบูรณะผิวทาง โดยใช้สัญลักษณ์ N/A ในช่องที่ไม่นำมาพิจารณา และในแถวที่มีกรณีที่ไม่นำมาพิจารณานั้นก็จะไม่นำมาพิจารณาในการวางแผนงานด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากค่าในตารางว่า เมื่อเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่ทำให้ค่าดัชนีสภาพผิวทางกลับมาต่ำกว่า 6.0 แล้ว ในปีต่อ ๆ ไปจะสามารถพิจารณาการซ่อมโดยวิธีอื่น ๆ ได้อีกครั้งหนึ่ง

ค่าที่สามารถคำนวณได้ตามตารางที่ ค-10 และ ค-11 นี้ เมื่อเขียนให้อยู่ในรูปสมการ ตามระบบสมการที่ 2.7 จะเป็นสมการที่ประกอบไปด้วยตัวแปร 86 ตัวแปร และสมการข้อจำกัด 5 สมการ ดังที่แสดงในสมการที่ ค.2 คือ

Maximize:

$$
\begin{aligned}
&432{,}893\ X_{4000} + 542{,}463\ X_{4001} + 1{,}909{,}095\ X_{4002} + 1{,}218{,}894\ X_{4003} + \\
&530{,}435\ X_{4010} + 618{,}619\ X_{4011} + 1{,}739{,}583\ X_{4012} + 1{,}049{,}382\ X_{4013} + 1{,}725{,}236 \\
&X_{4020} + 1{,}642{,}743\ X_{4021} + 849{,}271\ X_{4022} + 159{,}070\ X_{4023} + 961{,}188\ X_{4030} + \\
&878{,}695\ X_{4031} + 85{,}223\ X_{4032} - 604{,}978\ X_{4033} + 516{,}860\ X_{4100} + 604{,}542\ X_{4101} + \\
&1{,}719{,}698\ X_{4102} + 1{,}029{,}497\ X_{4103} + 612{,}995\ X_{4110} + 681{,}060\ X_{4111} + 1{,}570{,}460 \\
&X_{4112} + 880{,}259\ X_{4113} + 1{,}635{,}808\ X_{4120} + 1{,}553{,}316\ X_{4121} + 759{,}844\ X_{4122} + \\
&69{,}642\ X_{4123} + 771{,}315\ X_{4130} + 688{,}822\ X_{4131} - 104{,}650\ X_{4132} - 794{,}851\ X_{4133} + \\
&1{,}515{,}052\ X_{4200} + 1{,}443{,}776\ X_{4201} + 754{,}852\ X_{4202} + 64{,}650\ X_{4203} + 1{,}448{,}656 \\
&X_{4210} + 1{,}368{,}271\ X_{4211} + 593{,}000\ X_{4212} - 97{,}201\ X_{4213} + 658{,}348\ X_{4220} + 575{,}856 \\
&X_{4221} - 217{,}616\ X_{4222} - 907{,}818\ X_{4223} - 206{,}145\ X_{4230} - 288{,}638\ X_{4231} - 1{,}082{,}110\ X_{4232} - \\
&1{,}772{,}311\ X_{4233} + 669{,}372\ X_{4300} + 598{,}097\ X_{4301} - 90{,}828\ X_{4302} - 781{,}029\ X_{4303} + \\
&602{,}977\ X_{4310} + 522{,}592\ X_{4311} - 252{,}679\ X_{4312} - 942{,}880\ X_{4313} - 187{,}331\ X_{4320} - \\
&269{,}824\ X_{4321} - 1{,}063{,}296\ X_{4322} - 1{,}753{,}497\ X_{4323} - 1{,}051{,}825\ X_{4330} - 1{,}134{,}317 \\
&X_{4331} - 1{,}927{,}789\ X_{4332} - 2{,}617{,}991\ X_{4333} - 1{,}497{,}011\ X_{6000} + 5{,}955{,}050\ X_{6003} + \\
&5{,}624{,}254\ X_{6030} + 5{,}569{,}281\ X_{6031} + 4{,}943{,}584\ X_{6032} + 4{,}325{,}790\ X_{6033} + \\
&5{,}241{,}223\ X_{6300} + 5{,}205{,}877\ X_{6301} + 4{,}788{,}543\ X_{6302} + 4{,}170{,}750\ X_{6303} + \\
&5{,}205{,}795\ X_{6310} + 5{,}161{,}301\ X_{6311} + 4{,}644{,}837\ X_{6312} + 4{,}027{,}043\ X_{6313} + \\
&4{,}599{,}931\ X_{6320} + 4{,}544{,}958\ X_{6321} + 3{,}919{,}260\ X_{6322} + 3{,}301{,}467\ X_{6323} + \\
&3{,}826{,}130\ X_{6330} + 3{,}771{,}157\ X_{6331} + 3{,}145{,}460\ X_{6332} + 2{,}527{,}667\ X_{6333} \qquad \text{(ค.2)}
\end{aligned}
$$

Subject to:

(1) $94{,}696\ X_{4000} + 246{,}077\ X_{40011} + 1{,}056{,}694\ X_{400} + 1{,}746{,}895\ X_{4003} + 263{,}823\ X_{4010} + 415{,}590\ X_{4011} + 1{,}226{,}207\ X_{4012} + 1{,}916{,}408\ X_{401} + 1{,}142{,}143\ X_{4020} + 1{,}305{,}901\ X_{4021} + 2{,}116{,}518\ X_{4022} + 2{,}806{,}719\ X_{4023} + 1{,}906{,}191\ X_{4030} + 2{,}069{,}949\ X_{4031} + 2{,}880{,}566\ X_{4032} + 3{,}570{,}767\ X_{4033} + 283{,}698\ X_{4100} + 435{,}475\ X_{4101} + 1{,}246{,}092\ X_{4102} + 1{,}936{,}293\ X_{4103} + 432{,}526\ X_{4110} + 584{,}712\ X_{4111} + 1{,}395{,}329\ X_{4112} + 2{,}085{,}530\ X_{4113} + 1{,}231{,}571\ X_{4120} + 1{,}395{,}329\ X_{4121} + 2{,}205{,}946\ X_{4122} + 2{,}896{,}147\ X_{4123} + 2{,}096{,}064\ X_{4130} + 2{,}259{,}823\ X_{4131} + 3{,}070{,}439\ X_{413} + 3{,}760{,}641\ X_{413} + 1{,}239{,}471\ X_{4200} + 1{,}400{,}321\ X_{4201} + 2{,}210{,}938\ X_{4202} + 2{,}901{,}139\ X_{4203} + 1{,}399{,}081\ X_{4210} + 1{,}562{,}172\ X_{4211} + 2{,}372{,}789\ X_{4212} + 3{,}062{,}990\ X_{4213} + 2{,}209{,}031\ X_{4220} + 2{,}372{,}789\ X_{4221} + 3{,}183{,}406\ X_{4222} + 3{,}873{,}607\ X_{4223} + 3{,}073{,}524\ X_{4230} + 3{,}237{,}283\ X_{4231} + 4{,}047{,}899\ X_{4232} + 4{,}738{,}101\ X_{4233} + 2{,}085{,}151\ X_{4300} + 2{,}246{,}001\ X_{4301} + 3{,}056{,}618\ X_{4302} + 3{,}746{,}819\ X_{4303} + 2{,}244{,}760\ X_{4310} + 2{,}407{,}852\ X_{4311} + 3{,}218{,}469\ X_{4312} + 3{,}908{,}670\ X_{4313} + 3{,}054{,}710\ X_{4320} + 3{,}218{,}469\ X_{4321} + 4{,}029{,}085\ X_{4322} + 4{,}719{,}287\ X_{4323} + 3{,}919{,}204\ X_{4330} + 4{,}082{,}962\ X_{4331} + 4{,}893{,}579\ X_{4332} + 5{,}583{,}780\ X_{4333} + 94{,}641\ X_{6000} + 1{,}570{,}610\ X_{6003} + 1{,}710{,}966\ X_{6030} + 1{,}856{,}501\ X_{6031} + 2{,}582{,}077\ X_{6032} + 3{,}199{,}870\ X_{6033} + 1{,}868{,}794\ X_{6300} + 2{,}011{,}541\ X_{6301} + 2{,}737{,}117\ X_{6302} + 3{,}354{,}910\ X_{6303} + 2{,}011{,}410\ X_{6310} + 2{,}155{,}248\ X_{6311} + 2{,}880{,}824\ X_{6312} + 3{,}498{,}617\ X_{6313} + 2{,}735{,}289\ X_{6320} + 2{,}880{,}824\ X_{6321} + 3{,}606{,}400\ X_{6322} + 4{,}224{,}193\ X_{6323} + 3{,}509{,}090\ X_{6330} + 3{,}654{,}624\ X_{6331} + 4{,}380{,}201\ X_{6332} + 4{,}997{,}994 X_{6333} \leq 22{,}000{,}000$

(2) $X_{4000} + X_{40011} + X_{400} + X_{4003} + X_{4010} + X_{4011} + X_{4012} + X_{401} + X_{4020} + X_{4021} + X_{4022} + X_{4023} + X_{4030} + X_{4031} + X_{4032} + X_{4033} + X_{4100} + X_{4101} + X_{4102} + X_{4103} + X_{4110} + X_{4111} + X_{4112} + X_{4113} + X_{4120} + X_{4121} + X_{4122} + X_{4123} + X_{4130} + X_{4131} + X_{413} + X_{413} + X_{4200} + X_{4201} + X_{4202} + X_{4203} + X_{4210} + X_{4211} + X_{4212} + X_{4213} + X_{4220} + X_{4221} + X_{4222} + X_{4223} + X_{4230} + X_{4231} + X_{4232} + X_{4233} + X_{4300} + X_{4301} + X_{4302} + X_{4303} + X_{4310} + X_{4311} + X_{4312} + X_{4313} + X_{4320} + X_{4321} + X_{4322} + X_{4323} + X_{4330} + X_{4331} + X_{4332} + X_{4333} = 1$

(3) $X_{6000} + X_{6003} + X_{6030} + X_{6031} + X_{6032} + X_{6033} + X_{6300} + X_{6301} + X_{6302} + X_{6303} + X_{6310} + X_{6311} + X_{6312} + X_{6313} + X_{6320} + X_{6321} + X_{6322} + X_{6323} + X_{6330} + X_{6331} + X_{6332} + X_{6333} = 1$

(4) $X = 0$ หรือ 1

(5) ค่า j = 0 หรือ 4 เมื่อ ค่า IRI $\geq$ 6.0

จากค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้ในตารางที่ ค-10 และ ค-11 และรูปแบบสมการนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ตามกรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด = $(4^2)^3$ = 4,096 กรณี เพื่อหาแผนงานที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุด ทั้งในแบบที่ไม่เกินวงเงินงบประมาณ และแบบที่ไม่พิจารณาวงเงินงบประมาณ โดยในตัวอย่างการพิจารณาแบบจำกัดงบประมาณนี้ ได้กำหนดงบประมาณสำหรับ 2 สายทางในระยะ 3 ปีเท่ากับ 2,000,000 บาท เมื่อใช้อัตราผลตอบแทนที่ 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจรในอนาคต จะสามารถแสดง 25 กรณีแรกที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดโดยที่ค่าใช้จ่ายรวมของการซ่อมบำรุงไม่เกินวงเงินงบประมาณได้ดังตารางที่ ค-12 และ 25 กรณีแรกที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดแบบไม่พิจารณาวงเงินงบประมาณ ดังในตารางที่ ค-13 ซึ่งสามารถอธิบายหัวข้อในแต่ละหลักของตารางได้ดังนี้

หลักที่ 1 (Case) คือกรณีของแผนการซ่อมบำรุงที่เกิดขึ้นสำหรับแต่ละช่วงสายทางในช่วงเวลา 3 ปีที่พิจารณา

หลักที่ 2 - 7 (Route) คือวิธีการซ่อมบำรุง (j)ของแต่ละปี เรียงตามลำดับปี 2542 – 2544 ของสองช่วงสายทางตัวอย่าง คือ ช่วงสายทางที่ 4 (R4) และช่วงสายทางที่ 6 (R6)

หลักที่ 8 -14 (Benefit - Cost) คือ ค่าผลประโยชน์รวม (บาท) จากการคำนวณสำหรับแต่ละช่วงสายทาง ตามวิธีการซ่อมบำรุงในแต่ละปี ในหลักที่ 2 - 7

หลักที่ 15 - 21 (Maintenance Cost) คือ ค่าใช้จ่าย (บาท) ของแต่ละช่วงสายทางจากวิธีการซ่อมบำรุงตามค่าในตารางหลักที่ 2-4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-12: กรณีของงานซ่อมบำรุง 2 สายทางที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุด 25 กรณีแรก เมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 3 ปี จำกัดงบประมาณที่ 2,000,000 บาท

	Route						Benefit - Cost							Maintenance Cost						
	R4			R6			R4			R6			Sum	R4			R6			
Case	2542	2543	2544	2542	2543	2544	2542	2543	2544	2542	2543	2544	Benefit - cost	2542	2543	2544	2542	2543	2544	Sum Cost
1	0	1	1	0	0	3	174601	220603	223415	-360629	-492799	6808478	6573669	34288	201026	180276	34397	31481	1504732	1986200
2	0	0	1	0	0	3	174601	145187	222674	-360629	-492799	6808478	6497512	34288	31514	180276	34397	31481	1504732	1816688
3	0	1	0	0	0	3	174601	220603	135230	-360629	-492799	6808478	6485485	34288	201026	28509	34397	31481	1504732	1834434
4	1	0	0	0	0	3	215180	165933	135747	-360629	-492799	6808478	6471910	224161	31038	28499	34397	31481	1504732	1854309
5	0	0	0	0	0	3	174601	145187	113105	-360629	-492799	6808478	6387943	34288	31514	28894	34397	31481	1504732	1665306
6	0	0	1	0	3	0	174601	145187	222674	-360629	5635932	348950	6166717	34288	31514	180276	34397	1660740	15829	1957043
7	0	1	0	0	3	0	174601	220603	135230	-360629	5635932	348950	6154689	34288	201026	28509	34397	1660740	15829	1974789
8	1	0	0	0	3	0	215180	165933	135747	-360629	5635932	348950	6141114	224161	31038	28499	34397	1660740	15829	1994665
9	0	0	0	0	3	0	174601	145187	113105	-360629	5635932	348950	6057147	34288	31514	28894	34397	1660740	15829	1805662
10	0	0	0	0	3	1	174601	145187	113105	-360629	5635932	293977	6002174	34288	31514	28894	34397	1660740	161363	1951196
11	0	0	0	3	0	0	174601	145187	113105	4553886	361358	325980	5674117	34288	31514	28894	1832521	17657	18616	1963490
12	0	1	2	0	0	0	174601	220603	1344378	-360629	-492799	-643583	242572	34288	201026	990892	34397	31481	28763	1320847
13	0	2	0	0	0	0	174601	1252430	298205	-360629	-492799	-643583	228225	34288	1091338	16517	34397	31481	28763	1236784
14	1	0	2	0	0	0	215180	165933	1338585	-360629	-492799	-643583	222686	224161	31038	990892	34397	31481	28763	1340732
15	0	2	1	0	0	0	174601	1252430	215712	-360629	-492799	-643583	145732	34288	1091338	180276	34397	31481	28763	1400542
16	1	2	0	0	0	0	215180	1122423	298205	-360629	-492799	-643583	138797	224161	990892	16517	34397	31481	28763	1326211
17	1	1	2	0	0	0	215180	242018	1113262	-360629	-492799	-643583	73449	224161	180276	990892	34397	31481	28763	1489970
18	1	2	1	0	0	0	215180	1122423	215712	-360629	-492799	-643583	56304	224161	990892	180276	34397	31481	28763	1489970
19	0	0	3	0	0	0	174601	145187	899106	-360629	-492799	-643583	-278117	34288	31514	1681094	34397	31481	28763	1841536
20	2	0	0	0	0	0	215180	310204	288385	-360629	-492799	-643583	-683242	1201621	18424	19426	34397	31481	28763	1334112
21	2	1	0	0	0	0	215180	235840	296353	-360629	-492799	-643583	-749638	1201621	180276	17184	34397	31481	28763	1493721
22	2	0	1	0	0	0	215180	310204	217109	-360629	-492799	-643583	-754518	1201621	18424	180276	34397	31481	28763	1494962
23	1	1	1	0	0	0	215180	242018	223862	-360629	-492799	-643583	-815951	224161	180276	180276	34397	31481	28763	679353
24	2	1	1	0	0	0	215180	235840	215969	-360629	-492799	-643583	-830023	1201621	180276	180276	34397	31481	28763	1656813
25	0	1	1	0	0	0	174601	220603	223415	-360629	-492799	-643583	-878392	34288	201026	180276	34397	31481	28763	510230

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-13: กรณีของงานซ่อมบำรุงสำหรับ 2 สายทางที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดโดยไม่จำกัดงบประมาณ 25 กรณีแรก เมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 3 ปี

	Route						Benefit - Cost							Maintenance Cost						
	R4			R6			R4			R6			Sum	R4			R6			
Case	2542	2543	2544	2542	2543	2544	2542	2543	2544	2542	2543	2544	Benefit - cost	2542	2543	2544	2542	2543	2544	Sum Cost
1	0	1	2	0	0	3	174601	220603	1344378	-360629	-492799	6808478	7694633	34288	201026	990892	34397	31481	1504732	2796817
2	0	2	0	0	0	3	174601	1252430	298205	-360629	-492799	6808478	7680286	34288	1091338	16517	34397	31481	1504732	2712753
3	1	0	2	0	0	3	215180	165933	1338585	-360629	-492799	6808478	7674748	224161	31038	990892	34397	31481	1504732	2816702
4	0	2	1	0	0	3	174601	1252430	215712	-360629	-492799	6808478	7597793	34288	1091338	180276	34397	31481	1504732	2876512
5	1	2	0	0	0	3	215180	1122423	298205	-360629	-492799	6808478	7590858	224161	990892	16517	34397	31481	1504732	2802181
6	1	1	2	0	0	3	215180	242018	1113262	-360629	-492799	6808478	7525510	224161	180276	990892	34397	31481	1504732	2965940
7	1	2	1	0	0	3	215180	1122423	215712	-360629	-492799	6808478	7508365	224161	990892	180276	34397	31481	1504732	2965940
8	0	1	2	0	3	0	174601	220603	1344378	-360629	5635932	348950	7363837	34288	201026	990892	34397	1660740	15829	2937173
9	0	2	0	0	3	0	174601	1252430	298205	-360629	5635932	348950	7349490	34288	1091338	16517	34397	1660740	15829	2853109
10	1	0	2	0	3	0	215180	165933	1338585	-360629	5635932	348950	7343952	224161	31038	990892	34397	1660740	15829	2957058
11	0	1	2	0	3	1	174601	220603	1344378	-360629	5635932	293977	7308864	34288	201026	990892	34397	1660740	161363	3082707
12	0	2	0	0	3	1	174601	1252430	298205	-360629	5635932	293977	7294517	34288	1091338	16517	34397	1660740	161363	2998643
13	1	0	2	0	3	1	215180	165933	1338585	-360629	5635932	293977	7288979	224161	31038	990892	34397	1660740	161363	3102592
14	0	2	1	0	3	0	174601	1252430	215712	-360629	5635932	348950	7266997	34288	1091338	180276	34397	1660740	15829	3016868
15	1	2	0	0	3	0	215180	1122423	298205	-360629	5635932	348950	7260062	224161	990892	16517	34397	1660740	15829	2942537
16	0	2	1	0	3	1	174601	1252430	215712	-360629	5635932	293977	7212024	34288	1091338	180276	34397	1660740	161363	3162402
17	1	2	0	0	3	1	215180	1122423	298205	-360629	5635932	293977	7205089	224161	990892	16517	34397	1660740	161363	3088071
18	1	1	2	0	3	0	215180	242018	1113262	-360629	5635932	348950	7194714	224161	180276	990892	34397	1660740	15829	3106295
19	1	2	1	0	3	0	215180	1122423	215712	-360629	5635932	348950	7177569	224161	990892	180276	34397	1660740	15829	3106295
20	0	0	3	0	0	3	174601	145187	899106	-360629	-492799	6808478	7173944	34288	31514	1681094	34397	31481	1504732	3317506
21	1	1	2	0	3	1	215180	242018	1113262	-360629	5635932	293977	7139741	224161	180276	990892	34397	1660740	161363	3251830
22	1	2	1	0	3	1	215180	1122423	215712	-360629	5635932	293977	7122596	224161	990892	180276	34397	1660740	161363	3251830
23	0	1	3	0	0	3	174601	220603	654177	-360629	-492799	6808478	7004432	34288	201026	1681094	34397	31481	1504732	3487018
24	1	0	3	0	0	3	215180	165933	648384	-360629	-492799	6808478	6984546	224161	31038	1681094	34397	31481	1504732	3506903
25	0	1	2	3	0	0	174601	220603	1344378	4553886	361358	325980	6980806	34288	201026	990892	1832521	17657	18616	3095001

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากค่าที่แสดงในตาราง ค.12 จะได้คำตอบของสมการจากการวิเคราะห์จากแผนงานลำดับแรกในตารางที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด และมีค่าใช้จ่ายไม่เกินงบประมาณ เป็นแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับปี 2542 - 2544 ดังตารางที่ ค-14 คือ

ตารางที่ ค-14: แผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อจำกัดงบประมาณที่ 2,200,000 บาท

ช่วงสายทางที่ 4			ช่วงสายทางที่ 6			Benefit - Cost	Maint. Cost
2542	2543	2544	2542	2543	2544		
2	0	0	0	0	3	6,768,819	1,832,622

คือการเลือกวิธีซ่อมบำรุงสำหรับช่วงสายทางที่ 4 แบบงานเสริมผิวทาง ในปีแรก และใช้การบำรุงปกติในอีก 2 ปีถัดไป และเลือกทำงานบำรุงปกติสำหรับช่วงสายทางที่ 6 ในปี 2542 และ 2543 แล้วจึงทำการบูรณะผิวทางในปี 2544 โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทั้งหมดในช่วง 3 ปีเท่ากับ 1,832,622 บาท ซึ่งไม่เกินจากงบประมาณ 2,200,000 บาท

และจากค่าที่แสดงในตาราง ค-13 จะได้คำตอบของสมการจากการวิเคราะห์จากแผนงานลำดับแรกในตารางที่ให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงที่สุด เป็นแผนงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับปี 2542 - 2544 ดังตารางที่ ค-15 คือ

ตารางที่ ค-15: แผนการซ่อมบำรุงทางแบบพิจารณาต่อเนื่อง 3 ปี สำหรับ 2 สายทางตัวอย่าง ที่ให้ค่าผลประโยชน์สูงสุดเมื่อไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านงบประมาณ

ช่วงสายทางที่ 4			ช่วงสายทางที่ 6			Benefit - Cost	Maint. Cost
2542	2543	2544	2542	2543	2544		
0	1	2	0	0	3	7,694,633	2,796,817

คือการเลือกวิธีซ่อมบำรุงสำหรับช่วงสายทางที่ 4 แบบงานบำรุงปกติ ในปีแรก และใช้การฉาบผิวทางและเสริมผิวทางในอีก 2 ปีถัดไปตามลำดับ และเลือกทำงานบำรุงปกติสำหรับช่วงสายทางที่ 6 ในปี 2542 และ 2543 แล้วจึงทำการบูรณะผิวทางในปี 2544 โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทั้งหมดในช่วง 3 ปีเท่ากับ 2,796,817 บาท ซึ่งให้ค่าผลประโยชน์รวมสูงสุดในช่วง 3 ปีที่มูลค่าปัจจุบัน ณ ปี 2542 เท่ากับ 7,694,633 บาท

ภาคผนวก ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

ตารางที่ ง-1: ค่าผลประโยชน์รวมที่ MARR = 0% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร

		Benefit – Cost				% Change			
AADT	IRI	Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	-30,696	-226,813	-1,159,771	-1,973,707	-1025%	-14%	-2%	-1%
	3.0	-34,487	-227,823	-1,150,173	-1,964,109	-552%	-14%	-2%	-1%
	4.0	-40,885	-230,171	-1,128,939	-1,942,875	-357%	-16%	-2%	-1%
	5.0	-47,180	-232,954	-1,104,991	-1,918,927	-289%	-17%	-2%	-1%
	6.0	-53,849	-	-	-1,892,265	-252%	-	-	-1%
	8.0	-68,871	-	-	-1,830,796	-209%	-	-	-1%
500	2.5	-56,676	-243,509	-1,164,769	-1,978,705	-528%	-39%	-6%	-3%
	3.0	-63,613	-246,042	-1,140,773	-1,954,709	-778%	-41%	-6%	-4%
	4.0	-76,869	-251,925	-1,087,689	-1,901,625	-2669%	-45%	-7%	-4%
	5.0	-91,004	-258,898	-1,027,819	-1,841,755	-2609%	-49%	-7%	-4%
	6.0	-106,565	-	-	-1,775,099	-943%	-	-	-4%
	8.0	-142,613	-	-	-1,621,427	-447%	-	-	-4%
1,000	2.5	-98,194	-271,590	-1,173,412	-1,987,348	-336%	-102%	-13%	-7%
	3.0	-110,151	-276,681	-1,125,418	-1,939,354	-407%	-107%	-13%	-7%
	4.0	-134,595	-288,497	-1,019,252	-1,833,188	-636%	-117%	-15%	-8%
	5.0	-161,653	-302,492	-899,512	-1,713,448	-1286%	-128%	-17%	-8%
	6.0	-191,936	-	-	-1,580,136	-25128%	-	-	-9%
	8.0	-262,897	-	-	-1,272,792	-782%	-	-	-12%
2,000	2.5	-179,562	-328,714	-1,191,874	-2,005,810	-279%	-509%	-29%	-15%
	3.0	-201,350	-338,994	-1,095,887	-1,909,823	-322%	-542%	-32%	-16%
	4.0	-247,946	-362,823	-883,553	-1,697,489	-447%	-606%	-43%	-19%
	5.0	-300,720	-391,010	-644,074	-1,458,010	-703%	-669%	-71%	-22%
	6.0	-360,355	-	-	-1,191,385	-1538%	-	-	-29%
	8.0	-501,016	-	-	-576,698	-1338%	-	-	-86%
4,000	2.5	-340,436	-446,811	-1,233,550	-2,047,486	-256%	-533%	-76%	-35%
	3.0	-381,660	-467,765	-1,041,575	-1,855,511	-289%	-545%	-105%	-40%
	4.0	-472,312	-516,211	-616,909	-1,430,845	-384%	-581%	-640%	-59%
	5.0	-576,371	-573,375	-137,950	-951,886	-562%	-633%	-135%	-128%
	6.0	-694,610	-	-	-418,636	-1012%	-	-	-464%
	8.0	-974,535	-	-	810,738	-2209%	-	-	-40%
6,000	2.5	-500,453	-570,052	-1,281,648	-2,095,584	-248%	-323%	-167%	-62%
	3.0	-561,014	-602,075	-993,687	-1,807,623	-278%	-333%	-417%	-80%
	4.0	-695,612	-675,929	-356,687	-1,170,623	-365%	-359%	-180%	-217%
	5.0	-850,891	-762,858	361,751	-452,185	-524%	-394%	-69%	-229%
	6.0	-1,027,688	-	-	347,690	-900%	-	-	-70%
	8.0	-1,446,815	-	-	2,191,752	-2895%	-	-	-27%
10,000	2.5	-819,493	-832,029	-1,397,533	-2,211,469	-242%	-252%	-2295%	-154%
	3.0	-918,628	-887,373	-917,598	-1,731,534	-270%	-262%	-318%	-341%
	4.0	-1,141,000	-1,014,406	144,069	-669,867	-350%	-285%	-90%	-200%
	5.0	-1,398,645	-1,163,233	1,341,465	527,529	-495%	-313%	-50%	-72%
	6.0	-1,692,508	-	-	1,860,654	-822%	-	-	-42%
	8.0	-2,389,969	-	-	4,934,090	-3942%	-	-	-21%
15,000	2.5	-1,217,432	-1,188,702	-1,580,422	-2,394,358	-238%	-234%	-463%	-532%
	3.0	-1,364,722	-1,275,417	-860,520	-1,674,456	-265%	-244%	-175%	-591%
	4.0	-1,696,719	-1,473,363	731,981	-81,955	-343%	-268%	-73%	-104%
	5.0	-2,082,265	-1,704,000	2,528,075	1,714,139	-481%	-297%	-44%	-54%
	6.0	-2,522,419	-	-	3,713,826	-785%	-	-	-35%
	8.0	-3,567,740	-	-	8,323,980	-4891%	-	-	-19%

ตารางที่ ง-2: ค่าผลประโยชน์รวมที่ MARR = 7% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร

		Benefit – Cost				% Change			
AADT	IRI	Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	-13,619	-210,051	-1,143,520	-1,957,456	-399.3%	-5.4%	-0.9%	-0.5%
	3.0	-16,657	-210,367	-1,133,921	-1,947,857	-215.1%	-5.6%	-0.9%	-0.5%
	4.0	-21,380	-211,172	-1,112,688	-1,926,624	-139.1%	-6.1%	-0.9%	-0.5%
	5.0	-25,775	-212,206	-1,088,740	-1,902,676	-112.6%	-6.7%	-1.0%	-0.5%
	6.0	-30,317			-1,876,013	-98.0%	-	-	-0.6%
	8.0	-40,407			-1,814,545	-81.6%	-	-	-0.6%
500	2.5	-13,983	-201,596	-1,124,133	-1,938,069	-205.6%	-15.3%	-2.4%	-1.4%
	3.0	-19,038	-202,394	-1,100,137	-1,914,073	-302.8%	-15.9%	-2.4%	-1.4%
	4.0	-28,107	-204,419	-1,047,053	-1,860,989	-1039.4%	-17.4%	-2.5%	-1.4%
	5.0	-37,489	-207,019	-987,183	-1,801,119	-1015.8%	-19.0%	-2.7%	-1.5%
	6.0	-47,733			-1,734,463	-367.4%	-	-	-1.5%
	8.0	-71,454			-1,580,791	-174.1%	-	-	-1.7%
1,000	2.5	-12,809	-187,744	-1,092,114	-1,906,050	-130.8%	-39.8%	-5.0%	-2.8%
	3.0	-21,001	-189,362	-1,044,121	-1,858,057	-158.6%	-41.7%	-5.2%	-2.9%
	4.0	-37,070	-193,460	-937,954	-1,751,890	-247.5%	-45.6%	-5.9%	-3.0%
	5.0	-54,624	-198,706	-818,214	-1,632,150	-500.6%	-49.9%	-6.8%	-3.3%
	6.0	-74,273			-1,498,838	-9785.0%	-	-	-3.6%
	8.0	-120,578			-1,191,494	-304.4%	-	-	-4.5%
2,000	2.5	-8,791	-160,939	-1,029,176	-1,843,112	-108.8%	-198.4%	-11.2%	-6.0%
	3.0	-23,051	-164,267	-933,189	-1,747,125	-125.4%	-210.9%	-12.5%	-6.3%
	4.0	-52,897	-172,646	-720,855	-1,534,791	-174.0%	-236.2%	-16.8%	-7.3%
	5.0	-86,661	-183,322	-481,376	-1,295,312	-273.8%	-260.4%	-27.5%	-8.7%
	6.0	-125,029			-1,028,687	-599.1%	-	-	-11.2%
	8.0	-216,379			-414,000	-520.9%	-	-	-33.4%
4,000	2.5	1,106	-110,925	-907,741	-1,721,677	-99.5%	-207.4%	-29.7%	-13.7%
	3.0	-25,062	-117,949	-715,767	-1,529,703	-112.4%	-212.2%	-40.9%	-15.7%
	4.0	-82,214	-135,445	-291,100	-1,105,036	-149.4%	-226.1%	-249.4%	-23.2%
	5.0	-148,255	-157,535	187,859	-626,077	-218.8%	-246.3%	-52.5%	-49.7%
	6.0	-223,958			-92,827	-393.9%	-	-	-180.7%
	8.0	-405,259			1,136,547	-860.3%	-	-	-15.5%
6,000	2.5	11,860	-65,719	-792,308	-1,606,244	-96.5%	-125.7%	-65.0%	-24.1%
	3.0	-26,117	-76,809	-504,347	-1,318,283	-108.3%	-129.7%	-162.3%	-31.0%
	4.0	-110,465	-104,158	132,654	-681,282	-142.0%	-140.0%	-70.2%	-84.5%
	5.0	-208,717	-138,399	851,091	37,155	-203.9%	-153.3%	-26.8%	-89.4%
	6.0	-321,711			837,030	-350.3%	-	-	-27.2%
	8.0	-592,901			2,681,092	-1127.2%	-	-	-10.4%
10,000	2.5	34,362	10,212	-579,842	-1,393,778	-94.1%	-98.1%	-893.6%	-59.8%
	3.0	-27,133	-10,114	-99,907	-913,843	-105.0%	-101.8%	-123.7%	-132.9%
	4.0	-165,754	-59,382	961,760	147,824	-136.3%	-110.8%	-35.2%	-77.9%
	5.0	-328,355	-120,138	2,159,156	1,345,220	-192.7%	-122.0%	-19.5%	-27.9%
	6.0	-515,879			2,678,344	-320.0%	-	-	-16.3%
	8.0	-966,779			5,751,781	-1534.9%	-	-	-8.3%
15,000	2.5	63,351	77,834	-349,805	-1,163,741	-92.8%	-91.2%	-180.4%	-207.1%
	3.0	-27,479	43,889	370,098	-443,838	-103.3%	-95.0%	-68.0%	-230.2%
	4.0	-233,850	-36,925	1,962,598	1,148,662	-133.5%	-104.2%	-28.6%	-40.6%
	5.0	-476,829	-134,972	3,758,692	2,944,756	-187.2%	-115.6%	-17.3%	-21.0%
	6.0	-757,475			4,944,443	-305.8%	-	-	-13.7%
	8.0	-1,432,956			9,554,598	-1904.5%	-	-	-7.6%

หมายเหตุ: ช่องที่พิมพ์สีเข้มหมายถึงค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในแต่ละสภาพสายทาง

ตารางที่ ง-3: ค่าผลประโยชน์รวมที่ MARR = 20% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร

		Benefit – Cost				% Change			
AADT	IRI	Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	12,810	-184,109	-1,118,369	-1,932,305	570%	8%	1%	1%
	3.0	10,936	-183,351	-1,108,770	-1,922,706	307%	8%	1%	1%
	4.0	8,806	-181,768	-1,087,537	-1,901,473	198%	9%	1%	1%
	5.0	7,353	-180,096	-1,063,589	-1,877,525	161%	9%	1%	1%
	6.0	6,103			-1,850,862	140%			1%
	8.0	3,644			-1,789,394	116%			1%
500	2.5	52,089	-136,732	-1,061,244	-1,875,180	293%	22%	3%	2%
	3.0	49,946	-134,843	-1,037,247	-1,851,183	432%	23%	3%	2%
	4.0	47,359	-130,899	-984,164	-1,798,100	1483%	25%	4%	2%
	5.0	45,331	-126,731	-924,294	-1,738,230	1449%	27%	4%	2%
	6.0	43,316			-1,671,574	524%			2%
	8.0	38,674			-1,517,902	248%			2%
1,000	2.5	119,336	-57,983	-966,296	-1,780,232	187%	57%	7%	4%
	3.0	116,968	-54,227	-918,303	-1,732,239	226%	59%	7%	4%
	4.0	113,861	-46,379	-812,136	-1,626,072	353%	65%	8%	4%
	5.0	111,016	-38,085	-692,397	-1,506,333	714%	71%	10%	5%
	6.0	107,824			-1,373,020	13960%			5%
	8.0	99,677			-1,065,677	434%			6%
2,000	2.5	255,497	98,713	-777,382	-1,591,318	155%	283%	16%	9%
	3.0	252,888	106,144	-681,395	-1,495,331	179%	301%	18%	9%
	4.0	248,965	121,676	-469,061	-1,282,997	248%	337%	24%	10%
	5.0	244,619	138,099	-229,582	-1,043,518	391%	371%	39%	12%
	6.0	239,166			-776,893	855%			16%
	8.0	224,132			-162,206	743%			48%
4,000	2.5	529,683	408,898	-403,513	-1,217,449	142%	296%	42%	20%
	3.0	526,816	423,432	-211,538	-1,025,474	160%	303%	58%	22%
	4.0	521,510	453,838	213,128	-600,808	213%	323%	356%	33%
	5.0	514,306	486,027	692,087	-121,849	312%	351%	75%	71%
	6.0	504,431			411,401	562%			258%
	8.0	475,762			1,640,775	1227%			22%
6,000	2.5	804,725	714,796	-34,995	-848,931	138%	179%	93%	34%
	3.0	801,700	736,104	252,966	-560,970	154%	185%	232%	44%
	4.0	795,120	780,726	889,966	76,030	203%	200%	100%	121%
	5.0	785,124	828,024	1,608,403	794,467	291%	219%	38%	127%
	6.0	770,874			1,594,342	500%			39%
	8.0	728,632			3,438,404	1608%			15%
10,000	2.5	1,355,804	1,313,681	685,632	-128,304	134%	140%	1275%	85%
	3.0	1,352,562	1,347,550	1,165,567	351,631	150%	145%	176%	190%
	4.0	1,343,554	1,418,633	2,227,234	1,413,298	195%	158%	50%	111%
	5.0	1,328,047	1,494,176	3,424,630	2,610,694	275%	174%	28%	40%
	6.0	1,305,095			3,943,819	456%			23%
	8.0	1,235,775			7,017,255	2190%			12%
15,000	2.5	2,045,514	2,037,950	1,554,722	740,786	132%	130%	257%	296%
	3.0	2,042,063	2,085,672	2,274,625	1,460,689	147%	136%	97%	328%
	4.0	2,030,113	2,186,134	3,867,125	3,053,189	190%	149%	41%	58%
	5.0	2,007,773	2,293,285	5,663,219	4,849,283	267%	165%	25%	30%
	6.0	1,973,986			6,848,970	436%			20%
	8.0	1,870,876			11,459,124	2717%			11%

หมายเหตุ: ช่องที่พิมพ์สีเข้มหมายถึงค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในแต่ละสภาพสายทาง

ตารางที่ ง-4: ค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร =5%, MARR = 12% และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร

AADT	IRI	Benefit – Cost				% Change			
		Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	-14,383	-210,800	-1,144,247	-1,958,183	-427.3%	-5.7%	-1.0%	-0.6%
	3.0	-17,456	-211,148	-1,134,648	-1,948,584	-230.2%	-6.0%	-1.0%	-0.6%
	4.0	-22,255	-212,021	-1,113,415	-1,927,351	-148.9%	-6.5%	-1.0%	-0.6%
	5.0	-26,736	-213,134	-1,089,467	-1,903,403	-120.5%	-7.1%	-1.0%	-0.6%
	6.0	-31,375			-1,876,740	-105.0%	-	-	-0.6%
	8.0	-41,690			-1,815,272	-87.3%	-	-	-0.6%
500	2.5	-15,902	-203,475	-1,125,957	-1,939,893	-220.1%	-16.4%	-2.5%	-1.5%
	3.0	-21,045	-204,350	-1,101,960	-1,915,896	-324.1%	-17.1%	-2.6%	-1.5%
	4.0	-30,310	-206,549	-1,048,876	-1,862,812	-1113.1%	-18.6%	-2.7%	-1.5%
	5.0	-39,915	-209,346	-989,007	-1,802,943	-1088.0%	-20.4%	-2.9%	-1.6%
	6.0	-50,408			-1,736,286	-393.6%	-	-	-1.6%
	8.0	-74,709			-1,582,615	-186.6%	-	-	-1.8%
1,000	2.5	-16,673	-191,518	-1,095,780	-1,909,716	-140.0%	-42.6%	-5.3%	-3.0%
	3.0	-25,050	-193,293	-1,047,787	-1,861,723	-169.9%	-44.6%	-5.6%	-3.1%
	4.0	-41,528	-197,739	-941,620	-1,755,556	-265.3%	-48.8%	-6.3%	-3.3%
	5.0	-59,549	-203,381	-821,880	-1,635,816	-536.8%	-53.5%	-7.2%	-3.5%
	6.0	-79,722			-1,502,504	-10495.6%	-	-	-3.8%
	8.0	-127,246			-1,195,160	-326.8%	-	-	-4.9%
2,000	2.5	-16,627	-168,549	-1,036,587	-1,850,523	-116.6%	-212.5%	-12.0%	-6.4%
	3.0	-31,284	-172,196	-940,600	-1,754,536	-134.5%	-225.9%	-13.4%	-6.8%
	4.0	-62,022	-181,284	-728,266	-1,542,202	-186.7%	-253.0%	-18.0%	-7.8%
	5.0	-96,805	-192,760	-488,787	-1,302,723	-294.2%	-278.9%	-29.4%	-9.3%
	6.0	-136,319			-1,036,098	-644.2%	-	-	-12.0%
	8.0	-230,343			-421,411	-561.0%	-	-	-35.8%
4,000	2.5	-14,988	-126,401	-922,882	-1,736,818	-106.8%	-222.4%	-31.8%	-14.7%
	3.0	-42,076	-134,084	-730,908	-1,544,844	-120.8%	-227.5%	-43.9%	-16.9%
	4.0	-101,299	-153,035	-306,241	-1,120,177	-160.8%	-242.5%	-267.6%	-24.8%
	5.0	-169,719	-176,766	172,718	-641,218	-236.0%	-264.2%	-56.3%	-53.3%
	6.0	-248,108			-107,968	-425.6%	-	-	-193.9%
	8.0	-435,703			1,121,406	-932.4%	-	-	-16.6%
6,000	2.5	-12,915	-89,319	-815,509	-1,629,445	-103.8%	-134.9%	-69.8%	-25.9%
	3.0	-52,459	-101,427	-527,548	-1,341,484	-116.7%	-139.3%	-174.4%	-33.3%
	4.0	-140,347	-131,018	109,452	-704,484	-153.4%	-150.3%	-75.4%	-90.8%
	5.0	-242,678	-167,778	827,890	13,954	-220.8%	-164.6%	-28.8%	-96.0%
	6.0	-360,292			813,829	-380.3%	-	-	-29.2%
	8.0	-642,342			2,657,890	-1229.5%	-	-	-11.2%
10,000	2.5	-9,049	-30,414	-620,198	-1,434,134	-101.6%	-105.6%	-962.8%	-64.4%
	3.0	-73,778	-52,535	-140,262	-954,198	-113.6%	-109.6%	-133.3%	-143.2%
	4.0	-219,741	-105,737	921,405	107,469	-148.2%	-119.2%	-37.9%	-83.9%
	5.0	-390,848	-170,887	2,118,800	1,304,864	-210.3%	-131.3%	-21.0%	-30.1%
	6.0	-588,043			2,637,989	-350.7%	-	-	-17.6%
	8.0	-1,061,780			5,711,425	-1695.6%	-	-	-9.0%
15,000	2.5	-5,744	14,449	-413,654	-1,227,590	-100.7%	-98.4%	-195.1%	-224.0%
	3.0	-102,593	-22,372	306,249	-507,687	-112.4%	-102.5%	-73.5%	-248.9%
	4.0	-322,686	-109,456	1,898,749	1,084,813	-146.2%	-112.4%	-30.9%	-43.9%
	5.0	-581,630	-214,462	3,694,843	2,880,907	-206.3%	-124.8%	-18.7%	-22.8%
	6.0	-880,485			4,880,594	-339.2%	-	-	-14.8%
	8.0	-1,599,115			9,490,749	-2136.9%	-	-	-8.2%

หมายเหตุ: ช่องที่พิมพ์สีเข้มหมายถึงค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในแต่ละสภาพสายทาง

ตารางที่ ง-5: ค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร =10%, MARR = 12% และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร

		Benefit – Cost				% Change			
AADT	IRI	Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	-26,039	-222,240	-1,155,338	-1,969,274	-855%	-11%	-2%	-1%
	3.0	-29,626	-223,061	-1,145,740	-1,959,676	-460%	-12%	-2%	-1%
	4.0	-35,570	-224,988	-1,124,506	-1,938,442	-298%	-13%	-2%	-1%
	5.0	-41,350	-227,294	-1,100,558	-1,914,494	-241%	-14%	-2%	-1%
	6.0	-47,442			-1,887,832	-210%			-1%
	8.0	-61,128			-1,826,363	-175%			-1%
500	2.5	-45,050	-232,084	-1,153,696	-1,967,632	-440%	-33%	-5%	-3%
	3.0	-51,482	-234,144	-1,129,700	-1,943,636	-648%	-34%	-5%	-3%
	4.0	-63,613	-238,977	-1,076,616	-1,890,552	-2226%	-37%	-5%	-3%
	5.0	-76,473	-244,759	-1,016,747	-1,830,683	-2176%	-41%	-6%	-3%
	6.0	-90,609			-1,764,026	-787%			-3%
	8.0	-123,354			-1,610,355	-373%			-4%
1,000	2.5	-74,998	-248,767	-1,151,298	-1,965,234	-280%	-85%	-11%	-6%
	3.0	-85,960	-252,914	-1,103,304	-1,917,240	-340%	-89%	-11%	-6%
	4.0	-108,193	-262,633	-997,137	-1,811,073	-531%	-98%	-13%	-7%
	5.0	-132,747	-274,249	-877,398	-1,691,334	-1074%	-107%	-14%	-7%
	6.0	-160,230			-1,558,021	-20994%			-8%
	8.0	-224,708			-1,250,678	-654%			-10%
2,000	2.5	-133,392	-283,170	-1,147,773	-1,961,709	-233%	-425%	-24%	-13%
	3.0	-153,255	-291,571	-1,051,786	-1,865,722	-269%	-452%	-27%	-14%
	4.0	-195,580	-311,222	-839,452	-1,653,388	-374%	-506%	-36%	-16%
	5.0	-243,522	-334,668	-599,973	-1,413,909	-588%	-558%	-59%	-19%
	6.0	-297,765			-1,147,284	-1289%			-24%
	8.0	-425,956			-532,597	-1122%			-72%
4,000	2.5	-248,983	-356,136	-1,145,866	-1,959,802	-214%	-445%	-64%	-29%
	3.0	-286,617	-373,366	-953,892	-1,767,828	-242%	-455%	-88%	-34%
	4.0	-369,333	-413,519	-529,225	-1,343,161	-322%	-485%	-535%	-50%
	5.0	-464,443	-461,264	-50,267	-864,203	-472%	-528%	-113%	-107%
	6.0	-572,722			-330,953	-852%			-388%
	8.0	-829,691			898,421	-1866%			-33%
6,000	2.5	-364,606	-434,664	-1,150,921	-1,964,857	-208%	-270%	-140%	-52%
	3.0	-420,174	-461,148	-862,960	-1,676,896	-233%	-279%	-349%	-67%
	4.0	-543,775	-522,656	-225,960	-1,039,896	-307%	-301%	-151%	-182%
	5.0	-686,705	-595,552	492,478	-321,458	-442%	-329%	-58%	-192%
	6.0	-849,801			478,417	-761%			-58%
	8.0	-1,237,473			2,322,478	-2461%			-22%
10,000	2.5	-597,530	-608,475	-1,182,417	-1,996,353	-203%	-211%	-1926%	-129%
	3.0	-689,652	-654,744	-702,482	-1,516,418	-227%	-219%	-267%	-286%
	4.0	-896,725	-761,520	359,185	-454,751	-297%	-239%	-76%	-168%
	5.0	-1,137,375	-887,275	1,556,581	742,645	-421%	-263%	-42%	-60%
	6.0	-1,412,547			2,075,770	-702%			-35%
	8.0	-2,067,535			5,149,206	-3396%			-18%
15,000	2.5	-892,852	-857,334	-1,263,222	-2,077,158	-201%	-197%	-390%	-448%
	3.0	-1,032,079	-930,734	-543,320	-1,357,256	-225%	-205%	-147%	-498%
	4.0	-1,346,828	-1,098,887	1,049,181	235,245	-293%	-225%	-62%	-88%
	5.0	-1,713,627	-1,295,511	2,845,275	2,031,339	-413%	-250%	-37%	-46%
	6.0	-2,133,536			4,031,026	-680%			-30%
	8.0	-3,133,872			8,641,180	-4284%			-16%

หมายเหตุ: ช่องที่พิมพ์สีเข้มหมายถึงค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในแต่ละสภาพสายทาง

ตารางที่ ง-6: ค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร =-10%, MARR = 12% และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลประโยชน์รวมที่อัตราผลตอบแทน 12% และไม่พิจารณาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร

		Benefit - Cost				% Change			
AADT	IRI	Routine	Seal	Overlay	Rehab.	Routine	Seal	Overlay	Rehab.
200	2.5	20,583	-176,481	-1,110,973	-1,924,909	854.6%	11.5%	2.0%	1.1%
	3.0	19,053	-175,407	-1,101,374	-1,915,310	460.4%	12.0%	2.0%	1.1%
	4.0	17,687	-173,122	-1,080,141	-1,894,077	297.8%	13.0%	2.0%	1.2%
	5.0	17,102	-170,655	-1,056,193	-1,870,129	241.1%	14.2%	2.1%	1.2%
	6.0	16,822			-1,843,467	209.9%	-	-	1.2%
	8.0	16,615			-1,781,998	174.7%	-	-	1.2%
500	2.5	71,534	-117,652	-1,042,742	-1,856,678	440.1%	32.7%	5.1%	2.9%
	3.0	70,254	-114,973	-1,018,745	-1,832,681	648.2%	34.1%	5.2%	2.9%
	4.0	69,587	-109,271	-965,662	-1,779,598	2225.9%	37.2%	5.4%	3.0%
	5.0	69,739	-103,112	-905,792	-1,719,728	2175.7%	40.7%	5.8%	3.1%
	6.0	70,164			-1,653,072	787.0%	-	-	3.2%
	8.0	71,181			-1,499,400	373.0%	-	-	3.6%
1,000	2.5	158,271	-19,788	-929,249	-1,743,185	280.0%	85.3%	10.7%	6.0%
	3.0	157,642	-14,447	-881,255	-1,695,191	339.7%	89.2%	11.2%	6.1%
	4.0	158,407	-3,080	-775,089	-1,589,025	530.4%	97.7%	12.5%	6.5%
	5.0	159,959	9,202	-655,349	-1,469,285	1073.2%	106.9%	14.5%	7.0%
	6.0	161,689			-1,335,973	20983.8%	-	-	7.7%
	8.0	164,961			-1,028,629	653.3%	-	-	9.7%
2,000	2.5	333,548	175,245	-703,113	-1,517,049	233.2%	424.9%	24.0%	12.8%
	3.0	334,470	185,855	-607,126	-1,421,062	268.9%	451.8%	26.8%	13.5%
	4.0	338,414	208,447	-394,793	-1,208,729	373.3%	505.9%	36.0%	15.5%
	5.0	343,007	232,868	-155,313	-969,249	588.0%	557.8%	58.9%	18.7%
	6.0	347,566			-702,624	1287.4%	-	-	24.0%
	8.0	355,776			-87,937	1120.9%	-	-	71.7%
4,000	2.5	686,509	562,528	-254,272	-1,068,208	213.6%	444.6%	63.7%	29.4%
	3.0	690,917	583,463	-62,298	-876,234	241.4%	454.9%	87.7%	33.7%
	4.0	701,836	628,076	362,369	-451,567	321.3%	484.8%	534.9%	49.7%
	5.0	713,094	676,349	841,328	27,392	471.5%	528.2%	112.6%	106.5%
	6.0	723,916			560,641	850.0%	-	-	387.7%
	8.0	743,348			1,790,016	1861.4%	-	-	33.2%
6,000	2.5	1,041,049	946,093	189,940	-623,996	207.5%	269.7%	139.6%	51.8%
	3.0	1,049,254	977,067	477,901	-336,035	233.1%	278.4%	348.6%	66.6%
	4.0	1,067,750	1,043,131	1,114,901	300,965	306.4%	300.4%	150.7%	181.5%
	5.0	1,086,318	1,114,684	1,833,339	1,019,403	440.9%	329.0%	57.6%	191.9%
	6.0	1,104,120			1,819,278	759.0%	-	-	58.3%
	8.0	1,136,450			3,663,339	2452.2%	-	-	22.4%
10,000	2.5	1,753,285	1,702,028	1,064,201	250,265	202.9%	211.0%	1923.6%	128.7%
	3.0	1,769,817	1,752,224	1,544,136	730,200	226.9%	219.0%	266.3%	286.1%
	4.0	1,805,056	1,859,478	2,605,803	1,791,867	295.7%	238.3%	75.7%	167.7%
	5.0	1,840,058	1,975,880	3,803,199	2,989,263	419.5%	262.5%	41.9%	60.1%
	6.0	1,873,879			4,322,387	699.0%	-	-	35.1%
	8.0	1,936,895			7,395,824	3375.5%	-	-	17.9%
15,000	2.5	2,648,482	2,625,858	2,129,751	1,315,815	200.9%	196.5%	389.6%	447.3%
	3.0	2,676,671	2,698,477	2,849,654	2,035,718	224.3%	204.8%	146.7%	497.0%
	4.0	2,735,677	2,854,009	4,442,154	3,628,218	291.3%	224.6%	61.7%	87.7%
	5.0	2,794,527	3,023,263	6,238,248	5,424,312	410.8%	249.2%	37.3%	45.4%
	6.0	2,852,162			7,423,999	674.8%	-	-	29.6%
	8.0	2,962,599			12,034,154	4244.3%	-	-	16.4%

หมายเหตุ: ช่องที่พิมพ์สีเข้มหมายถึงค่าผลประโยชน์รวมที่สูงสุดจากการซ่อมบำรุงในแต่ละสภาพสายทาง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ณัฐพล ทองกู้เกียรติกูล เกิดเมื่อวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2522 ที่อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย