การพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

นาย วัชรคม โภคารัตนานันท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING MODEL FOR LOW TRAFFIC VOLUME ROADS

Mr.Watcharakhom Pocarattananan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ
โดย	นายวัชรคม โภคารัตนานันท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ซ่อวิเชียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัชรคม โภคารัตนานันท์ : การพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ. (DEVELOPMENT OF PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING MODEL FOR LOW TRAFFIC VOLUME ROADS)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล, 146 หน้า.

ในปัจจุบัน ทางหลวงชนบทและทางหลวงท้องถิ่นซึ่งเป็นถนนส่วนใหญ่ของประเทศที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ขาดการบำรุงรักษาที่ดี ทั้งเนื่องมาจากงบประมาณซ่อมบำรุงที่จำกัดและขาดการวางแผนงานเพื่อบำรุงรักษาทางเชิงป้องกัน ดังนั้นการวางแผนงานบำรุงรักษาทางที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้มีการใช้งบประมาณอย่างคุ้มค่า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการวิเคราะห์แผนงาน ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวพัฒนาจากข้อมูลสายทางของกรมทางหลวงที่มีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 1,000 คันต่อวันตลอดปี และสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยาง ซึ่งใช้ในการพยากรณ์สภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีโดยใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากลเป็นตัวแทนของสภาพผิวทาง และแบบจำลองค่าผลประโยชน์สูงสุด ซึ่งใช้วิเคราะห์หาแผนงานที่ทำให้สภาพผิวทางดีที่สุดตลอดอายุใช้งาน และนำหลักการมูลค่าปัจจุบันสุทธิเทียบเท่ารายปีช่วยในการเปรียบเทียบทางเลือกของโครงการซ่อมบำรุง โดยแผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่วิเคราะห์ได้นั้นมีวัตถุประสงค์ของการวางแผนเพื่อให้โครงข่ายสายทางมีสภาพดีที่สุดตลอดอายุใช้งานของแต่ละสายทาง ภายใต้กรอบงบประมาณที่จำกัด และสามารถวางแผนในลักษณะของแผนงานแบบปีต่อปีหรือแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปีได้ ซึ่งหลักการวิเคราะห์แผนงานในลักษณะนี้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับการพิจารณาปัจจัยทางด้านอื่นๆ เช่น ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านสังคม และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2549

4770444221 : MAJOR CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT
KEY WORD : DETERIORATION MODEL / INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX / OPTIMIZATION / PAVEMENT MAINTAINANCE PLANNING

WATCHARAKHOM POCARATTANANAN : DEVELOPMENT OF PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING MODEL FOR LOW TRAFFIC VOLUME ROADS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. WISANU SUBSOMPON, Ph.D., 146 pp.

Nowadays, the rural and municipal roads which have low traffic volume are major roads in Thailand. These roads lack the appropriate maintenance resulting from limited maintenance budget and the preventive maintenance planning. Therefore, the effective pavement maintenance planning is critical in order to use the allocated budget efficiently.

The purpose of this research is to develop the pavement maintenance planning model for low traffic volume roads using the mathematical analysis method. In this research, the model was based on data from the Department of Highways' road network which has the average annual daily traffic (AADT) less than 1,000 PCU. The model can be divided into two parts. One is the flexible pavement deterioration model to predict the pavement condition after treatment is performed. The International Roughness Index (IRI) was used to represent pavement condition. Another is the optimization model, which analyzes the optimized pavement maintenance plan that considers useful life of pavement. The equivalent uniformed annual cost method (EUAC) was used to compare each maintenance plan. The objective of pavement maintenance planning is to maximize the pavement condition over its life cycle of road network which is subjected to budget constraint. This model can create both a single year plan and a multi-year plan. It can also consider inclusively with other factors such as engineering, economic, social, as well as environmental factors.

Department Civil Engineering
Field of study Civil Engineering
Academic year 2006

Student's signature W. Pocarattananan
Advisor's signature W. Subsompon

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านกรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยมาด้วยดีตลอด พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีต่อผู้วิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อเจ้าหน้าที่กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

อนึ่งผู้วิจัยมีความสำนึก ในพระคุณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่เคยสั่งสอนวิทยาการต่างๆ ให้กับผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ชายของผู้วิจัย ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา ตลอดการทำวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
2.1 การบำรุงรักษาสายทางในปัจจุบัน 8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง 10
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง 17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง 22
2.5 สรุป 28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและการพัฒนาแบบจำลอง 29
3.1 แนวทางการดำเนินการวิจัย 20
3.2 การพิจารณาข้อกำหนดในการพัฒนาแบบจำลอง 31
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 34
3.4 การพัฒนาแบบจำลอง 37
3.5 การใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหา 46
3.6 สรุป 51

หน้า

บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย 53
4.1 ขั้นตอนและผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง 53
4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองกับการวิเคราะห์แผนงานรูปแบบอื่น 65
4.3 ปัญหาและข้อจำกัดของการวิเคราะห์ 70
4.4 สรุป 71

บทที่ 5 การทดสอบและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 73
5.1 การคัดเลือกข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง 73
5.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง 73
5.3 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 75
5.4 การทดสอบน่าเชื่อถือของแบบจำลอง 77
5.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง 79
5.6 สรุป 79

บทที่ 6.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 81
6.1 สรุปผลการวิจัย 81
6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 84

รายการอ้างอิง 87
ภาคผนวก 90
ภาคผนวก ก 91
ภาคผนวก ข. 110
ภาคผนวก ค. 140
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 146

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 แสดงระยะทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท……..…….2

1.2 ค่าใช้จ่ายงบประมาณของกรมทางหลวงชนบท…….…….....3

3.1 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงชนบท ……..……..36

3.2 สัมประสิทธิ์แบบจำลองผลจากการทำฉาบผิว ……..……..……..……42

4.1 ข้อมูลของช่วงสายทางตัวอย่างที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี …..……54

4.2 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงชนบท ……..……..54

4.3 การกำหนดทางเลือกการซ่อมบำรุงของแต่ละสายทาง.....……55

4.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์ดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีภายหลังได้รับ
การซ่อมบำรุงช่วงสายทาง ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3 ด้วยวิธีการต่างๆ ……..56

4.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีภายหลังได้รับ
การซ่อมบำรุงช่วงสายทางปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3 ด้วยวิธีการต่างๆ ……57

4.6 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณ
ที่จำกัด 4,000,000 บาท……58

4.7 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขไม่จำกัด
งบประมาณ……69

4.8 ข้อมูลของช่วงสายทางตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี …….62

4.9 ตัวอย่างการวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงช่วงสายทาง
ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3 ด้วยวิธีการต่างๆ เมื่อวางแผนต่อเนื่อง 3 ปี…..……62

4.10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีภายหลังได้รับ
การซ่อมบำรุงช่วงสายทาง ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3 ด้วยวิธีการต่างๆ
เมื่อวางแผนต่อเนื่อง 3 ปี……63

4.11 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อเนื่อง 3 ปี ภายใต้เงื่อนไข
งบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท ……..……64

4.12 Treatment Matrix สำหรับผิวแอสฟัลติกคอนกรีต (Medium Strength) ..……..66

4.13 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบปีต่อปีโดยใช้ Treatment Matrix …….67

4.14 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบปีต่อปีโดยใช้แผนผังการซ่อมบำรุง……69

5.1 ข้อมูลของช่วงสายทางตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง…….74

ตาราง หน้า

5.2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองที่อัตราผลตอบแทนเท่ากับ ร้อยละ 7 12 และ 20 ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขงบประมาณจำกัด.....74
5.3 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณ ที่จำกัด 4,000,000 บาท ด้วยแบบจำลองและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ.....75
5.4 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบปีต่อปีเมื่อไม่จำกัดงบประมาณ ด้วยแบบจำลองและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 76
5.5 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบต่อเนื่องหลายปีภายใต้เงื่อนไข งบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท ด้วยแบบจำลองและความเห็นของ ผู้เชี่ยวชาญ 76
5.6 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบต่อเนื่องหลายปีภายใต้เงื่อนไข งบประมาณเมื่อไม่จำกัดงบประมาณ ด้วยแบบจำลองและความเห็นของ ผู้เชี่ยวชาญ 77
5.7 ข้อมูลของช่วงสายทางตัวอย่างที่นำมาใช้ในทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ...78
5.8 ผลการทดสอบแบบจำลองแผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไข งบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท 78
ก-1 การกำหนดช่วงของการเปลี่ยนสถานะ 96
ก-2 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคเหนือ 97
ก-3 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 98
ก-4 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคกลาง 98
ก-5 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคใต้ 99
ก-6 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของ สายทางในภาคเหนือจากปีปัจจุบันไปปีที่ 1.....100
ก-7 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของ สายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากปีปัจจุบันไปปีที่ 1 100
ก-8 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของ สายทางในภาคกลางจากปีปัจจุบันไปปีที่ 1 101
ก-9 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของ สายทางในภาคใต้จากปีปัจจุบันไปปีที่ 1.....101

ตาราง หน้า

ก-10 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคเหนือจากปีที่ 1 ไปปีที่ 2.....102
ก-11 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากปีที่ 1 ไปปีที่ 2.....103
ก-12 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคกลางจากปีที่ 1 ไปปีที่ 2.....103
ก-13 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคใต้จากปีที่ 1 ไปปีที่ 2.....104
ก-14 ค่าคาดหวังของการเปลี่ยนสถานะ และค่าดัชนีความขรุขระสากล ณ ปีต่างๆ.....106
ก-15 แบบจำลองในการทำนายค่า Δ IRI 1 ปีภายหลังการทำฉาบผิว.....109
ข-1 ข้อมูลตัวอย่างสายทางที่นำวิเคราะห์แผนงาน 111
ข-2 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3007 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน.....113
ข-3 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3008 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน.....114
ข-4 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3011 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน.....114
ข-5 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3019 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน.....115
ข-6 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3025 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน.....115
ข-7 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.5023 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน.....116
ข-8 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.5026 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน.....117
ข-9 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.4003 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน.....118

ตาราง หน้า

ข-10 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3020 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน……..118
ข-11 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3022 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน……..119
ข-12 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการซ่อมบำรุง ……..……119
ข-13 การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน ……..……..120
ข-14 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบปีต่อปี จำนวน 90 ทางเลือก …..123
ข-15 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปีภายใต้งบประมาณ 4,000,000 บาท……..129
ข-16 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3007 เมื่อวางแผนงานแบบต่อเนื่อง 3 ปี……130
ข-17 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3019 เมื่อวางแผนงานแบบต่อเนื่อง 3 ปี……131
ข-18 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.5026 เมื่อวางแผนงานแบบต่อเนื่อง 3 ปี……132
ข-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบต่อเนื่อง 3 ปี จำนวน 90 ทางเลือก……133
ข-20 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อเนื่อง 3 ปี ภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท.....139
ค-1 ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีของตัวอย่างโครงข่ายสายทาง ……...141
ค-2 ตัวอย่างสรุปผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท ด้วย Solver……..145

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

1.1 งบประมาณบูรณะและบำรุงรักษาถนนของกรมทางหลวงชนบท……..…3

1.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย……6

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของทางและค่าใช้จ่ายที่ระยะต่างๆ (Haas, 1978)……11

2.2 พฤติกรรมของผิวทางลาดยางภายหลังได้รับการฉาบผิว (วิศณุและคณะ, 2543)……14

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับความเร็วยานพาหนะ (Rodrigo s., 1999)……18

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับค่าใช้จ่ายยานพาหนะ (Rodrigo s., 1999)……..19

2.5 ขั้นตอนบริหารงานซ่อมบำรุงทาง (Shahin, 1994)……22

2.6 ลักษณะของปัญหา Optimization……23

2.7 รูปแบบการแก้ปัญหา Optimization (Nash and Sofer, 1996)……..23

2.8 วิธีการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุง……27

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลกับสภาพทาง (Paterson,1987)……33

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคเหนือ……40

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ……..40

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคกลาง……41

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคใต้……41

3.6 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง……44

3.7 ช่วงระยะเวลาที่พิจารณาอายุใช้งานของสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงปกติและการเสริมผิวทาง……..44

3.8 รูปแบบของทางเลือกในการวางแผนงาน……..48

3.9 ลักษณะการวิเคราะห์ของแบบจำลอง……..49

4.1 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของสายทางภายหลังกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงในปีแรกของช่วงสายทาง ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3……..56

4.2 การเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงานภายใต้งบประมาณ 4,000,000 บาท……..59

ภาพประกอบ หน้า

4.3 การเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทาง ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงาน เมื่อไม่จำกัดงบประมาณ……..60
4.4 การเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทาง ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงาน เมื่อได้รับงบประมาณบำรุงปกติเท่านั้น……..60
4.5 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทาง ภายหลังซ่อมบำรุงตามแผนงาน เมื่อได้รับงบประมาณ 4,000,000 บาท ในปีถัดไป……61
4.6 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทาง ภายหลังซ่อมบำรุงตามแผนงาน ต่อเนื่อง 3 ปี ภายใต้งบประมาณ 4,000,000 บาท ……64
4.7 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทางเมื่อได้รับงบประมาณสำหรับ กิจกรรมบำรุงปกติเท่านั้น……65
4.8 แผนผังการวางแผนงานบำรุงทางของกรมทางหลวงชนบท……68
ก-1 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางที่อยู่ในภาคเหนือ……107
ก-2 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางที่อยู่ในภาคตะวันออกเหนือ……107
ก-3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางที่อยู่ในภาคกลาง……107
ก-4 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางที่อยู่ในภาคใต้……108
ค-1 ตัวอย่างการสร้างค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ใน Solver……142
ค-2 การตั้งค่าตัวเลือกของการวิเคราะห์ด้วย Solver……143
ค-3 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลในแผ่นคำนวณ……144
ค-4 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Solver……144

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ทางหลวงเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม การปกครอง และความมั่นคงของประเทศ และจากการที่ปริมาณของสายทางได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา ทำให้ประเทศไทยประสบปัญหาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อมบำรุงถนนที่ได้ก่อสร้างเอาไว้ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงถนนเหล่านี้ยังมีแนวโน้มที่มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับงบประมาณที่ได้รับ ดังนั้นปัญหาในด้านการบริหารจัดการเกี่ยวกับงบประมาณการบำรุงรักษาทางจึงเป็นส่วนสำคัญที่ควรมีการพิจารณาถึง

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถนนทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นถนนลูกรัง ลาดยาง หรือคอนกรีต เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดการจราจรไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง ความชำรุดเสียหายจะเกิดตามมา ความชำรุดเสียหายเหล่านี้นอกจากจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติแล้ว อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัดของยวดยานและจากภัยธรรมชาติ ซึ่งจะต้องดำเนินการซ่อมเมื่อตรวจพบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้ความเสียหายลุกลามแผ่วงกว้างออกไป ทำให้ภาครัฐต้องใช้จ่ายเงินจำนวนมากในการซ่อมบำรุงให้อยู่ในสภาพดีเป็นประจำตลอดเวลา ดังนั้นการจัดสรรและใช้งบประมาณในการบำรุงรักษาผิวทางอย่างมีประสิทธิภาพนั้น นอกจากจะเป็นการประหยัดเงินงบประมาณแผ่นดินแล้วยังทำให้ผู้ใช้ถนนได้รับความสะดวก รวดเร็ว ปลอดภัยในการคมนาคมขนส่ง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง การขนส่งและอื่นๆ ลดลงด้วย

ในปัจจุบันกรมทางหลวงชนบทมีทางหลวงที่อยู่ในความรับผิดชอบเป็นระยะทางประมาณ 35,034 กิโลเมตร ซึ่งสามารถจำแนกประเภทถนนตามลักษณะผิวทางและภูมิภาคต่างๆ ได้ดังตารางที่ 1.1 และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลจะพบว่าทางหลวงชนบทส่วนใหญ่เป็นผิวทางลาดยางถึงประมาณร้อยละ 80 ของระยะทางถนนทั้งหมด

ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงของกรมทางหลวงชนบท ได้มีการสำรวจสภาพความเสียหาย ปริมาณความเสียหาย และปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี ของทางหลวงในแต่ละเขตพื้นที่ทุกๆ ปี แล้วรายงานข้อมูลมายังที่ส่วนกลางเพื่อใช้พิจารณางานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง เนื่องจากมีงบประมาณการซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงที่จำกัด ส่วนกลางจึงทำการจัดลำดับความสำคัญของทางหลวงที่จำเป็นต้องได้รับการซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งในบางครั้งอาจมี

ความไม่เหมาะสมในการจัดสรรงบประมาณการซ่อมบำรุงทางในบางสายทาง และอาจทำให้ความเสียหายของสายทางลุกลามมากขึ้นจนเกินกว่าที่จะซ่อมบำรุงรักษาได้ จนถึงขั้นที่จะต้องทำการบูรณะก่อสร้างใหม่ในบางสายทาง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ขั้นตอนการจัดสรรงบประมาณในการซ่อมบำรุงทางให้แต่ละพื้นที่จะพิจารณาจากข้อมูลสภาพและปริมาณความเสียหายของทางที่สำรวจและประเมินสภาพทางทุกๆ ปีเป็นหลัก ดังนั้นระบบวางแผนการจัดสรรงบประมาณที่ได้รับในแต่ละพื้นที่จะเป็นปีต่อปี ขึ้นกับข้อมูลสภาพและปริมาณความเสียหายของทางหลวงในปีนั้นๆ ไป ทำให้ไม่สามารถพยากรณ์สภาพความเสียหาย และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางหลวงได้ล่วงหน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท

ภาค	ระยะทาง (กิโลเมตร)			
	คอนกรีต	ลาดยาง	ลูกรัง	รวม
เหนือ	105	6,442	1,449	7,996
ตะวันออกเฉียงเหนือ	158	9,300	3,103	12,561
กลาง	101	6,756	976	7,833
ตะวันออก	21	1,062	55	1,138
ใต้	17	4,701	788	5,506
รวมระยะทาง	402	28,261	6,371	35,034

ข้อมูล ณ วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2547

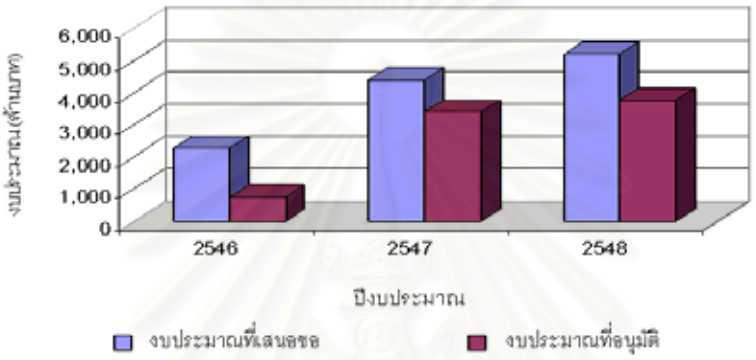
ที่มา: สำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท

ปัจจุบันหน่วยงานที่รับผิดชอบในส่วนงานบำรุงทาง เช่น กรมทางหลวงได้มีการใช้ระบบบำรุงทางเพื่อช่วยในการตัดสินใจด้านงบประมาณ และแผนงานบำรุงรักษาทาง ซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลอง HDM-III (Highway Design Standard and Maintenance Model) โดยจะพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงทาง ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน รวมถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ แต่พบว่ามีข้อจำกัดบางประการในการนำระบบบำรุงทางนี้ไปใช้ในการช่วยตัดสินใจด้านงบประมาณ เช่น ช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ยาวเกินไป และยังไม่มีการวิเคราะห์เกี่ยวกับข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ เป็นต้น

เนื่องจากทางหลวงชนบทเป็นถนนซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการคมนาคมระหว่างชุมชนและพัฒนาความเป็นอยู่ของราษฎรในชนบทให้ดีขึ้น ดังนั้น ถนนในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบทโดยส่วนใหญ่จึงเป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนมี

สัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทาง และการเก็บข้อมูลสภาพผิวทางในอดีตของมีแค่สองถึงสามปี ทำให้แบบจำลองในปัจจุบันที่ใช้ในการช่วยวางแผนงบประมาณมีลักษณะไม่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบทซึ่งพิจารณาผลจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง

ในแต่ละปีนั้น ความต้องการใช้งบประมาณในการบำรุงทางของกรมทางหลวงชนบทมีมากแต่งบประมาณที่ได้รับอนุมัติมีค่อนข้างจำกัดดังแสดงในรูปที่ 1.1 และงบประมาณที่ได้รับอนุมัตินั้น ส่วนใหญ่ใช้ในการบำรุงรักษาทางดังตารางที่ 1.2 ดังนั้น ในการวางแผนการบำรุงทางของกรม



รูปที่ 1.1 งบประมาณบูรณะและบำรุงรักษาถนนของกรมทางหลวงชนบท

ตารางที่ 1.2 ค่าใช้จ่ายงบประมาณของกรมทางหลวงชนบท

ปีงบประมาณ / รายละเอียด	2546		2547		2548	
	งบประมาณ (บาท)	คิดเป็นร้อยละ	งบประมาณ (บาท)	คิดเป็นร้อยละ	งบประมาณ (บาท)	คิดเป็นร้อยละ
ค่าบำรุงรักษาทาง	769,500,000	100.00	3,233,379,000	94.45	2,870,060,000	75.97
กิจกรรมบำรุงปกติ	769,500,000	100.00	511,945,000	14.95	861,610,000	22.81
กิจกรรมบำรุงตามกำหนดเวลา	N/A	N/A	1,132,000,000	33.07	648,950,000	17.18
กิจกรรมบำรุงพิเศษ	N/A	N/A	892,734,000	26.08	1,084,500,000	28.71
กิจกรรมบูรณะลาดยาง	N/A	N/A	296,700,000	8.67	225,000,000	5.96
กิจกรรมซ่อมฉุกเฉิน	N/A	N/A	50,000,000	1.46	50,000,000	1.32
กิจกรรมแก้ไขปัญหาอุทกภัย	N/A	N/A	350,000,000	10.22	N/A	N/A
ค่าอำนวยความปลอดภัย	N/A	N/A	130,000,000	3.80	800,000,000	21.18
ค่าบำรุงรักษาสะพาน	N/A	N/A	35,948,000	1.05	80,000,000	2.12
ค่าสำรวจ ควบคุมงานฯ	N/A	N/A	24,027,000	0.70	17,756,700	0.47
ค่าปรับปรุงภูมิทัศน์	N/A	N/A	N/A	N/A	10,000,000	0.26
รวมงบประมาณที่ได้รับ	*769,500,000*	*100.00*	*3,423,354,000*	*100.00*	*3,777,816,700*	*100.00*

ที่มา: สำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท

N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ทางหลวงชนบทจำเป็นต้องมีแบบจำลองที่ช่วยในการจัดสรรงบประมาณการซ่อมบำรุงทางที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพ เพื่อใช้งบประมาณที่ได้รับให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งควรจะเป็นการวางแผนที่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Costs) ซึ่งในการวางแผนจัดสรรงบประมาณนี้ควรเป็นในลักษณะโครงข่ายสายทาง เนื่องจากจำนวนสายทางที่ต้องได้รับการบำรุงรักษามีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการพิจารณาสายทางในลักษณะของโครงการเพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอต่อการวางแผน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวางแผนงบประมาณสำหรับการบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ โดยพิจารณาจากการเสื่อมสภาพของผิวทาง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงผิวทาง และงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ได้มีการกำหนดขอบเขตของการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ทำการศึกษาถนนที่มีผิวทางลาดยางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ที่มีการจัดเก็บข้อมูลความเสียหายของสภาพผิวทาง และมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน ซึ่งจะสอดคล้องกับมาตรฐานชั้นทางของกรมทางหลวง ชั้นที่ 4 และ 5 และปริมาณการจราจรส่วนใหญ่ของถนนในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท โดยจะพิจารณาร่วมกับวิธีการซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงทาง และงบประมาณในการบำรุงรักษาที่ได้รับ

2. ข้อมูลในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น จะพิจารณาเฉพาะข้อมูลค่าใช้จ่ายในการบำรุงทางที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้

3. การทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทางจะอ้างอิงแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีการจราจรต่ำ ซึ่งได้รับการพัฒนาจากข้อมูลของถนนในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง เนื่องจากเหมาะสมกับการวิเคราะห์สายทางที่มีข้อมูลในอดีตไม่เกินสองถึงสามปี

4. อ้างอิงค่าใช้จ่ายและแนวโน้มของค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจากแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่ได้มีการวิเคราะห์ขึ้นจากสภาพผิวทางและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาในประเทศไทย โดยอ้างอิงดัชนีราคาค่าซ่อมบำรุงจากข้อมูลของกรมทางหลวงชนบท

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.4.1 การศึกษาเชิงเอกสารและสัมภาษณ์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สำรวจและศึกษาข้อมูลเชิงเอกสารทั้งภายในประเทศไทย และต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ และแบบจำลองเกี่ยวกับรูปแบบการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทาง รวมถึงวิธีที่ใช้พิจารณาในการจัดสรรงบประมาณการบำรุงรักษาถนนในปัจจุบัน

2. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับสภาพผิวทาง อายุใช้งานของผิวทาง วิธีการซ่อมบำรุงผิวทาง และเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจซ่อมบำรุงผิวทาง

3. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากการสัมภาษณ์บุคคลในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษา เพื่อหาข้อมูลและแนวคิดประกอบการตัดสินใจ

4. ศึกษาวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์แผนงานบำรุงทาง

1.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและพัฒนาแบบจำลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์ตัวแปรที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์สภาพผิวทางโดยใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

2. วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทางที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพของผิวทางหรือวิธีการบำรุงรักษาผิวทางในรอบการซ่อมบำรุงที่ผ่านมาจากงานวิจัยในอดีตที่ได้ศึกษา

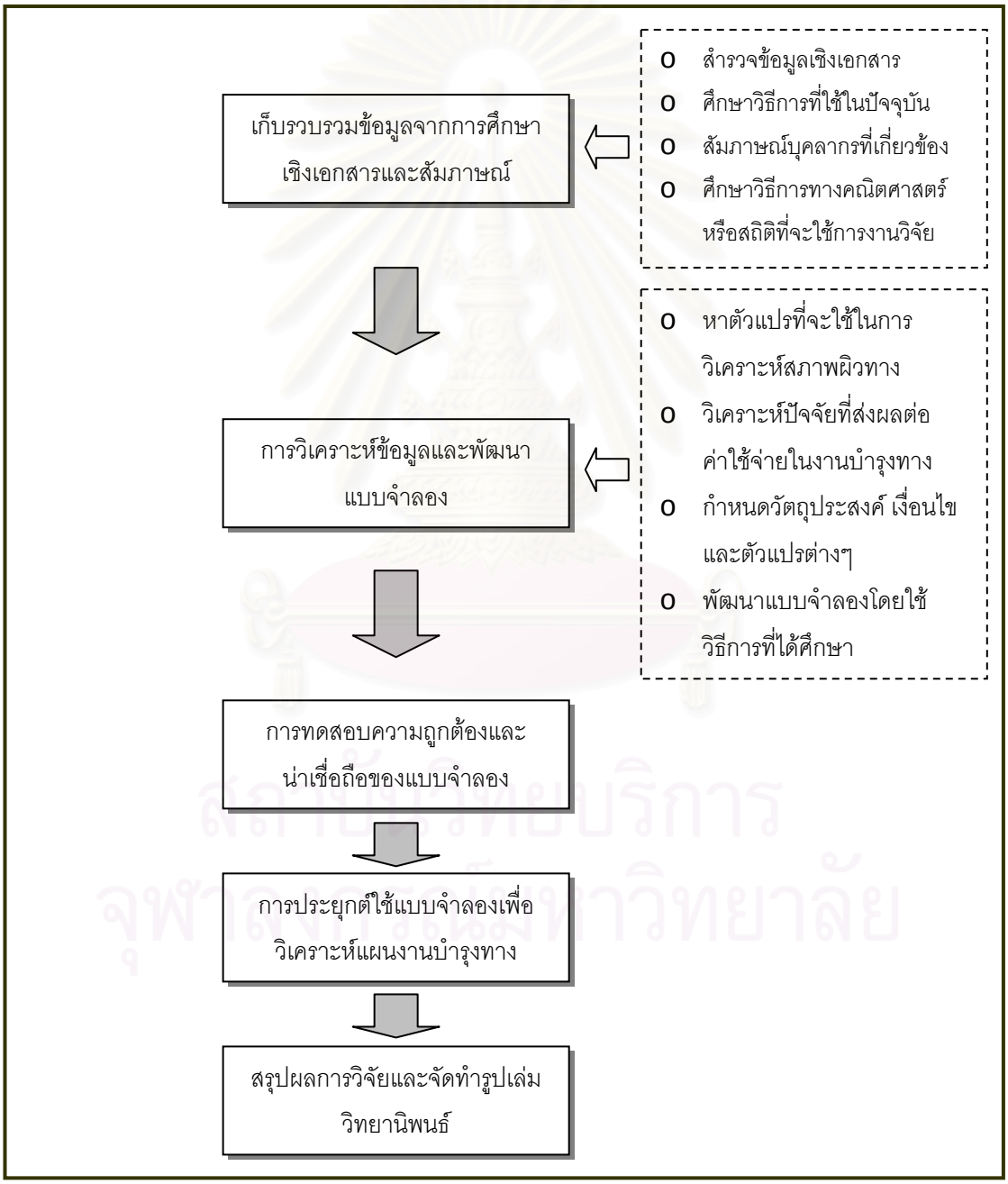
3. กำหนดวัตถุประสงค์ของแผนงานซ่อมบำรุงผิวทาง เงื่อนไขต่างๆ และตัวแปรในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงผิวทางที่เกิดขึ้น จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวทาง ข้อมูลจากการศึกษาเชิงเอกสาร และการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง เพื่อใช้พัฒนาแบบจำลองในลักษณะของโครงข่ายสายทาง

4. ทำการพัฒนาแบบจำลองแผนการบำรุงรักษาผิวทางโดยอาศัยวัตถุประสงค์ เงื่อนไข และตัวแปรที่ได้ศึกษาวิเคราะห์ไว้ข้างต้น ตามวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้

1.4.3 การทดสอบความถูกต้อง (Validity) และน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ วิธีการวิเคราะห์แผนงานที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องใช้อยู่ในปัจจุบัน และความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

1.4.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์แผนงานบำรุงทาง เป็นการเสนอแนวทางเพื่อนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับระบบบริหารงานซ่อมบำรุงทาง

1.4.5 สรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำแบบจำลองประยุกต์ใช้ในการจัดสรรงบประมาณการบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำในลักษณะของโครงข่ายสายทาง เช่น สายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท เป็นต้น โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดในด้านงบประมาณ และแสดงความต้องการงบประมาณของแต่ละสายทางในแต่ละปีที่พิจารณาภายหลังจากสายทางได้รับการบำรุงรักษาได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวางแผนงานเกี่ยวกับการบำรุงรักษาระบบทางหลวงที่ดีนั้นต้องทราบเกี่ยวกับสภาพของสายทาง ลักษณะการเสื่อมสภาพและการบำรุงรักษาสายทางในปัจจุบัน และอาศัยแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางในอนาคตที่มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ ในการทำนายความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละสายทาง เพื่อนำไปใช้ในประกอบการพิจารณาในการพัฒนาแบบจำลองในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่เหมาะสมต่อไป โดยในบทนี้ได้อธิบายถึงพฤติกรรมและลักษณะความเสียหายของผิวทาง ลักษณะของการซ่อมบำรุงรักษาสายทางในปัจจุบัน แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่เหมาะสมกับถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ และการศึกษาค้นคว้าทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทาง

2.1 การบำรุงรักษาสายทางในปัจจุบัน

ถนนทุกประเภทเมื่อทำการก่อสร้างเสร็จและเปิดการจราจรไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง ความชำรุดเสียหายจะเกิดตามมา ซึ่งจะต้องรีบดำเนินการซ่อมทันทีเมื่อตรวจพบเพื่อป้องกันไม่ให้ความเสียหายลุกลามแผ่วงกว้างออกไป ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาเชิงเอกสารของการบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท รวมถึงวิธีการในการซ่อมบำรุงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.1.1 การบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท

ในปัจจุบัน การบำรุงทางหลวงที่มีผิวทางลาดยางของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบทได้จำแนกวิธีการซ่อมบำรุงตามลักษณะความเสียหายของผิวทางที่เกิดขึ้น และวิธีการซ่อมบำรุงเหล่านี้จะนำไปสู่การคำนวณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงผิวทางที่จะเกิดขึ้น

งานด้านการบำรุงทางหลวงที่มีผิวทางลาดยางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ชนบทมีประเภทของงานบำรุงรักษาทางที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งมีข้อแตกต่างอยู่ที่การเลือกวิธีการซ่อมบำรุงในบางส่วนเท่านั้น โดยสามารถสรุปงานด้านการบำรุงรักษาทางของทั้งสองหน่วยงานนี้ได้เป็น 4 ประเภท (กรมทางหลวงชนบท 2546) ดังนี้

1. งานบำรุงปกติ (Routine Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาผิวทางลาดยางเป็นประจำตลอดเวลาเพื่อให้ทางอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี และป้องกันไม่ให้ความเสียหายลุกลามแผ่กว้างออกไป ซึ่งจะมีวิธีการซ่อมบำรุง เช่น งานอุดรอยแตก (Sealing) งานฉาบผิว (Seal Coat) งานปะซ่อมผิวทาง (Skin Patch) งานขุดซ่อมผิวทาง (Deep Patch) และงานปรับระดับของผิวทางลาดยาง (Surface Leveling) เป็นต้น

2. งานบำรุงตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาทางตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อเป็นการต่ออายุให้ทางอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้นานขึ้น เช่น งานฉาบผิวลาดยางเคพซีล และงานเสริมผิวลาดยางแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete Overlay) เป็นต้น

3. งานบำรุงพิเศษ (Special Maintenance) เป็นการบำรุงเสริมแต่งและปรับปรุงทางที่ชำรุดเสียหายเกินกว่าที่จะทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีปกติหรือบำรุงตามกำหนดเวลาให้กลับสู่สภาพเดิมได้ ซึ่งมีวิธีการซ่อม เช่น งานซ่อมสร้างผิวทางเคพซีล (Cape Seal) และงานซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete) เป็นต้น

4. งานซ่อมฉุกเฉิน (Emergency Maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงทางที่เกิดความเสียหายขึ้นโดยฉับพลันไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า ให้สามารถเปิดการจราจรได้ในขั้นแรกก่อน และซ่อมแซมให้คืนสู่สภาพที่เหมาะสมในภายหลัง ทั้งนี้อาจรวมถึงงานที่ทำเพื่อการป้องกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำซากเป็นประจำทุกปี

จากรายละเอียดของงานบำรุงรักษาทางหลวงทั้ง 4 ประเภท เมื่อพิจารณาจะพบว่า งานบำรุงพิเศษ และงานซ่อมฉุกเฉินจัดเป็นงานบำรุงทางเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) ซึ่งมักเกิดจากปัจจัยภายนอกที่ยากแก่การคาดการณ์ล่วงหน้า ส่วนงานบำรุงปกติ และงานบำรุงตามกำหนดเวลาจัดเป็นงานบำรุงทางเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ซึ่งถ้าการวางแผนจัดการในส่วนของงานบำรุงทางเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงทางในส่วนของการซ่อมแซมความเสียหายของทางได้เป็นอย่างมาก

2.1.2 วิธีการซ่อมบำรุงทาง

วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวงที่มีผิวทางลาดยางของหน่วยงานที่รับผิดชอบ สามารถจำแนกได้เป็น 8 วิธี (กรมทางหลวง 2538) ดังต่อไปนี้

1. การอุดรอยแตก (Sealing) เป็นการบำรุงรักษาผิวทางที่เกิดรอยแตกในลักษณะรอยแตกโดดๆ (Isolated Cracks) ตามแนวยาวหรือแนวขวางของถนนโดยไม่ได้แตกเชื่อมต่อกันเป็นช่องตารางหรือรูปเหลี่ยม

2. การปรับระดับผิวทาง (Leveling) เป็นการบำรุงผิวทางที่ทรุดหรือยุบด้วยวัสดุผสมแอสฟัลต์ ลักษณะความเสียหายของผิวทางที่ซ่อมด้วยวิธีนี้ ได้แก่ ผิวทางยุบตามแนวร่องล้อ ผิวทางยุบเป็นแอ่ง ผิวทางที่ยุบตามแนวฝังท่อระบายน้ำ หรือผิวทางที่เป็นคลื่นลูกระนาด เป็นต้น

3. การปะซ่อมผิว (Skin Patch) เป็นการบำรุงรักษาผิวทางที่แตกเป็นหลุมบ่อด้วยวัสดุผสมแอสฟัลต์ ลักษณะความเสียหายของผิวทางที่ซ่อมด้วยวิธีนี้ ได้แก่ ผิวทางที่แตกต่อเนื่องคล้ายหนังจรเข้ หรือแตกเนื่องจากการเลื่อนตัวของผิวยาง เป็นต้น

4. การขุดซ่อม (Deep Patch) เป็นการบำรุงรักษาทางที่แตกชำรุดเป็นหลุมบ่อหรือเป็นแอ่ง ซึ่งลักษณะความชำรุดเสียหายเช่นเดียวกับงานปะซ่อมผิว แต่ความเสียหายเกิดขึ้นถึงชั้นโครงสร้างของถนน

5. งานฉาบผิวลาดยางเคพซีล เป็นการบำรุงรักษาทางตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยการลาดยางบนผิวทางเดิมด้วยการฉาบผิวเพื่ออุดรอยแตก เพิ่มความฝืดของผิวทาง และเป็นการป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านลงไปใต้ผิวทาง

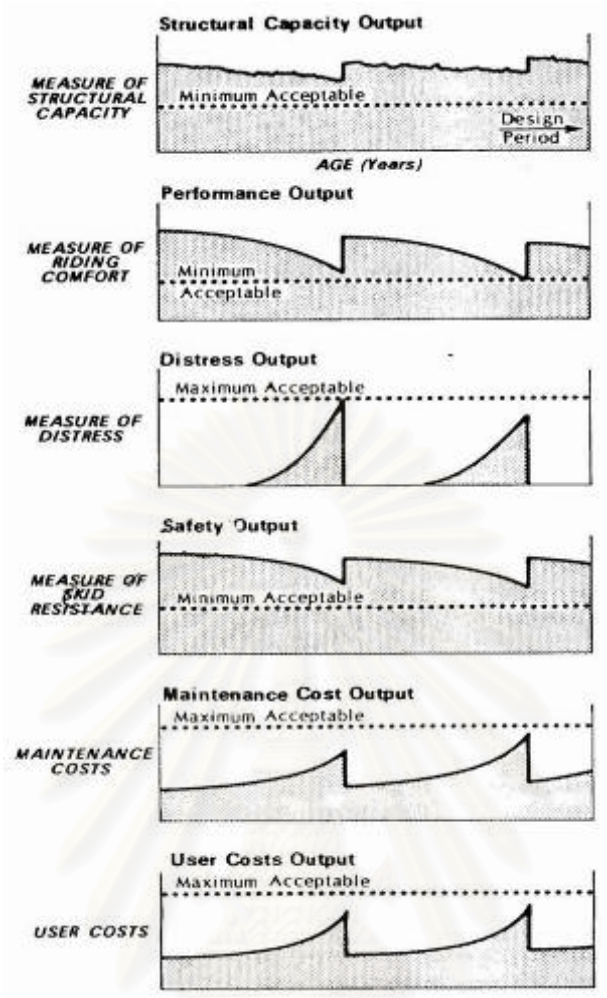
6. งานเสริมผิวลาดยางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete Overlay) เป็นการซ่อมบำรุงผิวทางโดยการลาดยางเสริมผิวด้วยแอสฟัลต์ติกคอนกรีต เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวทางเดิม และอุดรอยแตกบนผิวทางเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมลงไปทำอันตรายโครงสร้างทางชั้นล่าง

7. งานซ่อมสร้างผิวทางเคพซีล (Cape Seal) เป็นการแก้ไขปรับปรุงทางที่ชำรุดเสียหายโดยการขุดรื้อชั้นที่เสียหายออก แล้วเสริมโครงสร้างใหม่ให้แข็งแรงขึ้นตามชนิดวัสดุ และความหนาตามแต่ละชั้นที่ออกแบบไว้

8. งานซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete) เป็นการแก้ไขปรับปรุงทางที่ชำรุดเสียหายโดยการขุดรื้อชั้นที่เสียหายออก แล้วเสริมโครงสร้างใหม่ให้แข็งแรงขึ้นตามชนิดวัสดุ และความหนาตามแต่ละชั้นที่ออกแบบไว้ใหม่แล้วลาดผิวทางด้วยแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

เมื่อถนนได้เปิดใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่งพฤติกรรมของทางจะเริ่มเปลี่ยนไป โดยปัจจัยที่ทำให้ทางเสื่อมสภาพนั้นประกอบด้วยปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกของทาง เช่น กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง ความเสียหายของผิวทาง และระดับความปลอดภัย จะมีค่าลดต่ำลง แต่ในส่วนของค่าบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจากการศึกษาของธนาคารโลก (Haas, 1978) พบว่า การลดลงของงบประมาณการบำรุงรักษาทางลงทุก 1 หน่วย จะทำให้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถเพิ่มขึ้น 2 - 3 หน่วย ดังนั้นการซ่อมบำรุงรักษาทางให้สามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่องและอย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการซ่อมบำรุงรักษาทางได้อย่างมาก



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของทางและค่าใช้จ่ายที่ระยะต่างๆ (Haas, 1978)

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง เป็นส่วนหนึ่งของการการพยากรณ์สภาพความเสียหายของทาง โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในระดับโครงการ (Project Level) และระดับโครงข่าย (Network Level) โดยในระดับโครงการแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถใช้เลือกชนิดและวิธีซ่อมบำรุงทาง ส่วนในระดับโครงข่ายแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถใช้การวางแผนงบประมาณการซ่อมบำรุง รวมถึงการกำหนดตารางเวลาการตรวจสอบและการวางแผนการปฏิบัติงาน

ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางจำเป็นต้องประกอบด้วยหลายปัจจัยเข้าด้วยกัน เช่น ข้อมูลที่เพียงพอ ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของทาง การเลือกรูปแบบของสมการทางสถิติและความน่าจะเป็นที่เหมาะสม วิธีการตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง และผลการพยากรณ์ โดยสามารถแบ่งชนิดของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางได้ 3 ประเภท (Chou et al., 2001) ดังนี้

1. แบบจำลอง Empirical เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองที่พัฒนาจากประสบการณ์และผลของการทดสอบของทางรวมทั้งผลการวิเคราะห์ในห้องทดลอง โดยวิธีนี้จะมีความแม่นยำมากถ้าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ เช่น วัสดุ สภาพแวดล้อม น้ำหนักรถ ตลอดจนปริมาณจราจร ใกล้เคียงกับองค์ประกอบต่างๆ ของผลของการทดสอบทางที่นำมาสร้างแบบจำลอง

2. แบบจำลอง Mechanistic เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองที่เน้นไปที่การทำวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาของผิวทางภายใต้น้ำหนักที่กระทำ และสนใจความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของวัสดุกับพฤติกรรมของทางว่า เมื่อนำไปทำเป็นผิวทางจะทำให้ผิวทางมีลักษณะ และพฤติกรรมอย่างไรภายใต้น้ำหนักที่กระทำ เช่น ความเค้น ความเครียด และการแอ่นตัวของโครงสร้าง เป็นต้น

3. แบบจำลอง Probabilistic เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยทฤษฎีสถิติและความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของตัวแปรที่การศึกษา เหมาะกับการสร้างแบบจำลองที่มีข้อมูลน้อยกว่า 2 วิธีแรก เช่น แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ เป็นต้น

George et al. (1989) ทำการศึกษาแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยาง โดยการรวบรวมข้อมูลความเสียหายของทางในรัฐมิสซิสซิปปีเป็นระยะทาง 2,000 ไมล์ ซึ่งอยู่ในลักษณะของแบบจำลอง Mechanistic-Empirical และใช้ค่าระดับสภาพของทาง (Pavement Condition Rating, PCR) เป็นตัวแปรตามในการวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสม ซึ่งตัวอย่างของแบบจำลองเป็นดังต่อไปนี้

$$PCR(t) = 90 - a[\exp(Age^{b}) - 1]\text{Log}[ESAL/SCN^{c}] \qquad (2.1)$$

โดยที่ PCR(t) = ค่าระดับของสภาพทางที่เวลา t

Age = อายุของทางตั้งแต่เริ่มใช้งานหรือเสริมผิวทางครั้งสุดท้าย(ปี)

ESAL = Equivalent Single Axle Load

SNC = ค่าความแข็งแรงของทาง

a, b, c = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง

Kheder et al. (1992) ทำการศึกษาแบบจำลองพฤติกรรมของทางลาดยางที่ประเทศจอร์แดน ซึ่งเป็นถนนในชนบทสายหลัก จำนวน 275 สายทาง โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ซึ่งใช้ค่าดัชนีสภาพทาง (Pavement Condition Index, PCI) เป็นตัวแปรตาม และน้ำหนักการจราจร (ESAL) ปริมาณน้ำฝน อายุทางเป็นตัวแปรอิสระ ตัวอย่างของแบบจำลองพฤติกรรมของทางเป็นดังนี้

$$PCI = 100 - 1.03 \times Age^{1.39} \times 10^{0.0441} \times (\Sigma ESAL) \quad (2.2)$$

โดยที่ PCI = ดัชนีสภาพทาง

Age = อายุของทางตั้งแต่เริ่มใช้งานหรือเสริมผิวทางครั้งสุดท้าย(ปี)

Σ ESAL = Equivalent Single Axle Load

วิศณุและคณะ (2543) ทำการศึกษาพฤติกรรมของทางลาดยางในประเทศไทยเพื่อพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยาง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบ ได้แก่ อายุผิวทางหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ ปริมาณการจราจร สัดส่วนรถหนัก ปริมาณน้ำฝนต่อปี และความลาดชันของภูมิประเทศ โดยลักษณะภูมิประเทศที่นำวิเคราะห์เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ กำหนดจากลักษณะความลาดชันของพื้นที่ (%Gradient) ไว้ 3 กลุ่มดังนี้ ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ (Gradient 0 - 3%) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน (Gradient 3 - 5%) และลักษณะภูมิประเทศเป็นที่เนินสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง (Gradient >5%) จากผลการศึกษาสรุปว่าลักษณะความสัมพันธ์ของแบบจำลองที่มีความเหมาะสมเป็นฟังก์ชัน Exponential โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ อยู่ระหว่าง 0.6 - 0.8 ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$IRI = a \times e^{[(b1 \times Age) + (b2 \times AVG.AADT) + (b3 \times \%HV)]} \quad (2.3)$$

โดยที่ IRI = ค่าดัชนีความขรุขระสากล (มม./ม.)

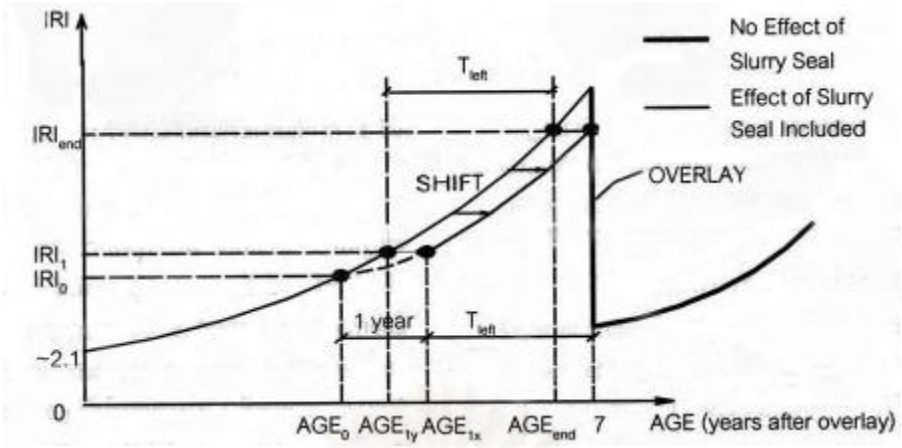
Age = อายุผิวทางหลังการเสริมผิวหรือบูรณะผิวแอสฟัลต์(ปี)

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

%HV = สัดส่วนรถหนัก (%)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

นอกจากนี้วิศณุและคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาผลของการทำฉาบผิวต่อสภาพของผิวทาง โดยทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของผิวทางลาดยางภายหลังได้รับการฉาบผิว ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 พฤติกรรมของผิวทางลาดยางภายหลังได้รับการฉาบผิว (วิศณุและคณะ, 2543)

จากรูปที่ 2.2 พบว่าการอัตราการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังได้รับการฉาบผิวจะลดลงในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยสภาพผิวทาง 1 ปีภายหลังการทำฉาบผิวจะแสดงด้วยค่า ΔIRI ดังสมการที่ 2.4

$$\Delta \text{ IRI} = a + (b_1 * IRI_0) + (b_2 * \text{AVE.AADT}) + (b_3 * \%HV) + (B_4 * \text{AVE.RAIN}) \qquad (2.4)$$

โดยที่ Δ IRI = ผลต่างของค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังสายทางได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว 1 ปี กับสภาพผิวทางในปีปัจจุบัน (ม./กม.)

IRI_0 = ค่าดัชนีความขรุขระสากลก่อนได้รับการซ่อมบำรุง (ม./กม.)

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

%HV = สัดส่วนรถหนัก (%)

AVE.RAIN = ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่ (มม./เดือน)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

วิศณุและคณะ (2548) ทำการศึกษาแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟนี้ มีความสอดคล้องกับลักษณะการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ เช่น ถนนในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท เป็นต้น โดยการเสื่อมสภาพของผิวทางนี้จะวัดโดยใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) และใช้เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะช่วยในการสร้างแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพขึ้นมา โดยมีสมมติฐานคือ ค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทางหลังการซ่อมบำรุงจะมีค่าเท่ากับหลังการก่อสร้างเสร็จ ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองนี้จะพิจารณารวมปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับความเสียหายของผิวทางทุกด้านเข้าด้วยกัน ทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

และง่ายต่อการนำไปใช้งานจริง โดยแบ่งค่าดัชนีความขรุขระสากลตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับความเสียหายของผิวทางออกเป็น 10 กลุ่ม ดังนี้

1. ชนิดผิวทาง และปริมาณการจราจร
2. ชนิดผิวทาง และปริมาณน้ำฝน
3. ชนิดผิวทาง และความชันของภูมิประเทศ
4. ปริมาณการจราจร และปริมาณน้ำฝน
5. ปริมาณการจราจร และความชันของภูมิประเทศ
6. ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ
7. ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจร และปริมาณน้ำฝน
8. ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจร และความชันของภูมิประเทศ
9. ชนิดผิวทาง ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ
10. ปริมาณการจราจร ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการในความคลาดเคลื่อนของการทำนายสภาพความเสียหายของทางที่มีกลุ่มของปัจจัย เช่น กลุ่มสายทางของค่าดัชนีความขรุขระสากลที่มีผิวจราจรชนิดพีนีเตรชั่นแมคคาดัม ความชันของภูมิประเทศมากกว่าร้อยละ 5 และมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี 0 - 300 คันต่อวัน เป็นต้น

จากการศึกษาเชิงเอกสารในส่วนของแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางพบว่า วิธีการที่ใช้ในการวัดสภาพผิวทาง เช่น การใช้ค่าระดับสภาพทาง ดัชนีสภาพทาง และสภาพบริการของทาง เป็นต้น จะเป็นการพัฒนาแบบจำลองจากข้อมูลในรูปแบบของ Mechanistic-Empirical และมีข้อจำกัดในการนำไปใช้หรือพัฒนา คือ ต้องใช้เวลาในการสำรวจสภาพทางและอาศัยข้อมูลในอดีตเป็นจำนวนมากในการพัฒนาแบบจำลอง นอกจากนี้ยังไม่มีการพัฒนาแบบจำลองดังกล่าวขึ้นจากข้อมูลสายทางของประเทศไทย และแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางบางรูปแบบต้องการค่าพารามิเตอร์หลายประเภท ซึ่งทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับโครงข่ายสายทางที่มีขนาดใหญ่

ในส่วนการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางโดยใช้ดัชนีความขรุขระสากลนั้น ได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ขึ้นในประเทศไทยเป็นเวลานานแล้ว ซึ่งมีข้อดีหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น สามารถสำรวจและเก็บข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลได้ง่ายและรวดเร็ว โดยใช้

เครื่องมือที่เรียกว่า Bump Integrator และแบบจำลองนี้จะพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของผิวทาง เช่น อายุของผิวทาง ปริมาณการจราจร สัดส่วนของรถหนัก ปริมาณน้ำฝนต่อปี และความลาดชันของภูมิประเทศ เป็นต้น แต่ยังคงมีข้อจำกัดคือ ค่าดัชนีความขรุขระสากลจะไม่สะท้อนลักษณะสภาพความเสียหายบางประเภทของผิวทาง เพื่อที่จะลดผลกระทบจากข้อจำกัดดังกล่าวในการจำลองสภาพของผิวทาง โดยบางหน่วยงานที่รับผิดชอบทางหลวง เช่น กรมทางหลวงชนบท เป็นต้น ได้มีการนำค่าดัชนีความขรุขระสากลมาใช้ร่วมกับค่าดัชนีสภาพทางหลวงชนบท (Rural Road Condition Index, RCI) (วิศว์และคณะ, 2544) ซึ่งเป็นการให้น้ำหนักความสำคัญกับสภาพความเสียหายแต่ละประเภทที่แตกต่างกัน

ต่อมาได้มีการพัฒนาแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ซึ่งจะเหมาะกับสายทางที่มีข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลในอดีตน้อยกว่า 2 ปี และสามารถทำนายสภาพผิวทางในระยะยาว โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของผิวทาง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการวางแผนงบประมาณบำรุงผิวทางในระยะยาวได้

ในปัจจุบัน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนั้น อยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง Probabilistic เนื่องจากการเก็บข้อมูลสภาพสายทางหรือค่าดัชนีความขรุขระสากลอย่างเป็นระบบนั้นอยู่ในระยะเริ่มต้น ทำให้มีจำนวนข้อมูลไม่มากพอที่จะพัฒนาแบบจำลองวิธีอื่น และข้อจำกัดของแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางดังกล่าว คือ การพัฒนาจากข้อมูลสภาพสายทางรวม (Aggregate) โดยมีสมมติฐานว่าเป็นพฤติกรรมการเสื่อมสภาพเมื่อได้รับการซ่อมบำรุงปกติ ดังนั้น ควรมีการพิจารณาถึงพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังจากซ่อมบำรุงด้วยวิธีการอื่นประกอบการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง

Friedrich (1986) ได้เสนอผลการวิจัยในส่วนการบำรุงทางตามกำหนดเวลา (Periodic Maintenance) โดยไม่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายประเภทอื่น จากการวิเคราะห์พบว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงตามกำหนดเวลาประกอบด้วย 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. ค่าใช้จ่ายคงที่ หรือค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เกิดขึ้น
2. ค่าใช้จ่ายแปรผันเนื่องจากขนาดโครงการ หรือสภาพพื้นที่ เช่น ส่วนลดในกรณีที่มีการใช้งานในปริมาณสูง ผลกระทบจากระยะทางในการขนส่ง และความยากลำบากในการทำงาน เป็นต้น

จากที่กล่าวไว้ข้างต้น Friedrich (1986) ได้เสนอแบบจำลองค่าใช้จ่ายดังนี้

$$TC = C_c + C_v t \quad (2.5)$$

โดยที่ TC = ค่าใช้จ่ายรวมในการเสริมผิวทางลาดยาง ($/กม.-2 ช่องจราจร)

C_c = ค่าใช้จ่ายคงที่ ($/กม.-2 ช่องจราจร)

C_v = ค่าใช้จ่ายแปรผันเนื่องจากขนาดของโครงการและสภาพพื้นที่ ($/กม.-2 ช่องจราจร)

t = ความหนาในการเสริมผิวลาดยาง (มม.)

Essem, et al. (1991) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติ และงานบำรุงตามกำหนดเวลา ซึ่งสามารถสรุปจากผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติ เป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซ่อมแซมความเสียหายของผิวทางเดิมก่อนทำการเสริมผิวทาง

2. ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงตามกำหนดเวลาประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

- ค่าใช้จ่ายคงที่ หรือค่าใช้จ่ายในการเสริมผิว ขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ วิธีการซ่อมบำรุง (Treatment Policy) ราคาท้องถิ่น (Local Prices) และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ (Physical Layout)

- ค่าใช้จ่ายแปรผัน หรือค่าใช้จ่ายในการเตรียมผิว (Surface Preparation Cost) เป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมความเสียหายของผิวทางเดิม ก่อนที่จะทำการเสริมผิวทาง ซึ่งจะขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ สภาพของผิวทางเดิมก่อนทำการซ่อมบำรุง ราคาท้องถิ่น (Local Cost) และหลักเกณฑ์ในการซ่อมแซมผิวตามสภาพพื้นที่ (Local Repair Policy)

N.D. Lea (1992) ได้ทำการพัฒนาสมการค่าใช้จ่ายของยานพาหนะจากแบบจำลอง HDM-III โดยใช้ข้อมูลสภาพผิวทางจากฐานข้อมูลของกรมทางหลวง ซึ่งมีรูปแบบของแบบจำลองค่าใช้จ่ายของยานพาหนะดังสมการที่ 2.6

$$VOC_i = A + (B \times IRI) + (C \times IRI^2) \quad (2.6)$$

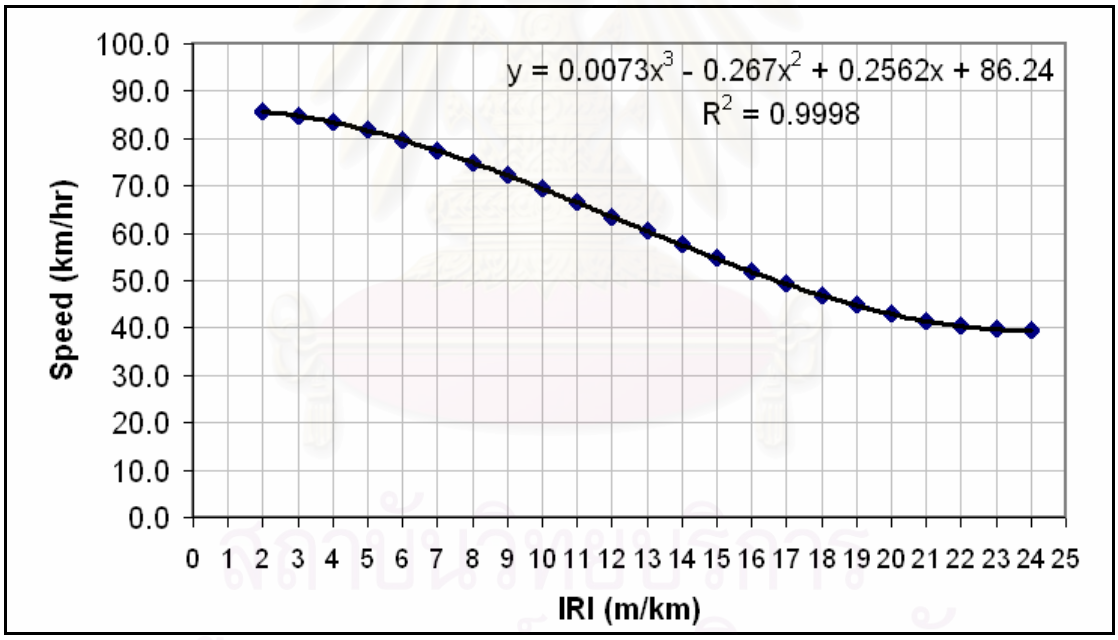
โดยที่ VOC_i = ค่าใช้จ่ายของยานพาหนะแต่ละประเภท (บาท/คัน/กิโลเมตร)

IRI = ค่าดัชนีความขรุขระสากล (เมตร/กิโลเมตร)

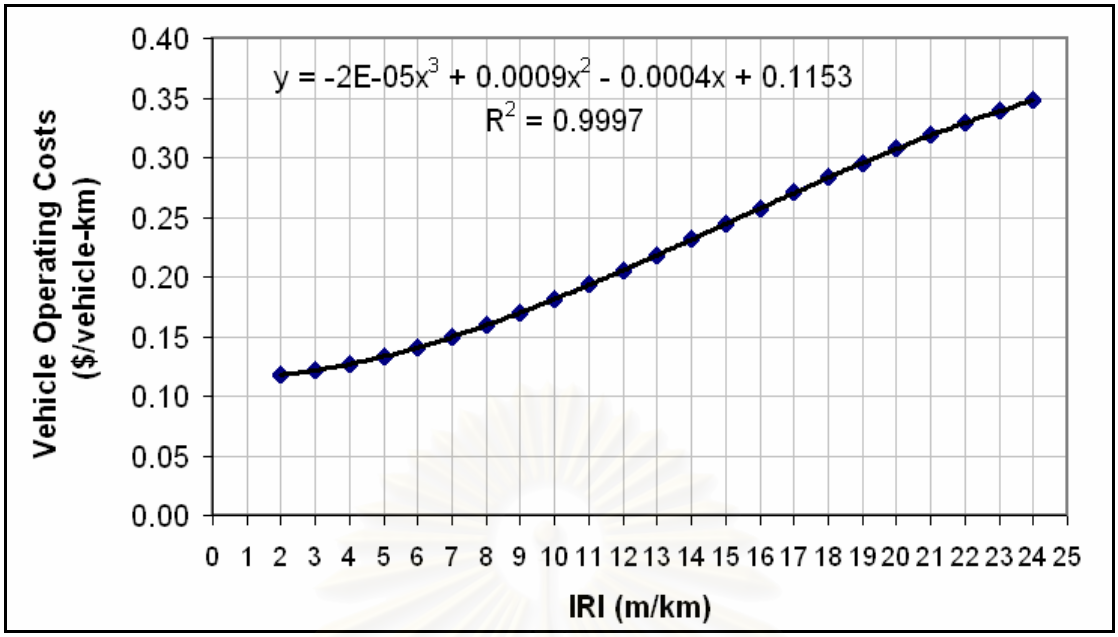
A, B, C = สัมประสิทธิ์ของยานพาหนะแต่ละประเภท

Abdullah, et al. (1994) ได้รวบรวมข้อมูลจาก Indiana Department of Transportation (INDOT) เพื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่าย โดยสามารถแบ่งแบบจำลองได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติซึ่งกำหนดให้ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) และดัชนีสภาพบริการ (PSI) เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบ และแบบจำลองค่าใช้จ่ายในงานบำรุงตามกำหนดเวลา จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและสภาพการให้บริการมีความสัมพันธ์กันแบบ Exponential โดยเมื่อสภาพบริการที่แย่ลงจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงขึ้น

Rodrigo (1999) ได้ทำการศึกษาการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของถนนในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลกับความเร็ว และความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลกับค่าใช้จ่ายของยานพาหนะ ดังรูปที่ 2.3 และ 2.4 โดยความเร็วของยานพาหนะแปรผันตามสภาพของผิวทาง และค่าใช้จ่ายของยานพาหนะแปรผันตามความเร็วของยานพาหนะ



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับความเร็วยานพาหนะ (Rodrigo, 1999)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับค่าใช้จ่ายยานพาหนะ (Rodrigo, 1999)

วิศณุและคณะ (2544) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากกรมทางหลวงเพื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่าย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถแบ่งประเภทของแบบจำลองค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุงได้ 4 ประเภท ได้แก่ งานซ่อมบำรุงปกติ งานฉาบผิวทาง งานเสริมผิวทาง และงานบูรณะสายทาง ดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

$$RMC = 5{,}125 \times K_m(Age^{0.234}.AADT^{0.150}) \quad (2.7)$$

โดยที่ RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (บาท/กม./ความกว้างช่องจราจร 7 ม.)

K_m = ดัชนีราคาหินคลุก และลูกรัง

Age = อายุ (ปี) เริ่มนับจากปีที่ทำการเสริมผิว

AADT = ปริมาณการจราจร (คัน/วัน/ความกว้างช่องจราจร 7 ม.)

2. แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง

$$SCC = 190.723 + 76.6Fuel + 88.5Cement \quad (2.8)$$

โดยที่ SCC = ค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง (บาท/กม./ความกว้างช่องจราจร 7 ม.)

Fuel = ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

Cement = ดัชนีราคาปูนซีเมนต์

3. แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวทาง

$$OLC = 392,401 + 58,958Fuel + 391,605Asph + 107,374Equip \quad (2.9)$$

โดยที่ OLC = ค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวทาง (บาท/กม./ความกว้างช่องจราจร 7 ม.)

Asph = ดัชนีราคาแอสฟัลต์

Equip = ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง

4. แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวทาง

$$RHC = 1,251,279 + 592,828Asph + 173,398Fuel + 145,707Equip + 76,270M - 442,510K_m \quad (2.10)$$

โดยที่ RHC = ค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวทาง (บาท/กม./ความกว้างช่องจราจร 7 ม.)

M = ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง ไม่รวมเหล็กและซีเมนต์

เพื่อคาดการณ์แนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองซึ่งสามารถทำนายค่าดัชนีต่างๆโ ดยใช้ราคาในปี พ.ศ.2542 เป็นปีฐาน ดังนี้

$$K_m = 1.0294 + 0.0042Year \quad (2.11)$$

$$Fuel = 1.4651 + 0.0412Year \quad (2.12)$$

$$Asph = 0.9554 + 0.0248Year \quad (2.13)$$

$$Equip = 1.4630 + 0.0339Year \quad (2.14)$$

$$M = 1.8499 + 0.0610Year \quad (2.15)$$

โดยที่ Year = ระยะเวลานับจากการก่อสร้างถนนแล้วเสร็จ (ปี) โดยมีค่าเท่ากับศูนย์ในปีที่เริ่มทำการวิเคราะห์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง พบว่า ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติจะแปรผันตามการเสื่อมสภาพของผิวทาง ซึ่งได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ เช่น อายุของผิวทาง ปริมาณจราจร และระยะเวลานับจากการก่อสร้างถนนแล้วเสร็จ เป็นต้น ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการบำรุงประเภทอื่นๆ จะขึ้นกับราคาวัสดุและค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรที่นำมาใช้ซ่อมบำรุงผิวทาง ณ เวลาที่ทำการซ่อมบำรุง ซึ่งปัจจัยต่างๆ ดังที่กล่าวนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยภายนอก เช่น สภาพเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง เป็นต้น นอกจากนี้ บางงานวิจัยได้สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายขึ้น ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่ผู้นำไปใช้ไม่สามารถ

ปรับแก้ เทียบสอบ หรือทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ ดังนั้น การนำแบบจำลองค่าใช้จ่ายดังกล่าวเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้จึงต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ของแต่ละแบบจำลองด้วย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

ในส่วนของการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ เนื่องจากสามารถช่วยแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อน หรือมีลักษณะโครงข่าย (ดังรูปที่ 2.5) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความชัดเจนในลักษณะของตัวแปรต่างๆ นิยาม ข้อจำกัดที่ใช้ และผลลัพธ์ที่ได้ โดยอาจใช้การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีสมการทางคณิศาสตร์ วิธีรูปกราฟิก และวิธีการอื่นๆ ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวในส่วนที่เป็นการใช้การหาผลเฉลยจากสมการคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา

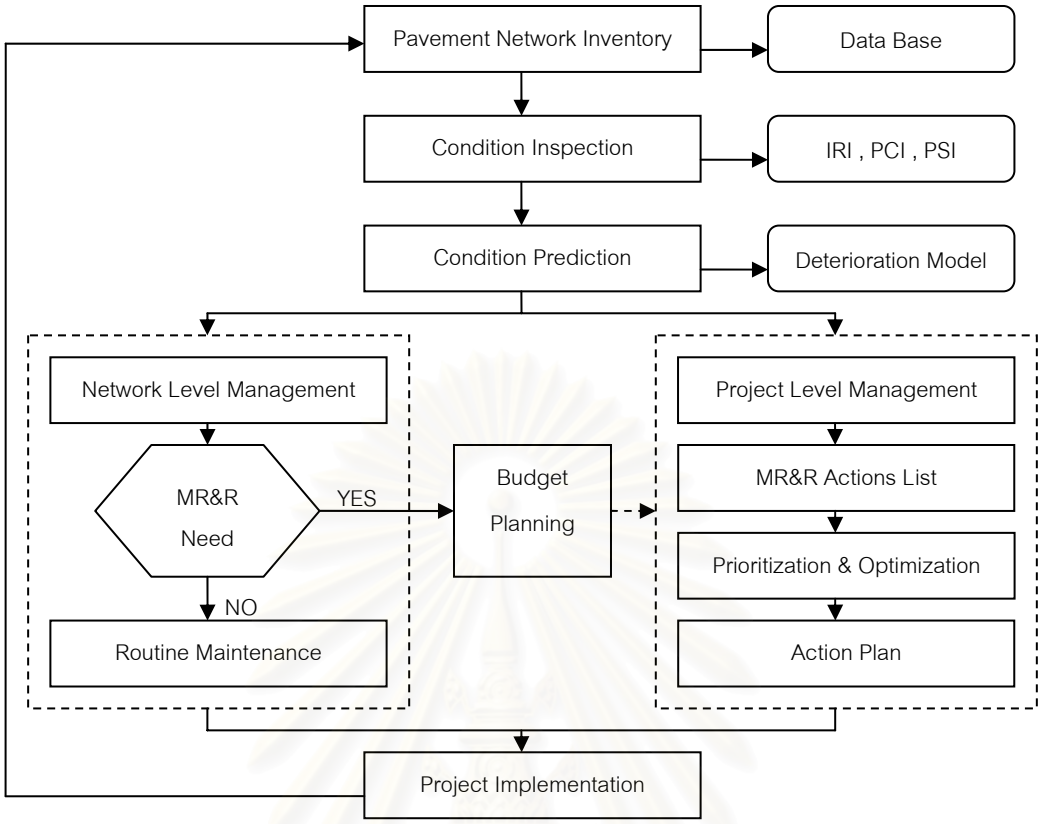
2.4.1 การใช้ Optimization Model ในการวางแผนบำรุงทาง

ปัญหาการทำ Optimization เป็นการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยอาจเป็นค่าน้อยที่สุด หรือค่ามากที่สุดของตัวแปรที่เป็นเป้าหมาย จากปัญหาที่อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และสอดคล้องกับเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่กำหนดไว้

รูปแบบของปัญหา Optimization ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นสิ่งที่ต้องการจะหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดในการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถมีได้มากกว่า 1 สมการ
2. กลุ่มของตัวแปร (Variables) เป็นสิ่งที่มีผลกระทบต่อค่าของผลเฉลยจากสมการวัตถุประสงค์
3. กลุ่มของข้อจำกัด (Constraints) ที่เป็นเงื่อนไขสำหรับการใช้ตัวแปรทางในสมการวัตถุประสงค์

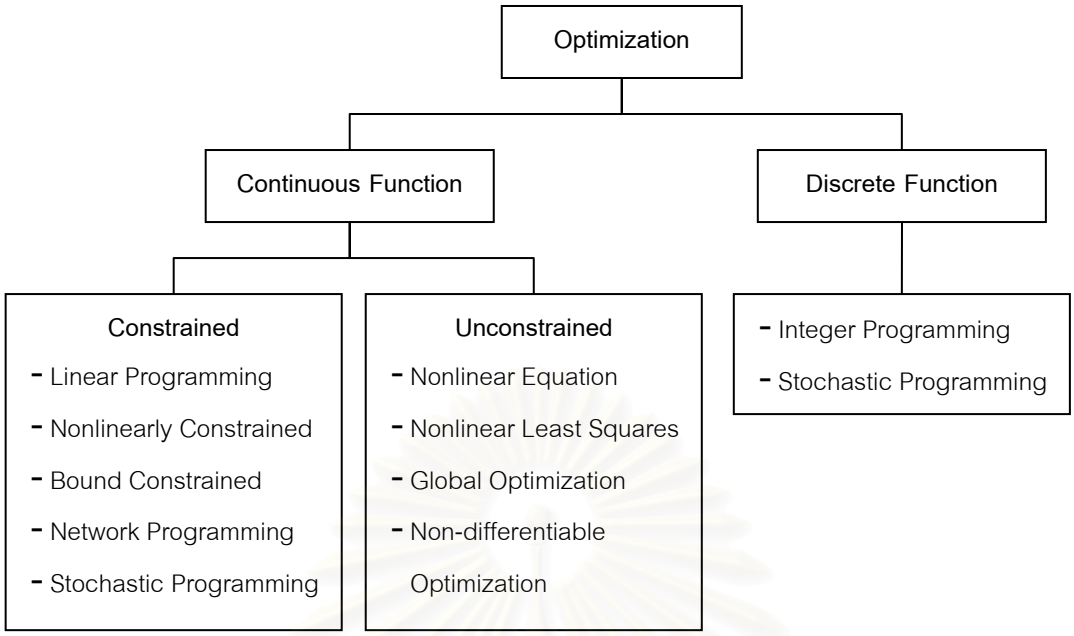
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนบริหารงานซ่อมบำรุงทาง (Shahin, 1994)

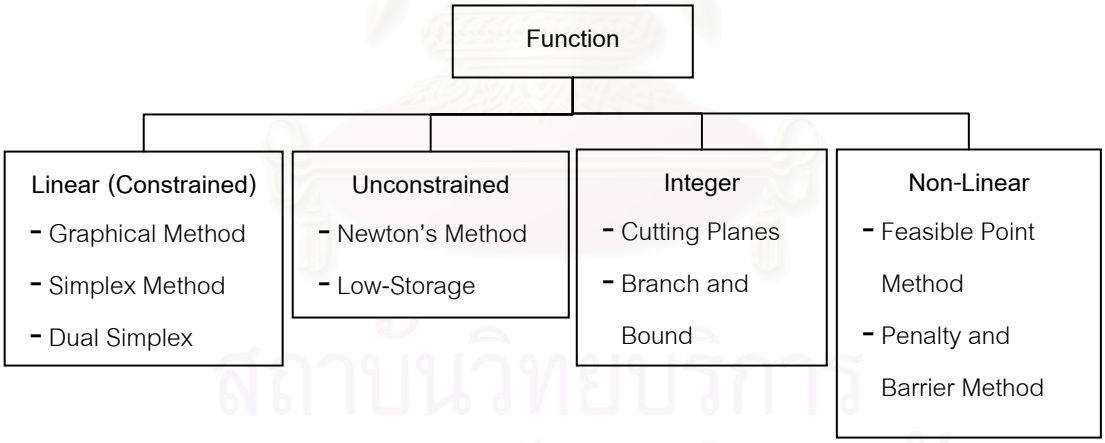
ลักษณะของปัญหา Optimization สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของสมการที่ใช้กำหนดปัญหาได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ ฟังก์ชั่นแบบต่อเนื่อง (Continuous Function) และฟังก์ชั่นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Function) ดังรูปที่ 2.6

ปัญหาในทางการวางแผนบำรุงรักษาทางส่วนใหญ่จะเป็นในลักษณะของปัญหาที่มีข้อจำกัด (Constrained Problem) ซึ่งมีการพิจารณาข้อจำกัดในการหาค่าผลประโยชน์สูงสุด (Maximum Benefit) หรือหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด (Minimize Cost) ซึ่งการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะอาศัยข้อมูลของสภาพผิวทางจากแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง วิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแต่ละประเภทมาใช้เป็นตัวแปร ในงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้การกำหนดค่าแบบฟังก์ชั่นไม่ต่อเนื่อง (Discrete Function) เนื่องจากแบบจำลองการเปลี่ยนสภาพพื้นฐานนั้นนิยมกำหนดโดยใช้แบบจำลองมาร์คอฟ ซึ่งอาศัยหลักความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับลักษณะการเสื่อมสภาพของสิ่งก่อสร้างต่างๆ



รูปที่ 2.6 ลักษณะของปัญหา Optimization

วิธีการแก้ปัญหาของสมการสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับสมการปัญหาว่าเป็นในรูปแบบใด โดยแต่ละแบบของสมการนั้นจะมีรูปแบบการแก้ปัญหาได้หลายวิธี ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปแบบการแก้ปัญหา Optimization (Nash and Sofer, 1996)

2.4.2 แบบจำลองการวางแผนบำรุงทางที่มีการใช้ Optimization Model

ในการวางแผนการบำรุงทาง Mijuskovic, et al. (1994) ได้วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการใช้นโยบายในด้านค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทาง ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ผลทางด้าน

เศรษฐศาสตร์ และข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ซึ่งมีวิธีในการจัดลำดับความสำคัญของการซ่อมบำรุงไว้ 5 แบบ ดังนี้

- The Best First เป็นการซ่อมทางที่มีสภาพความเสียหายน้อยที่สุดก่อน
- By Proportional เป็นการซ่อมโดยแบ่งสัดส่วนไว้คงที่
- The Worst First เป็นการให้ลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงสายทางที่เสียหายมากที่สุด
- Optimization (Investor's point of view) เป็นค่า Optimal ที่ให้ค่าผลประโยชน์ (Benefit) สูงสุด
- Optimization (User's point of view) เป็นค่า Optimal ที่ให้ค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนต่ำสุด

จากการเปรียบเทียบในด้านสภาพการใช้งานของถนนภายใต้นโยบายต่างๆอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 10 ปี พบว่าเกณฑ์การพิจารณาโดยใช้เกณฑ์ Optimization จะให้ผลรวมของสภาพทางที่ดีกว่าเกณฑ์แบบอื่น

Grivas, et al. (1993) ได้วิเคราะห์ผลจากการทำ Optimization เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ พิจารณาเฉพาะการซ่อมบำรุงที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณในระยะเวลา 5 ปี การเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดเพื่อผลทางการบริหารระยะยาว และการพิจารณาการซ่อมบำรุงที่มีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณในรอบระยะเวลา 10 ปี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่

Wang, et al. (1994) ได้วิเคราะห์แบบจำลอง Linear Optimization สำหรับงานบำรุงผิวทางของรัฐอริโซนา ซึ่งเป็นการปรับปรุงจากแบบจำลอง Network Optimization System (NOS) จากการศึกษาพบว่า การวางนโยบายที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อรักษาสภาพผิวทางให้อยู่ในระดับเดิมตลอด โดยเน้นการซ่อมบำรุงเป็นจุดซ้ำๆ กันไม่เหมาะสม เนื่องจากก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองงบประมาณในการซ่อมบำรุงมากกว่านโยบายที่พิจารณาความเหมาะสมที่จะบำรุงผิวทางให้อยู่ในสภาพเดิมในช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งในการปรับปรุงใหม่นี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางให้มีอัตราที่เร็วขึ้น และลดจำนวนวิธีในการซ่อมบำรุงลงเพื่อลดความซ้ำซ้อนในการพิจารณา

Mamlouk, et al. (2000) ได้เสนอผลการวิจัยเพื่อหาแนวทางในการออกแบบและบำรุงถนนลาดยางที่เหมาะสม โดยพิจารณาปัจจัยด้านสภาพการจราร ได้แก่ กลุ่มปริมาณการจราจรสูง กลาง และต่ำ และปัจจัยด้านคุณสมบัติวัสดุ ได้แก่ วัสดุอ่อน และวัสดุแข็ง ซึ่งจะพิจารณาจาก

โมดูลัสของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างในแต่ละชั้นของโครงสร้างถนน และในการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดตลอดอายุการใช้งานของถนนภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ได้วิเคราะห์โดยใช้วิธี Dynamic Programming Optimization ซึ่งนำเสนออยู่ในรูปของสมการ ดังนี้

$$\text{Minimize} \quad C(T_a) = w_a C_a(T_a) + w_u C_u(T_a) \tag{2.16}$$

โดยที่ $C(T_a)$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายรวม

$C_a(T_a)$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายภาครัฐ

$C_u(T_a)$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

T_a = ระยะเวลาที่วิเคราะห์โดยกำหนดไว้ 20 ปี

w_a = ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าใช้จ่ายภาครัฐ มีค่า 0.9

w_u = ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน มีค่า 0.1

สาเหตุที่ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าใช้จ่ายภาครัฐมีค่ามากกว่าค่าถ่วงน้ำหนักของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมาก เนื่องจากสัดส่วนค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อสายทางนั้นมีปริมาณการจราจรสูงขึ้น ดังนั้นการที่กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนนมีค่าต่ำก็เพื่อลดผลกระทบจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่มากเกินไปอันเนื่องมาจากปัจจัยด้านปริมาณการจราจร และจากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยสภาพปริมาณการจราจร และคุณสมบัติของวัสดุมีผลต่ออายุของถนนในช่วงเริ่มต้นภายหลังก่อสร้างเสร็จ หลังจากนั้นผลจากการเสริมผิวทางลาดยางจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมของโครงการ โดยจะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุดเมื่อทำการเสริมผิวลาดยางในช่วงระยะเวลาภายหลังการก่อสร้างเสร็จไม่เกิน 10 ปี จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าควรมีคาบเวลาในการเสริมผิวภายในระยะเวลา 7 ปี ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ และควรมีการซ่อมบำรุง 2 – 3 ครั้ง ตลอดอายุการให้บริการ

Fwa, et al. (2000) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลอง Multi-objective Optimization ซึ่งใช้การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กระบวนการ Genetic-Algorithm สำหรับการวางแผนบำรุงทางโดยกำหนดสมการวัตถุประสงค์คือ กำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางต่ำที่สุด และผิวทางมีสภาพดีที่สุด ซึ่งจะอยู่ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ แต่ทั้งนี้การถ่วงน้ำหนักของแต่ละวัตถุประสงค์ที่กำหนดนั้นจะขึ้นกับนโยบายการซ่อมบำรุงของหน่วยงานที่รับผิดชอบ

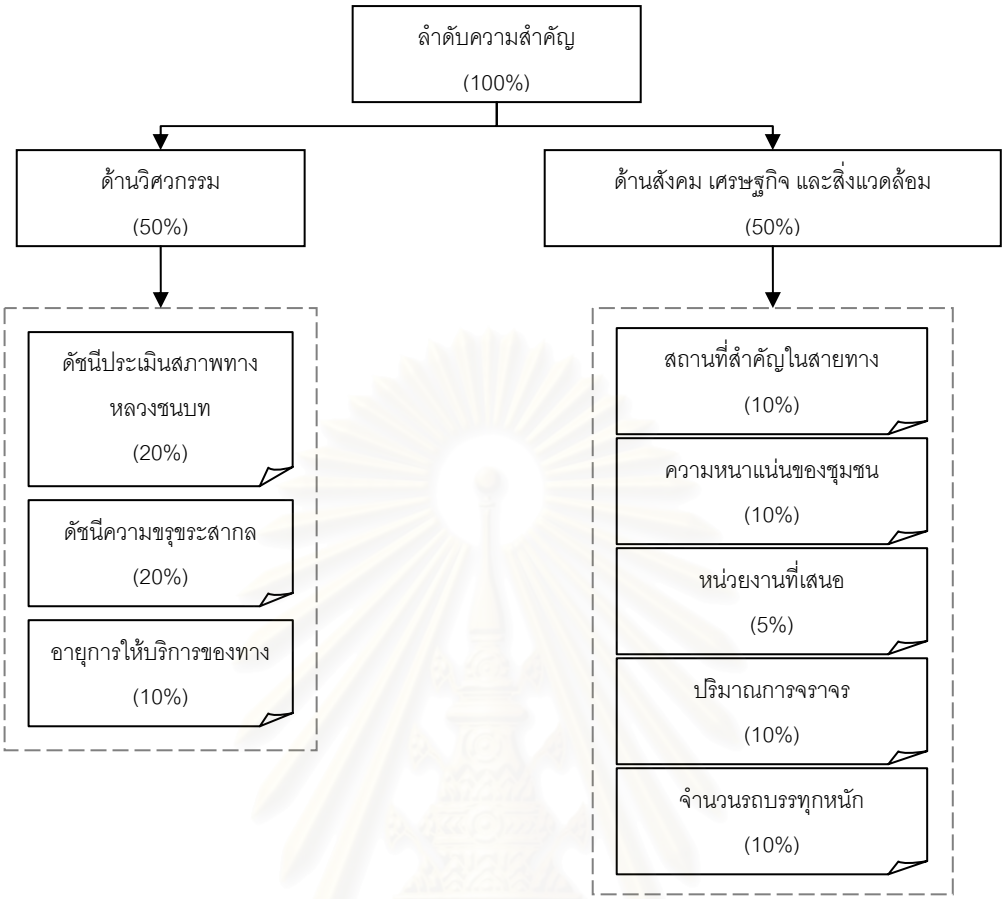
ณัฐพล (2545) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางโดยใช้แบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม ซึ่งเป็นการใช้วิธี Optimization และเทคนิคการแก้ปัญหาแบบ Simulation เพื่อใช้ในการจัดลำดับและวิธีการในการซ่อมบำรุงสายทาง โดยจะพิจารณาจากสาย

ทางที่มีค่าผลประโยชน์รวมของงานบำรุงทางสูงสุดก่อนภายใต้งบประมาณที่จำกัด และพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน และผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ รวมถึงข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้รูปแบบของสมการเชิงเส้น และสมการข้อจำกัดต่างๆ ของแบบจำลองในการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม และแบบจำลองนี้สามารถเปลี่ยนแปลงสมมติฐานต่างๆ เช่น ปริมาณการจราจร และอัตราผลตอบแทนต่ำสุดได้ เป็นต้น แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะเวลาที่วางแผนงานที่ไม่ครอบคลุมตลอดอายุใช้งานของสายทาง

การวางแผนงานบำรุงรักษาทางส่วนใหญ่จะใช้วิธี Optimization ในการวิเคราะห์ โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการวางแผน 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบวัตถุประสงค์เดี่ยว (Single Objective) และแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objectives) ซึ่งขึ้นกับนโยบายของหน่วยงานซ่อมบำรุง และพิจารณาเฉพาะปีที่วางแผนงานเท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงอายุใช้งานที่เหลือของสายทาง ทำให้บางครั้งแผนงานที่ได้ไม่เป็นแผนงานที่คุ้มค่าที่สุดตลอดอายุใช้งาน ดังนั้นการวางแผนงานบำรุงทางจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยนี้ด้วย นอกจากนี้การวางแผนงานแบบหลายวัตถุประสงค์นั้นต้องทำการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละวัตถุประสงค์ โดยค่าน้ำหนักดังกล่าวต้องอาศัยวิธีการทางสถิติซึ่งต้องการข้อมูลจำนวนมากในการวิเคราะห์ ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้กับหน่วยงานที่มีข้อมูลต่างๆ ดังกล่าวไม่เพียงพอ

2.4.3 แนวทางจัดสรรงบประมาณบำรุงทางที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวงชนบท

ปัจจุบันกรมทางหลวงชนบทได้เริ่มนำระบบบริหารงานซ่อมบำรุงทาง (Pavement Maintenance Management System, PMMS) เข้ามาใช้ในการจัดลำดับความสำคัญ และเลือกวิธีการซ่อมบำรุงทาง โดยการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงจะพิจารณาจากค่าดัชนีความขรุขระสากลดัชนีประเมินสภาพทางหลวงชนบท และปริมาณการจราจร ในส่วนของวิธีการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาใน 2 ด้าน ได้แก่ ด้านวิศวกรรม และด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะทำการให้คะแนนโดยกำหนดน้ำหนักความสำคัญในแต่ละส่วนที่พิจารณาดังรูปที่ 2.8 และค่าถ่วงน้ำหนักดังกล่าวสามารถปรับได้ตามนโยบายของผู้บริหาร ซึ่งการสำรวจข้อมูลเพื่อใช้ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงทางนี้จะเป็นการพิจารณาแบบปีต่อปี โดยสำนักงานทางหลวงแต่ละจังหวัดจะทำการส่งข้อมูลต่างๆ ที่ได้เก็บรวบรวมมาที่ส่วนกลางเพื่อทำการประมวลผลและจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงของแต่ละสายทาง และนำผลที่ได้ใช้ร่วมกับการพิจารณาขออนุมัติงบประมาณในการซ่อมบำรุง



รูปที่ 2.8 วิธีการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุง

จากการศึกษาเชิงเอกสารในส่วนของการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางพบว่า การจัดลำดับความสำคัญในการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางนั้น ควรมีการพิจารณาโดยใช้เกณฑ์ Optimization ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ให้ผลรวมของสภาพทางดีกว่าเกณฑ์แบบอื่น เพราะสามารถปรับเปลี่ยนข้อจำกัดต่างๆ ได้ตามปัจจัยผลกระทบที่เกิดขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการเสื่อมสภาพของผิวทาง ในการพิจารณาส่วนของค่าใช้จ่ายนั้นต้องระมัดระวังเรื่องของน้ำหนักความสำคัญที่กำหนดในการพิจารณา เนื่องจากถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนั้น ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจะมีสัดส่วนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายอื่นๆ และการจัดสรรงบประมาณการซ่อมบำรุงในปัจจุบันของกรมทางหลวงชนบทนั้นจะทำการวางแผนแบบปีต่อปี โดยพิจารณาจัดลำดับความสำคัญของสายทางที่จะซ่อมบำรุงผิวทางทั้งในด้านวิศวกรรม สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะนำข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามมาพิจารณาให้คะแนนแบบถ่วงน้ำหนักความสำคัญในแต่ละด้าน โดยสายทางที่มีความสำคัญที่สุดจะได้รับการเลือกเพื่อที่จะทำการซ่อมบำรุงก่อน

2.5 สรุป

การบำรุงรักษาผิวทางในปัจจุบันโดยทั่วไปจะเน้นไปที่การซ่อมบำรุงในเชิงป้องกัน และวิธีการในการซ่อมบำรุงนั้นจะแปรผันตามสภาพของผิวทางซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือต่างๆ หรือใช้การประเมินด้วยสายตาของผู้สำรวจ โดยข้อมูลจากการวิเคราะห์นั้นจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น ซึ่งนำไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุง และการจัดสรรงบประมาณต่อไป

การวางแผนบำรุงผิวทางระยะยาวนั้นจะใช้แบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทาง ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางสามารถพัฒนาโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ทั้งวิธี Mechanistic-Empirical และ Probabilistic ทั้งนี้จะขึ้นกับรูปแบบและลักษณะของข้อมูล เช่น จำนวนข้อมูลค่าสภาพผิวทาง และจำนวนพารามิเตอร์ที่พิจารณา เป็นต้น ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบสายทางในประเทศไทยนั้นขาดการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลสภาพผิวทางที่เป็นระบบเพียงพอและต่อเนื่อง ทำให้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นมีข้อจำกัดในการใช้ค่อนข้างมาก ดังนั้นการนำแบบจำลองดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ จึงต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ของแบบจำลองด้วย

ในส่วนของวิธีการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางนั้น ได้มีการพัฒนาขึ้นมาหลายรูปแบบ เช่น การใช้ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (Expert Opinions) ตารางเลือกวิธีการซ่อมบำรุง และโปรแกรมสำเร็จรูป เป็นต้น ซึ่งทำให้ในบางครั้งการวิเคราะห์แผนงานไม่มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) หรือไม่สามารถหาข้อมูลได้เพียงพอที่จะใช้วิเคราะห์ อีกทั้งการปรับวิธีการวิเคราะห์ยังทำได้ยาก เนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดไม่สอดคล้องกับสภาพของสายทางในประเทศไทย

สำหรับวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทาง ได้แก่ วิธีการ Optimization ซึ่งจะให้คำตอบของปัญหาที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ เช่น สภาพผิวทางของโครงข่ายสายทางที่ดีที่สุดตลอดอายุใช้งาน เป็นต้น และข้อจำกัดของปัญหาที่กำหนด เช่น นโยบายการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทาง เป็นต้น แต่ทั้งนี้ในการแก้ปัญหาที่มีข้อมูลเป็นจำนวนมากนั้น อาจจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์หรือโปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการคำนวณเพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางดังกล่าว

จากการศึกษาเชิงเอกสารพบว่า หลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางทั่วไปนั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยมีรูปแบบคือ ประเมินสภาพทาง ทำนายสภาพทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง จัดลำดับความสำคัญของสายทาง และวิเคราะห์วิธีการซ่อมที่สอดคล้องกันนโยบายที่กำหนดตามลำดับ เพื่อใช้ในการจัดสรรงบประมาณตามนโยบายที่ที่กำหนดต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัยและการพัฒนาแบบจำลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแนวทางในการดำเนินการวิจัย การพิจารณาข้อกำหนดและลักษณะของปัญหาในการพัฒนาแบบจำลอง วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและข้อมูลที่ต้องการใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง วิธีในการพัฒนาแบบจำลอง และการนำแบบจำลองไปใช้เพื่อช่วยในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

3.1 แนวทางการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1.1 การศึกษาในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาเพื่อวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ได้แก่ วิธีการวางแผนงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทาง การพิจารณาค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทาง การพิจารณาค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง และปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

3.1.2 การศึกษาเกี่ยวกับข้อกำหนดและลักษณะของปัญหาในการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ซึ่งดำเนินการโดยการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงาน และศึกษาจากเอกสารต่างๆ หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง โดยกำหนดแนวทางการศึกษาและรวบรวมข้อมูลดังนี้

1. สัมภาษณ์บุคลากรของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีการวางแผนงานในปัจจุบัน วิธีการเก็บสำรวจข้อมูลภาคสนาม ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับสภาพผิวทางที่มีอยู่ในปัจจุบัน และรูปแบบการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพผิวทางในอนาคต เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบและข้อจำกัดของวิธีการวางแผนงาน ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานได้

2. ศึกษาข้อมูลที่เก็บสำรวจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดและความเพียงพอของข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาเกี่ยวกับข้อกำหนดและลักษณะของปัญหาในการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ค่าองค์ประกอบต่างๆ ของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อจำกัดของแบบจำลอง และรูปแบบของแบบจำลองที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ

3.1.4 การศึกษาเพื่อวางแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ซึ่งมีรายละเอียดในการพัฒนาแบบจำลองดังนี้

1. ศึกษาและวิเคราะห์ภาพรวมในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง ความสัมพันธ์ของปัจจัยและค่าองค์ประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการวางแผนงาน ผลจากการศึกษาที่ได้จะใช้ในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางดังกล่าว

2. ศึกษารูปแบบและวิธีการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อให้มีรูปแบบที่สอดคล้องกับลักษณะพฤติกรรมของสภาพผิวทางและการนำไปใช้กับโครงข่ายสายทางในประเทศไทย และพิจารณาถึงข้อจำกัดของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

3. วิเคราะห์รูปแบบและลักษณะของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทาง และพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังสายทางได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง

4. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ต่างๆ มาใช้ในการพิจารณาและกำหนดรูปแบบของกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่งกระบวนการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวต้องมีความสอดคล้องกับลักษณะของปัญหาในการวางแผนงานในทางปฏิบัติ

5. พัฒนาแบบจำลองการวางแผนการบำรุงรักษาทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำตามรูปแบบและวิธีการที่ได้กำหนดไว้ข้างต้นโดยใช้ข้อมูลของสายทางที่มีลักษณะสอดคล้องกับขอบเขตของการวิจัยที่ได้กำหนดไว้ และอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณ และประมวลผล

3.1.5 การทดสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น มีแนวทางดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์และเลือกข้อมูลจากสายทางต่างๆเพื่อใช้ในการทดสอบแบบจำลอง โดยสายทางที่นำมาใช้ในการทดสอบต้องเป็นสายทางที่มีข้อมูลจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ มีการเก็บสำรวจข้อมูลที่ถูกต้อง และมีลักษณะที่สอดคล้องกับขอบเขตของการวิจัยที่ได้กำหนดไว้

2. ทำการทดสอบความถูกต้องของแผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากรูปแบบการวางแผนงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

3. ทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มสายทางที่คัดเลือกไว้ ซึ่งมีข้อมูลที่มีสภาพหรือค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ คล้ายคลึงกัน

4. ปรับปรุงแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองตามวิธีที่ได้กำหนดไว้

3.1.6 ขั้นตอนสรุปผลและนำเสนองานวิจัย ซึ่งเป็นการจัดทำรายงานเพื่อนำเสนอผลสรุปจากการวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล การพัฒนาและการประยุกต์ใช้งานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้และงานวิจัยในอนาคต

3.2 การพิจารณาข้อกำหนดในการพัฒนาแบบจำลอง

ในการวิเคราะห์เพื่อเลือกแผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่เหมาะสมนั้นต้องมีการกำหนดวิธีการที่ใช้ในการวัดผลเพื่อเปรียบเทียบแผนงานในแต่ละโครงการ ดังนั้นการพิจารณาเกณฑ์หรือข้อกำหนดที่ใช้ในแบบจำลองจึงมีความสำคัญในการกำหนดแนวทางเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

3.2.1 วิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน

วิธีการบำรุงรักษาผิวทางที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงจากวิธีการบำรุงรักษาผิวทางลาดยางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท และเป็นวิธีที่ใช้ในการซ่อมบำรุงที่ระดับความเสียหายสามารถแสดงผลได้โดยค่าดัชนีความขรุขระสากล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. งานซ่อมบำรุงปกติ (Routine Maintenance) เป็นงานบำรุงรักษาผิวทางที่ทำเป็นประจำตลอดทั้งปี

2. งานฉาบผิวทาง (Seal Coating) เป็นการฉาบผิวทางเดิมที่แตกหรือหลุดร่อน โดยการลาดยางแล้วปิดทับด้วยมวลรวม เพื่ออุดรอยแตกหรือปรับปรุงผิวทางที่สึกหรอ

3. งานเสริมผิวทาง (Overlay) เป็นการเสริมผิวทางแอสฟัลต์เพื่ออุดรอยแตก และเสริมความแข็งแรงของผิวทาง

4. งานบูรณะผิวทาง (Rehabilitation) เป็นการขุดรื้อผิวทางที่เสียหายออก แล้วทำการเสริมโครงสร้างผิวทางใหม่ด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงเท่าเดิม

3.2.2 นโยบายการบำรุงรักษาผิวทาง

ปัจจุบันนโยบายในการวางแผนงานเพื่อกำหนดวิธีการในการบำรุงรักษาผิวทางของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบทในระดับโครงข่าย ใช้การพิจารณาจากค่าดัชนีความขรุขระสากลที่ได้เก็บสำรวจเป็นค่าที่ใช้กำหนดวิธีการซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นการกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงในลักษณะของสถิตยศาสตร์ (Static) หรือการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงแบบตายตัว โดยพบว่าจะเกิดการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่ไม่คุ้มค่ากับงบประมาณที่ได้รับจัดสรร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดให้ในการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงเพื่อใช้ในการวางแผนงานนั้น มีโอกาสที่จะเลือกวิธีการซ่อมบำรุงผิวทางได้จากวิธีการที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมด นอกจากนี้การกำหนดนโยบายซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทาง (Overlay) และบูรณะผิวทาง (Rehabilitation) มีขั้นตอนในการพิจารณาตามลำดับดังต่อไปนี้

1. กรณีที่สายทางมีค่าดัชนีความขรุขระสากลมากกว่า 6.50 เมตรต่อกิโลเมตร จะกำหนดให้ทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการบูรณะผิวทาง หรือทำการซ่อมบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

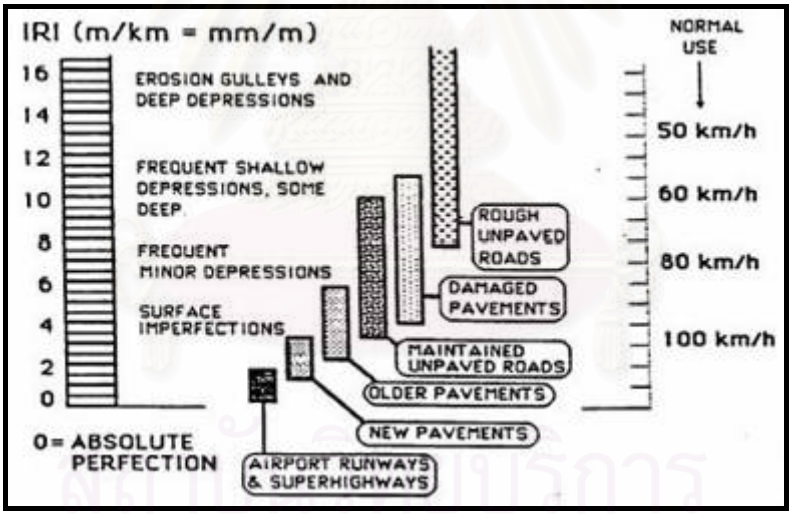
2. กรณีที่สายทางมีอายุใช้งานมากกว่า 7 ปี กำหนดให้ทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทาง หรือซ่อมบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

นอกจากนี้วิธีการบูรณะผิวทางแบ่งได้เป็น 2 วิธีการ ได้แก่ บูรณะเคพซีล (Cape Seal Rehabilitation) และบูรณะแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete Rehabilitation) โดยพิจารณาจากวัสดุผิวทางเดิม และปริมาณการจราจร กล่าวคือ ในกรณีที่มีปริมาณจราจรสูงกว่า 1,500 คันต่อวัน หรือกรณีที่ผิวทางเดิมเป็นแอสฟัลติกคอนกรีต ควรได้รับการการบูรณะแอสฟัลติกคอนกรีต แต่ในกรณีที่ผิวทางเดิมเป็นผิวทางเคพซีลและมีปริมาณจราจรต่ำกว่า 1,500 คันต่อวัน สามารถบูรณะได้ทั้งบูรณะแอสฟัลติกและเคพซีล

3.2.3 การพิจารณาค่าที่ใช้ในการประเมินสภาพผิวทาง

วิธีการประเมินสภาพผิวทางลาดยางที่นิยมใช้ทั่วโลกในปัจจุบัน คือ การใช้เครื่องมือบัมพ์อินทีเกรเตอร์ (Bump Integrator, BI) ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพผิวทางโดยใช้ยานพาหนะสำรวจ (Quarter Car) และแสดงสภาพผิวทางอยู่ในลักษณะของค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) โดยมีหน่วยของการวัด คือ เมตรต่อกิโลเมตร ซึ่งคำนวณได้จากการสั่นสะเทือนขึ้นลงทั้งหมดของเพลาล้อรถต่อระยะทางที่เคลื่อนที่ไป ความเร็วที่ใช้ในการวัดอยู่ที่ประมาณ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และแปลงมาเป็นค่าดัชนีความขรุขระสากล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกค่าดัชนีความขรุขระสากลเป็นค่าที่ใช้แสดงสภาพผิวทาง

ความเรียบของผิวทางมีความสำคัญโดยตรงที่ส่งผลกระทบกับค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางและความปลอดภัย จากผลการศึกษาของ AASHO Road Test พบว่าร้อยละ 95 ของการให้บริการทางขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวทาง ค่าความเรียบของผิวทางจะเป็นตัวที่ระบุความขรุขระของผิวทาง ความไม่สบายของผู้ใช้ทาง และคุณภาพการขับขี่ ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความขรุขระสากลกับสภาพทางแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลกับสภาพทาง (Paterson,1987)

สภาพผิวทางที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานนั้นมีสมมติฐานว่าเป็นค่าสภาพผิวทางที่สิ้นปีในการพิจารณาเลือกวิธีการซ่อมบำรุง

3.2.4 การพิจารณาค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (Agency Cost) เท่านั้น ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามนโยบายของหน่วยงานที่รับผิดชอบ หรือวิธีการคำนวณค่าจ่ายดังกล่าว ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ภายหลัง โดยการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงตัวอย่างโครงข่ายสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท ดังนั้นจึงอ้างอิงค่าใช้จ่ายต่อหน่วยงานซ่อมบำรุงทางของหน่วยงานดังกล่าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วย

3.2.5 การพิจารณาค่าสภาพผิวทางที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน

ค่าสภาพผิวทางที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซึ่งแสดงด้วยดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) สามารถคำนวณได้จากแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง ซึ่งสามารถทำนายค่าสภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง โดยพิจารณาค่าสภาพผิวทางตั้งแต่ปีที่ทำการวางแผนงานซ่อมบำรุงจนกระทั่งครบอายุใช้งานของผิวทาง (Life Cycle) ซึ่งมีรอบระยะเวลาเท่ากับ 7 ปี และทำการคำนวณค่าสภาพผิวทางดังกล่าวโดยใช้วิธีมูลค่าเทียบเท่ารายปี (Equivalent Uniform Annual Cost, EUAC) (Hendrickson C., 2000) ซึ่งเหมาะสำหรับเปรียบเทียบทางเลือกของโครงการที่ระยะเวลาแตกต่างกันได้ดี และง่ายต่อการเปรียบเทียบโครงการจำนวนมาก

3.2.6 การพิจารณาระยะเวลาในการวางแผนงาน

ระยะเวลาที่ใช้เป็นสมมติฐานในการวิเคราะห์จะพิจารณารอบระยะเวลาที่วางแผนงานเป็นช่วงระยะเวลาทุก 1 ปี และกำหนดว่าทุกสายทางต้องได้รับการบำรุงรักษาด้วยวิธีการซ่อมบำรุงปกติเป็นอย่างน้อย ยกเว้นเมื่อวางแผนงานให้ได้รับการบำรุงรักษาด้วยวิธีอื่น โดยจะทำการซ่อมบำรุง ณ ปีที่ได้รับงบประมาณ ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพผิวทางในปีถัดไป ในส่วนของระยะเวลาที่ใช้ในการวางแผนนั้นได้พิจารณาแบบต่อเนื่องหลายปี แต่การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางระยะเวลาหลายปีนั้น จะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่วางแผนงาน

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ข้อมูลสภาพผิวทาง ข้อมูลประวัติของผิวทาง ข้อมูลปริมาณการจราจร และข้อมูลค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ข้อมูลสภาพผิวทาง

ข้อมูลสภาพผิวทางซึ่งนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ซึ่งค่าดัชนีความขรุขระของผิวทางเป็นตัวแทนสภาพความเสียหายที่กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบทใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณางานซ่อมบำรุงทาง โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางนี้ได้เก็บรวบรวมจากฐานข้อมูลของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลอยู่ในฐานข้อมูลแบบ Foxpro และ MS-EXCEL โดยกรมทางหลวงได้มีการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลดังกล่าวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533

ในการเก็บสำรวจสภาพผิวทาง กรมทางหลวงได้ทำการเก็บสำรวจข้อมูลสายทางในความรับผิดชอบทุกๆ ปีหรือสองปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงบประมาณที่ได้รับ ความพร้อมของเครื่องมือเก็บสำรวจ และความเพียงพอของบุคลากรที่ใช้ในการเก็บสำรวจ ซึ่งจากข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรดังกล่าวทำให้ในบางครั้งการเก็บสำรวจสภาพผิวทางไม่อาจทำให้เสร็จสิ้นได้ภายในปีเดียว โดยในการบันทึกข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลนั้นสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มตามภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้

โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางเพื่อใช้ในการวิเคราะห์วางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนี้ ได้ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลของกรมทางหลวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ถึงปี พ.ศ. 2547 และเป็นข้อมูลสภาพผิวทางที่มีการเก็บต่อเนื่องทุกปีในการพัฒนา

3.3.2 ข้อมูลประวัติของผิวทาง

ในส่วนของข้อมูลประวัติของผิวทางนี้ได้พิจารณาจากอายุของผิวทาง ซึ่งจะเริ่มนับอายุภายหลังทำการก่อสร้างเสร็จใหม่ หรือทำการเสริมผิวใหม่ หรือทำการบูรณะผิวทาง โดยมีสมมติฐานคือ การซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิว หรือซ่อมสร้างจะทำให้ผิวทางมีความเรียบเสมือนกับผิวทางที่ทำการก่อสร้างเสร็จใหม่ โดยทั่วไปถนนที่มีผิวทางลาดยางภายใต้ความรับผิดชอบของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทมีอายุออกแบบของผิวทางเท่ากัน คือ 7 ปี และในส่วนของชั้นโครงสร้างทางมีอายุออกแบบประมาณ 21 ปี และ 15 ปี ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อถนนเปิดให้บริการแล้ว ถึงแม้จะไม่มีผู้ใช้บริการ แต่ผิวทางจะยังคงมีการเสื่อมสภาพตลอดเวลากระทั่งเสียหายมากจนไม่สามารถใช้งานได้

3.3.3 ข้อมูลปริมาณการจราจร

จากการศึกษาในอดีตพบว่า เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มมากขึ้น มูลค่าของค่าใช้จ่ายของหน่วยงานบำรุงรักษาทางจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แต่ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณจราจรสูงกว่าระดับหนึ่ง (ณัฐพล, 2545) สำหรับงานทางในประเทศไทยนั้น พบว่าปริมาณการจราจรมีผลต่อสัดส่วนของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนอย่างมาก กล่าวคือ สัดส่วนของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีของสายทางนั้นสูงกว่า 1,000 คัน (วิศณุและคณะ, 2544)

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนลาดยางที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ดังนั้นสายทางที่นำมาใช้ในการพัฒนาหรือทดสอบแบบจำลองนั้นจะเป็นสายทางลาดยางที่มีปริมาณจราจรต่ำหรือมีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีต่ำกว่า 1,000 คัน หรือกล่าวได้ว่าค่าใช้จ่ายของหน่วยการบำรุงรักษายังมีสัดส่วนที่สำคัญเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง

3.3.4 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทาง

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทางเพื่อการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากค่าซ่อมบำรุงต่อหน่วยของสำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท ซึ่งใช้ในการขออนุมัติงบประมาณจากสำนักวางแผน กรมทางหลวงชนบท โดยมีรายละเอียดของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อกิโลเมตรจำแนกตามประเภทของกิจกรรมซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายต่อความกว้างผิวทาง 9 เมตร ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงชนบท

กิจกรรมซ่อมบำรุง	ค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง (บาทต่อกิโลเมตร)
งานซ่อมบำรุงปกติ	33,000
งานฉาบผิวทาง	323,000
งานเสริมผิวทาง	1,288,000
งานบูรณะผิวทาง	1,840,000

ข้อมูล ณ วันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2549

ที่มา: สำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท

3.4 การพัฒนาแบบจำลอง

แบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยต่างๆ ได้แก่ แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และแบบจำลอง Optimization โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้จากวิธีการลูกโซ่มาร์คอฟ (วิศณุและคณะ, 2548) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการพัฒนาแบบจำลองในกรณีที่มีข้อมูลจำนวนไม่มาก และงานวิจัยเกี่ยวกับผลจากการทำฉาบผิว (วิศณุและคณะ, 2545) โดยทำการปรับปรุงรูปแบบของแบบจำลองให้สอดคล้องกับลักษณะของข้อมูลที่มีการเก็บสำรวจไว้แล้วในปัจจุบัน โดยสามารถสรุปลักษณะของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางซึ่งมีการจำแนกตามวิธีการซ่อมบำรุงได้ดังต่อไปนี้

- แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงปกติ ได้นำแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะและพฤติกรรมต่างๆ โดยแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟมีสมมติฐานที่สำคัญดังนี้

1. แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสถานะ จากสถานะหนึ่งเป็นสถานะอื่นๆ ในช่วงเวลาหนึ่งและในระยะยาว
2. แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ สามารถแจกแจงสถานะ (State) ที่กำลังศึกษาได้
3. ความน่าจะเป็นของสถานะ (State Probability) อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงเวลา ตั้งแต่ 1, 2,….,n
4. ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ จะมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลา ยกเว้นจะมีปัจจัยอื่นมากระทบทำให้ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะเปลี่ยนแปลง

เนื่องจากข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมมีไม่ต่อเนื่องกันทุกปี จึงเป็นข้อดีของแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่ใช้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลปัจจุบันเท่านั้นในการพิจารณาซึ่งทำให้ง่ายต่อการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟจะใช้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลในช่วงระยะเวลาต่อเนื่องกันทุก 1 ปี เพื่อทำการหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของแบบจำลอง โดยมีสมมติฐานว่า

เป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Markov Chain) คือเป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่มีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณานั่นเอง

องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟนั้นมีดังต่อไปนี้

- เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ (Transition Matrix) เป็นจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจากสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่งในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างโดยเมตริกซ์ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & . & n_{1j} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & . & n_{2j} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ n_{i1} & n_{i2} & n_{i3} & . & n_{ij} \end{bmatrix}$$

โดยที่ n_{ij} เป็นจำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจาก i ไป j ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด

- ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability) เป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่งในระยะเวลาที่กำหนด โดย วิธีคำนวณความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะสภาพ ใช้สมการของ Maximum Likelihood Estimator

- เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability Matrix) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะสภาพ ของตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ ตัวอย่างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะมีดังนี้

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & . & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & . & P_{2j} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ P_{i1} & P_{i2} & P_{i3} & . & P_{ij} \end{bmatrix}$$

โดยที่ P_{ij} เป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจาก i ไป j ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

- เวคเตอร์สถานะสภาพ (Condition State Vector, CSV) เป็นเวคเตอร์ที่แสดงสถานะสภาพของผิวทางต่างๆ มีขนาดเท่ากับ 1 x n เมทริกซ์ โดยที่ n คือ จำนวนสถานะสภาพของผิวทาง เช่น [1 2 3 4 5 ... 11] เมื่อ n เท่ากับ 11 เป็นต้น ซึ่งสถานะภาพของผิวทางดังกล่าวใช้แทนช่วงของค่าดัชนีความขรุขระสากลที่กำหนด เช่น สถานะภาพเท่ากับ 3 แสดงว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากลมีค่าอยู่ระหว่างตั้งแต่ 2.51 ถึง 3.00 เมตรต่อกิโลเมตร เป็นต้น โดยการกำหนดค่าสถานะของผิวทางจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

- เวคเตอร์สถานะเริ่มต้น (Initial State Vector, ISV) เป็นเวคเตอร์ที่แสดงสถานะสภาพของผิวทางที่ระยะเวลาเริ่มต้น มีขนาดเท่ากับ 1 x n เมทริกซ์ โดยที่ n คือ จำนวนสถานะสภาพของผิวทาง เช่น [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0] เมื่อ n เท่ากับ 11 แสดงว่าเมื่อก่อสร้างผิวทางเสร็จสภาพผิวทางอยู่ในสถานะภาพที่ 1 ซึ่งมีค่าดัชนีความขรุขระสากลน้อยกว่า 2.00 เมตรต่อกิโลเมตร เป็นต้น

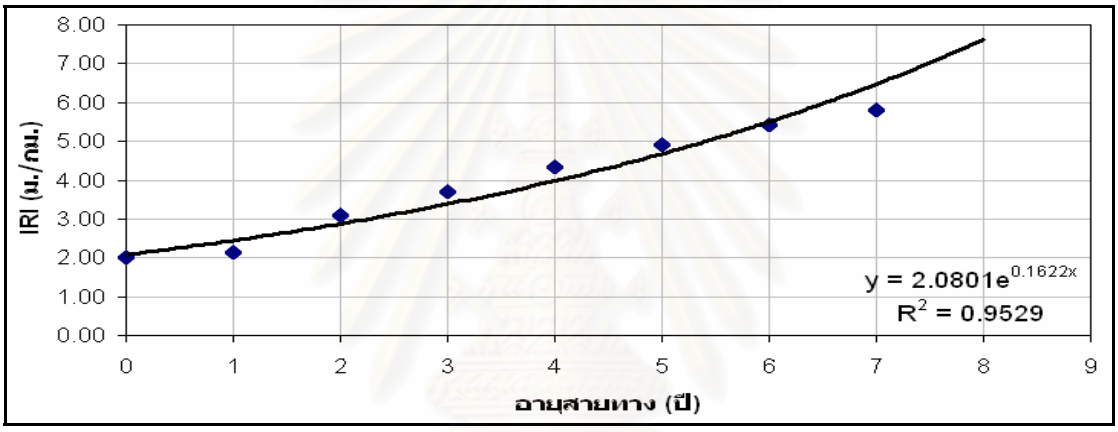
- เวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State Vector at Time t, PCSV) เป็นเวคเตอร์ที่แสดงความน่าจะเป็นของสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ โดยผลรวมของแถวในเวคเตอร์จะเท่ากับ 1 เสมอ

- สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State, PCS) เป็นค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ ซึ่งเป็นค่าคาดหวัง (Expected Value) ของการเปลี่ยนสถานะของสภาพผิวทาง

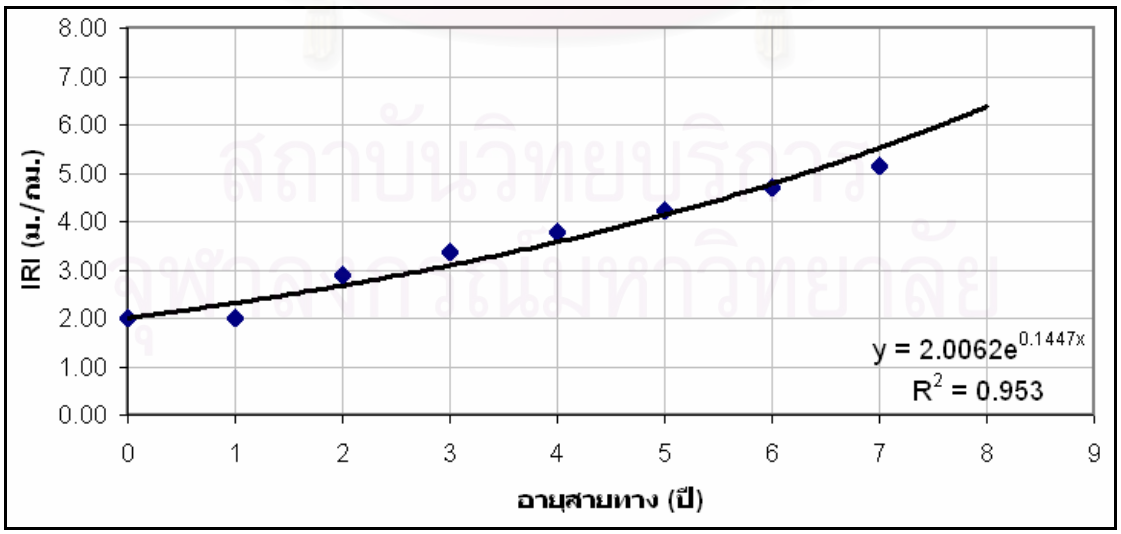
จากองค์ประกอบทั้งหมดในขั้นต้นการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. จัดกลุ่มข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบกับความเสียหายของผิวทางในลักษณะต่างๆ
2. กำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ
3. คำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
4. คำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
5. คำนวณค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาต่างๆ
6. คำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลที่เวลาต่างๆ

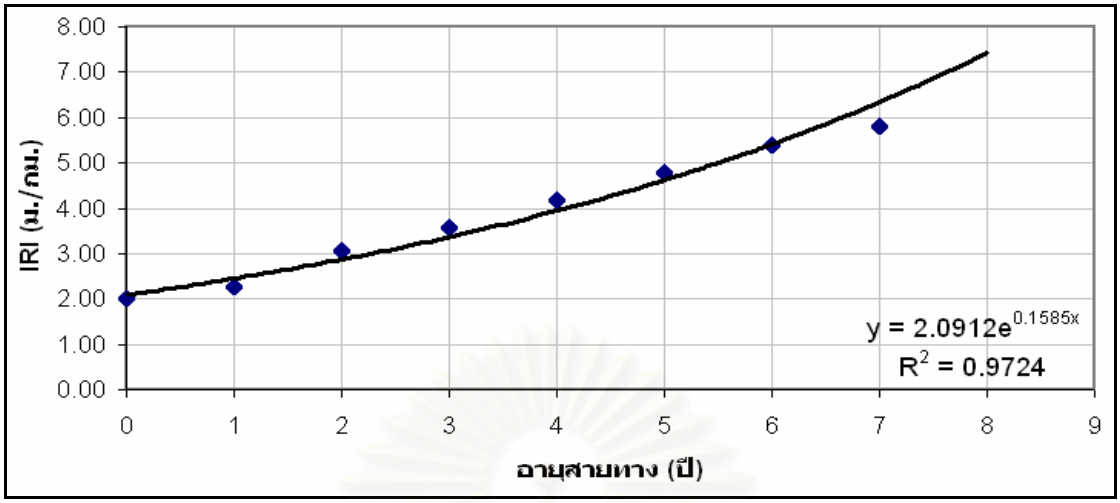
รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แบ่งแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางออกเป็นพื้นที่ตามภูมิภาค และทำการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพภายหลังการซ่อมบำรุงจากข้อมูลสภาพผิวทางที่ต่อเนื่องกันทุกปี โดยพัฒนาจากข้อมูลทั้งหมดจำนวน 1,683 ข้อมูล โดยแบ่งกลุ่มออกเป็นข้อมูลสายทางของภาคเหนือ 487 ข้อมูล ข้อมูลสายทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 532 ข้อมูล ข้อมูลสายทางภาคกลาง 396 ข้อมูล และข้อมูลสายทางภาคใต้ 268 ข้อมูล และทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างอายุใช้งานของสายทางกับค่าคาดหวังของดัชนีความขรุขระสากล (Expected Value of IRI) ด้วยสมการรูปแบบ Exponential ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ค่าความสัมพันธ์ดีกว่าวิธีการอื่น อีกทั้งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการสร้างสมการการเสื่อมสภาพของโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ โดยแบบจำลองการเสื่อมสภาพที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะดังรูปที่ 3.2 ถึง 3.5



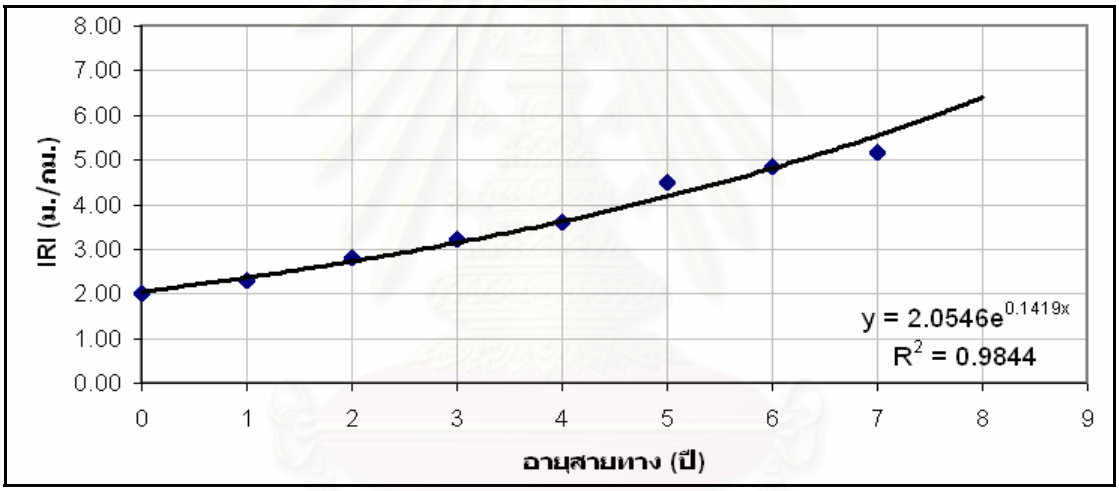
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคเหนือ



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคกลาง



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคใต้

จากรูปที่ 3.2 ถึง 3.5 สามารถสรุปได้ดังสมการที่ 3.1 ถึง 3.4

ภาคเหนือ : $IRI = 2.0801e^{0.1622AGE}$ (3.1)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ : $IRI = 2.0062e^{0.1447AGE}$ (3.2)

ภาคกลาง : $IRI = 2.0912e^{0.1585AGE}$ (3.3)

ภาคใต้ : $IRI = 2.0546e^{0.1419AGE}$ (3.4)

โดยที่ IRI = ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังสายทาง ณ ปีที่พิจารณา (ม./กม.)

AGE = อายุของสายทาง (ปี)

- แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังซ่อมบำรุงด้วยวิธีฉาบผิวทาง (Slurry Seal) ได้อ้างอิงงานวิจัย ผลกระทบจากการทำฉาบผิว (วิศณุและคณะ, 2545) ซึ่งวิเคราะห์หาผลต่างของค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการฉาบผิวทาง โดยผลต่างดังกล่าวจะแปรผันกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ดัชนีความขรุขระสากล ณ ปีปัจจุบัน ปริมาณจราจร และสัดส่วนรถบรรทุกหนัก ดังสมการที่ 3.5

$$\Delta \text{IRI} = a + (b_1 * \text{IRI}_0) + (b_2 * \text{AVE.AADT}) + (b_3 * \%\text{HV}) \quad (3.5)$$

โดยที่ Δ IRI = ผลต่างของค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังสายทางได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว 1 ปี กับสภาพผิวทางในปีปัจจุบัน (ม./กม.)

IRI_0 = ค่าดัชนีความขรุขระสากลก่อนได้รับการซ่อมบำรุง (ม./กม.)

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

%HV = สัดส่วนรถหนัก (%)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

ตารางที่ 3.2 สัมประสิทธิ์แบบจำลองผลจากการทำฉาบผิว

	%Gradient			
	0 – 3%	3 – 5%	> 5%	Total
a	-9.950	-12.200	-13.400	-7.220
b_1 ($*10^{-2}$)	4.574	5.440	6.537	4.841
b_2 ($*10^{-6}$)	3.426	6.601	12.920	3.291
b_3 ($*10^{-3}$)	1.043	1.703	3.690	0.763

- ในส่วนของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทาง (Overlay) และวิธีการบูรณะผิวทาง (Rehabilitation) นั้น ปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังซ่อมด้วยวิธีการดังกล่าวบำรุงตลอดอายุใช้งานของสายทางในประเทศไทย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสมมติให้สายทางมีพฤติกรรมการเสื่อมสภาพเสมือนสายทางที่สร้างเสร็จใหม่ กล่าวคือ หลังได้รับการซ่อมบำรุงเสร็จค่าดัชนีความขรุขระสากลจะมีค่าประมาณ 2.0 เมตรต่อกิโลเมตร หลังจากนั้นจะมีการเสื่อมสภาพดังสมการที่ 3.1 ถึง 3.4

3.4.2 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

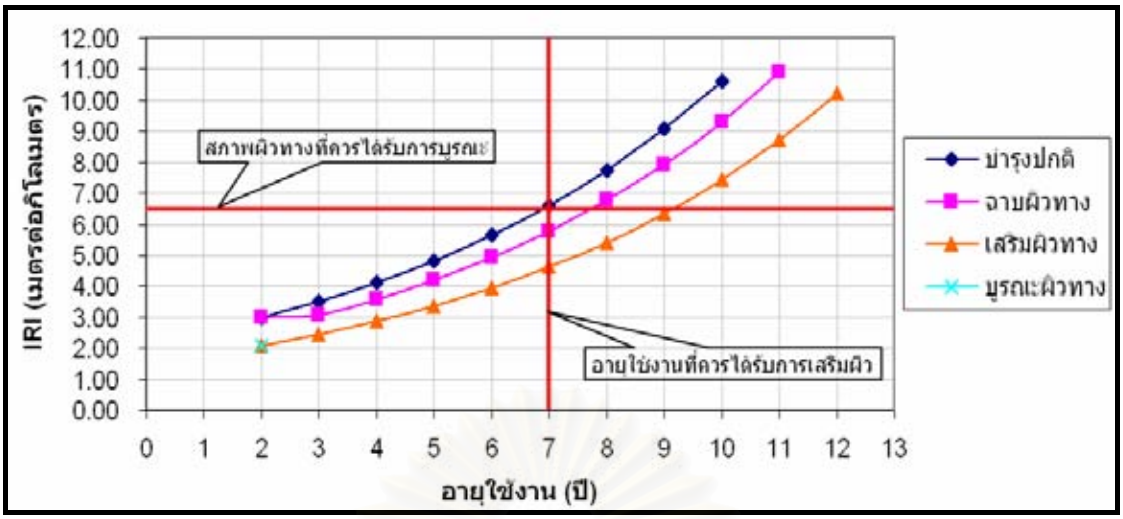
จากการศึกษาเชิงเอกสารพบว่า ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการวางแผนงานบำรุงทาง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยที่ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้นแก่ผู้ใช้ทาง (Road User Cost, RUC) นั้นประกอบด้วยค่าใช้จ่ายของยานพาหนะ (Vehicle Operating Cost, VOC) และค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง (Time Travel Cost, TTC) โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นแก่ผู้ใช้ทางนั้นขึ้นกับพฤติกรรมของผู้ใช้ทางซึ่งจำแนกได้ตามประเภทของยานพาหนะและปริมาณการจราจรเป็นหลัก แต่เนื่องจากถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนั้นมีพฤติกรรมของผู้ใช้ทางส่วนใหญ่ในลักษณะของการคมนาคมระหว่างชุมชน ซึ่งค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (Agency Cost) จะมีสัดส่วนสูงกว่าค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้น ดังนั้น การวิจัยนี้จึงพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงในปีที่วางแผนเท่านั้น

3.4.3 แบบจำลอง Optimization

วิธีการทางคณิตศาสตร์โดยวิธี Optimization เป็นการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดของตัวแปรที่เป็นเป้าหมายจากปัญหาที่อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และสอดคล้องกับเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่กำหนดไว้

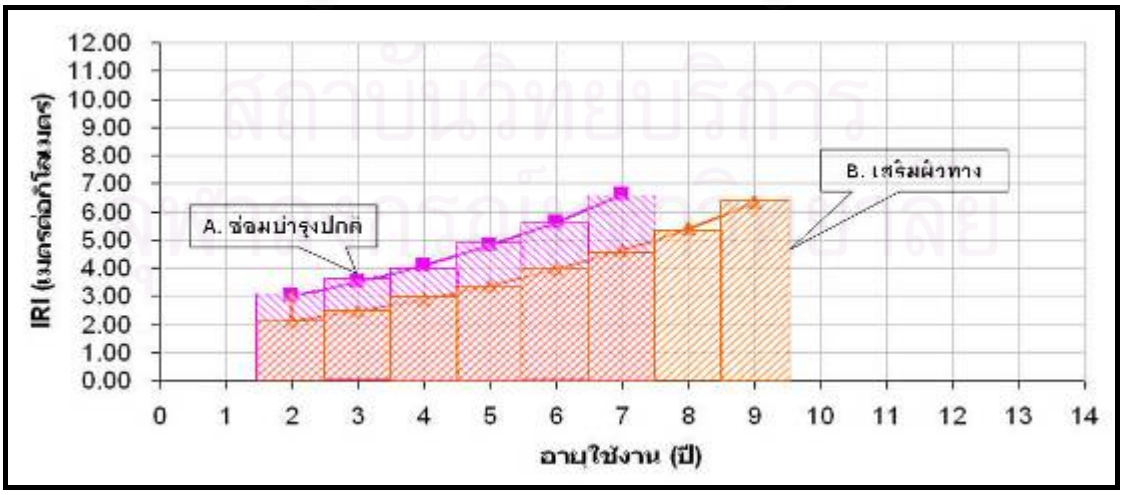
วัตถุประสงค์ในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในระดับโครงข่าย (Network Level) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เพื่อให้สภาพผิวทางของโครงข่ายดีที่สุดตลอด 1 รอบอายุใช้งาน (Life Cycle) ของผิวทาง ดังรูปที่ 3.6 ภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณ และนโยบายการบำรุงรักษาทาง โดยการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงนั้นจะสามารถเลือกวิธีการซ่อมได้เพียงวิธีเดียวจากวิธีการซ่อมบำรุงที่มีอยู่ ทำให้การกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงนั้นควรเป็นลักษณะของฟังก์ชั่นแบบทวิภาค (Binary Function) ซึ่งจะแสดงการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงด้วย 0 หรือ 1

จากรูปที่ 3.6 พบว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากล ณ ปีปัจจุบันค่าเท่ากับ 3.0 เมตรต่อกิโลเมตร ซึ่งสายทางมีอายุใช้งาน 2 ปี เมื่อสายทางได้รับการฉาบผิวจะทำให้อัตราการเสื่อมสภาพช้าลงในช่วงแรก เมื่อสายทางได้รับการเสริมผิวจะทำให้สภาพผิวทางมีสภาพเสมือนสายทางที่สร้างเสร็จใหม่ ซึ่งช่วยยืดอายุของสายทางให้ยาวขึ้นก่อนถึงเวลาที่ควรได้รับการซ่อมสร้าง โดยทั่วไปแล้วผิวทางลาดยางจะมีอายุออกแบบอยู่ที่ 7 ปี ดังนั้นภายหลังจากที่ผิวทางสร้างเสร็จใหม่หรือได้รับการเสริมผิวหรือได้รับการซ่อมสร้างแล้ว 7 ปี สายทางควรได้รับการซ่อมบำรุงอีกครั้งด้วยวิธีการเสริมผิว และเมื่อสายทางมีค่าดัชนีความขรุขระสากลสูงกว่า 6.5 เมตรต่อกิโลเมตร ควรได้รับการบูรณะผิวทางใหม่ (กรมทางหลวงชนบท, 2549) เนื่องจากผิวทางเกิดความเสียหายมากซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อไปถึงชั้นโครงสร้างทางได้



รูปที่ 3.6 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง

เนื่องจากการพิจารณาค่าสภาพผิวทางของแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงตามแผนงานนั้นจะส่งผลต่ออายุใช้งานที่เหลือของสายทางทำให้อายุคงเหลือของสายทางซึ่งนำมาเปรียบเทียบกันนั้นมีระยะเวลาที่ไม่เท่ากันดังรูปที่ 3.7 ซึ่งทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบค่าสภาพผิวทางตลอดอายุใช้งานของแต่ละทางเลือก ดังนั้นจึงนำวิธีการมูลค่าเทียบเท่ารายปี (Equivalent Uniform Annual Cost, EUAC) (Hendrickson C., 2000) ซึ่งเป็นการกระจายค่าสภาพผิวทางอย่างสม่ำเสมอตลอดอายุใช้งานของสายทางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าสภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแต่ละทางเลือก หรืออาจเรียกว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี โดยช่วงเวลาที่พิจารณาดังรูปที่ 3.7 เป็นการแสดงสภาพผิวทางตลอดอายุใช้งานของสายทางนับตั้งแต่ปีปัจจุบันของสายทาง จนกระทั่งครบรอบอายุใช้งานของสายทางคือปีที่ 7 นับตั้งแต่สายทางสร้างเสร็จหรือได้รับการเสริมผิวทางหรือบูรณะผิวทาง



รูปที่ 3.7 ช่วงระยะเวลาที่พิจารณาอายุใช้งานของสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงปกติและการเสริมผิวทาง

จากรูปที่ 3.7 การพิจารณาสภาพผิวทางเมื่อได้รับการซ่อมบำรุงปกติจะพิจารณาจากอายุใช้งานปีที่ 2 ถึงปีที่ 7 ดังพื้นที่ A และการพิจารณาสภาพผิวทางเมื่อได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทางจะพิจารณาจากอายุใช้งานปีที่ 2 ถึงปีที่ 9 ดังพื้นที่ B โดยการเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองทางเลือก จะคำนวณเป็นค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีดังจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

การคำนวณค่าสภาพผิวทางที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงผิวทางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำนี้ใช้วิธีการมูลค่าเทียบเท่ารายปี (Equivalent Uniform Annual Cost, EUAC) ซึ่งเรียกว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (Equivalent Uniform Annual International Roughness Index, UIRI) มีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 3.6

$$EUAC_x = NPV_x \{i(1+i)^n\} / \{(1+i)^n-1\} = NPV_x (U| P,i,n) \quad (3.6)$$

โดยที่ $EUAC_x$ = มูลค่าเทียบเท่ารายปีของโครงการ x

NPV_x = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ x

i = อัตราผลตอบแทน (ร้อยละ)

n = จำนวนปีที่พิจารณา (ปี)

จากวัตถุประสงค์ ข้อจำกัด รวมถึงวิธีการคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีที่กล่าวไว้ข้างต้น สามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาได้ดังนี้

$$\text{Objective:} \quad \text{Min} \sum_{i\in I}\sum_{p\in P} \text{UIRI}_{ip} x_{ip}$$

$$\text{Subject to:} \quad \sum_{i\in I}\sum_{p\in P} c_{ip} x_{ip} \leqslant B$$

$$\sum_{p\in P} \delta_{ip} x_{ip} = 1, \quad \forall i \in I \quad (3.7)$$

$$x_{ip} \in \{0,1\}$$

โดยที่ตัวแปร พารามิเตอร์ และเซตต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

<u>ตัวแปร</u>

x_{ip} ตัวแปรในการตัดสินใจว่าช่วงสายทาง i จะซ่อมบำรุงด้วยแผนงานใด

0 เมื่อไม่ซ่อมบำรุงโดยแผนงาน p

1 เมื่อซ่อมบำรุงโดยแผนงาน p

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>พารามิเตอร์</u>

c_{ip} ค่าซ่อมบำรุงของแต่ละแผนงาน *p*

$UIRI_{ip}$ ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (Equivalent Uniform Annual IRI, UIRI) หลังการซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งานของช่วงสายทาง *i* เมื่อซ่อมบำรุงด้วยแผนงาน *p*

δ_{ip} เท่ากับ 0 เมื่อช่วงสายทาง *i* ไม่มีแผนงาน *p* เป็นตัวเลือกในการซ่อมบำรุง

เท่ากับ 1 เมื่อช่วงสายทาง *i* มีแผนงาน *p* เป็นตัวเลือกในการซ่อมบำรุง

B ผลรวมงบประมาณของทุกช่วงสายทางในปีที่พิจารณา

<u>เซต</u>

P เซตของแผนงานทั้งหมด

I เซตของช่วงสายทางทั้งหมด

จากสมการที่ 3.7 แสดงสมการวัตถุประสงค์คือ ผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีที่น้อยที่สุดตลอดอายุใช้งานของสายทาง ในส่วนของสมการข้อจำกัดบรรทัดแรกแสดงว่าผลรวมของงบประมาณที่ใช้ซ่อมบำรุงทุกช่วงสายทางต้องไม่เกินงบประมาณที่กำหนด สมการข้อจำกัดบรรทัดที่สองแสดงว่าทุกช่วงสายทางต้องได้รับการซ่อมบำรุงอย่างน้อย 1 วิธี ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการซ่อมบำรุงของหน่วยงานที่รับผิดชอบสายทาง และสมการข้อจำกัดบรรทัดสุดท้ายแสดงตัวแปรในการตัดสินใจเลือกวิธีการซ่อมบำรุง

แผนงาน p เป็นแผนงานที่เป็นไปได้ของแต่ละช่วงสายทาง ซึ่งจะมีจำนวนแผนงานที่เป็นไปได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์จะขึ้นกับขนาดของโครงข่ายสายทางที่นำมาวิเคราะห์ ดังนี้

จำนวนแผนงานที่ใช้วิเคราะห์ (p) = จำนวนช่วงสายทาง x (วิธีการซ่อมบำรุง $^{\text{จำนวนปีที่พิจารณา}}$)

3.5 การใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหา

3.5.1 ขั้นตอนการใช้แบบจำลองวิเคราะห์

การวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนกำหนดทางเลือกเพื่อการวิเคราะห์ ขั้นตอนการกำหนดค่าเพื่อการวิเคราะห์ และขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนกำหนดทางเลือกเพื่อการวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนการกำหนดแผนงานที่เป็นไปได้ในแต่ละปีของแต่ละช่วงสายทาง โดยพิจารณาจากข้อมูลสภาพที่เก็บสำรวจ ในกรณีที่พิจารณาแผนงานมากกว่า 1 ปี จะใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางในการทำนายสภาพผิวทางของช่วงสายทางที่พิจารณาภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการที่เลือกแล้ว 1 ปี ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4.1 และกำหนดแผนงานที่เป็นไปได้ของปีถัดไป

ขั้นตอนการกำหนดค่าเพื่อการวิเคราะห์ หลังจากได้แผนงานที่เป็นไปได้ของแต่ละช่วงสายทางแล้ว จะใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางในการทำนายสภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการที่เลือกแล้ว 1 ปี จนครบอายุใช้งานของสายทาง ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งแผนงานที่ได้ของแต่ละช่วงสายทางจะแตกต่างกันตามวิธีการซ่อมบำรุงที่กำหนด หลังจากนั้นจะสามารถวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงตามแผนงาน และสภาพผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งานของแต่ละแผนซ่อมบำรุงได้ และสามารถหาค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (UIRI) ของแต่ละแผนงานซึ่งคำนวณโดยใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิและมูลค่าเทียบเท่ารายปี

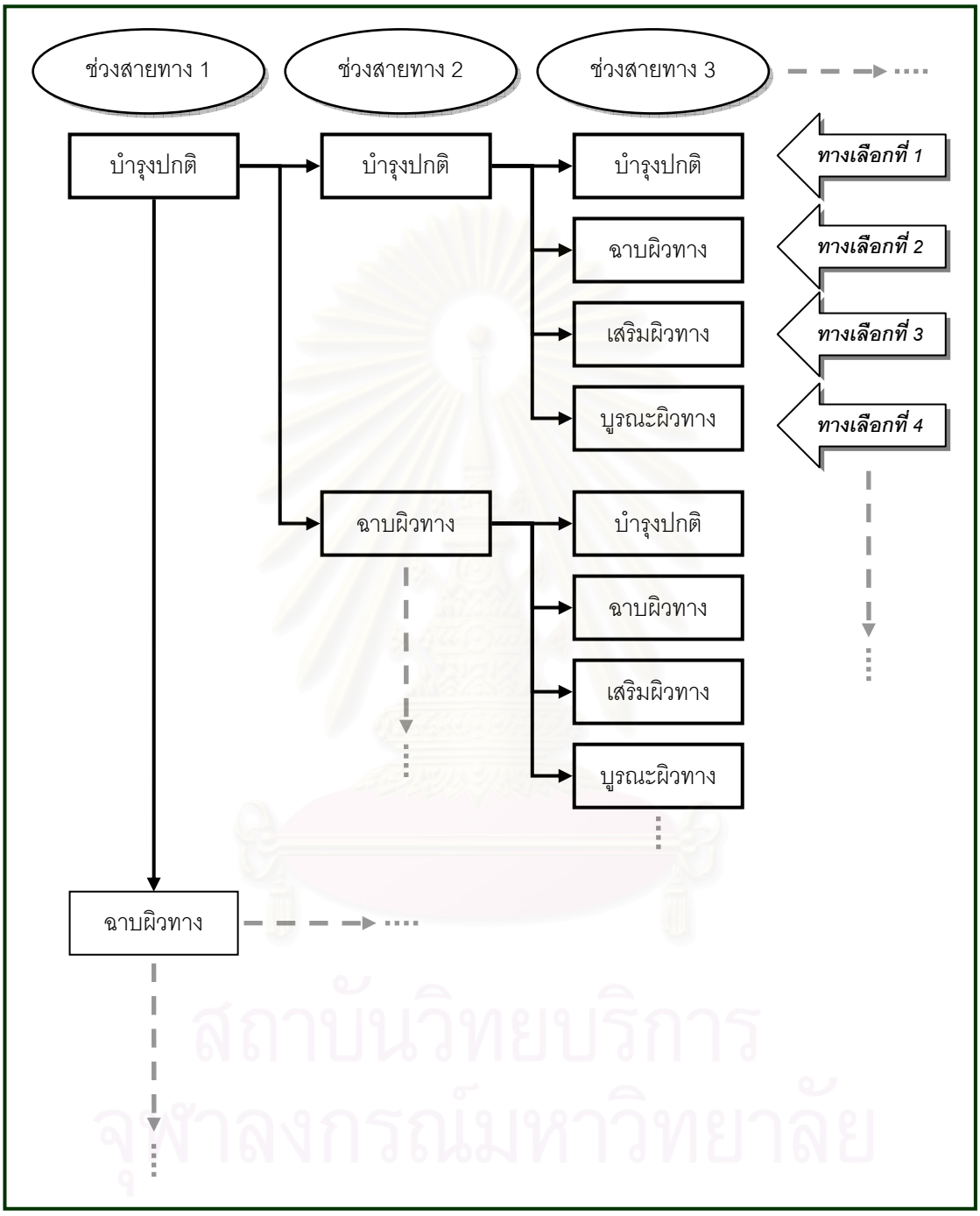
ขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุง หลังจากทำการคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (UIRI) ของแต่ละแผนงานครบถ้วน จึงทำการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงที่ทำให้ผลรวมของสภาพทางตลอดอายุใช้งานที่เหลือของทุกสายทางมีสภาพที่ดีที่สุด หรือมีค่ามูลค่าเทียบเท่ารายปีของดัชนีความขรุขระสากลของทุกสายทางน้อยที่สุด ภายใต้กรอบงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด

ในการวิเคราะห์ทางเลือกที่เป็นไปได้ของแผนงานบำรุงรักษาผิวทางได้ใช้หลักการ Enumeration ซึ่งเป็นการคำนวณหากรณีทั้งหมดที่เป็นไปได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาคำตอบหรือแผนงานที่คุ้มค่าที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดดังรูปที่ 3.8 โดยจำนวนทางเลือกทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการวางแผนงานมีจำนวนดังนี้

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

ในส่วนของอัตราผลตอบแทนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีพิจารณาจากอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate of Return, MARR) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 12.0 ต่อปี (Rodrigo, 1999) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของธนาคารโลกในการลงทุนโครงการสาธารณูปโภคพื้นฐาน ซึ่งกำหนดว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดในการดำเนินการโครงการสาธารณูปโภคต้องไม่ต่ำกว่าผลรวมของอัตราผลตอบแทน (Rate of Return)

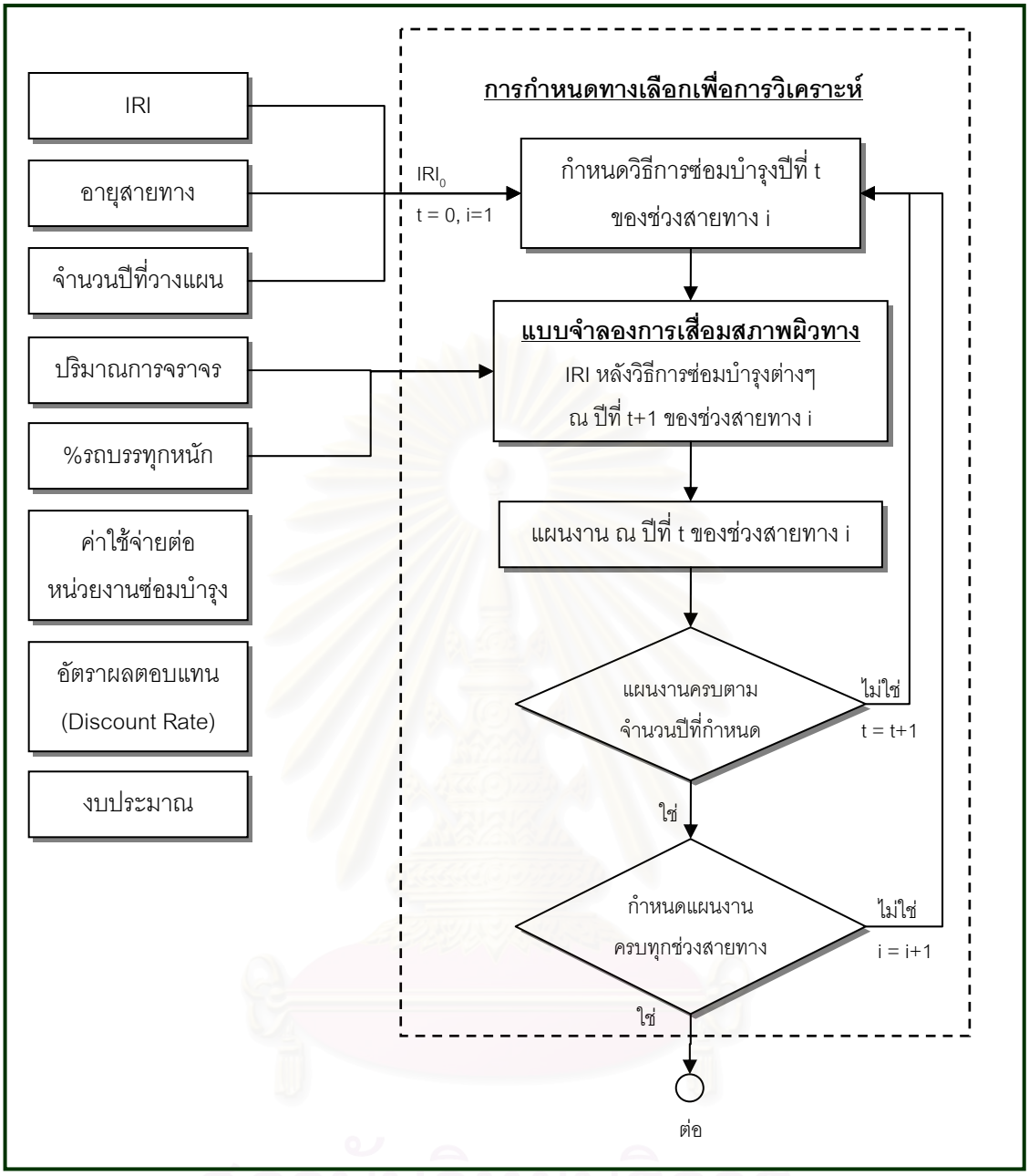
ร้อยละ 9.5 และอัตราเงินเฟ้อ (Inflation Rate) ร้อยละ 2.5 ซึ่งทั่วไปแล้วอัตราผลตอบแทนต่ำสุดดังกล่าวนั้น จะกำหนดโดยนโยบายของภาครัฐหรืออ้างอิงกับอัตราเงินกู้เพื่อการลงทุน



รูปที่ 3.8 รูปแบบของทางเลือกในการวางแผนงาน

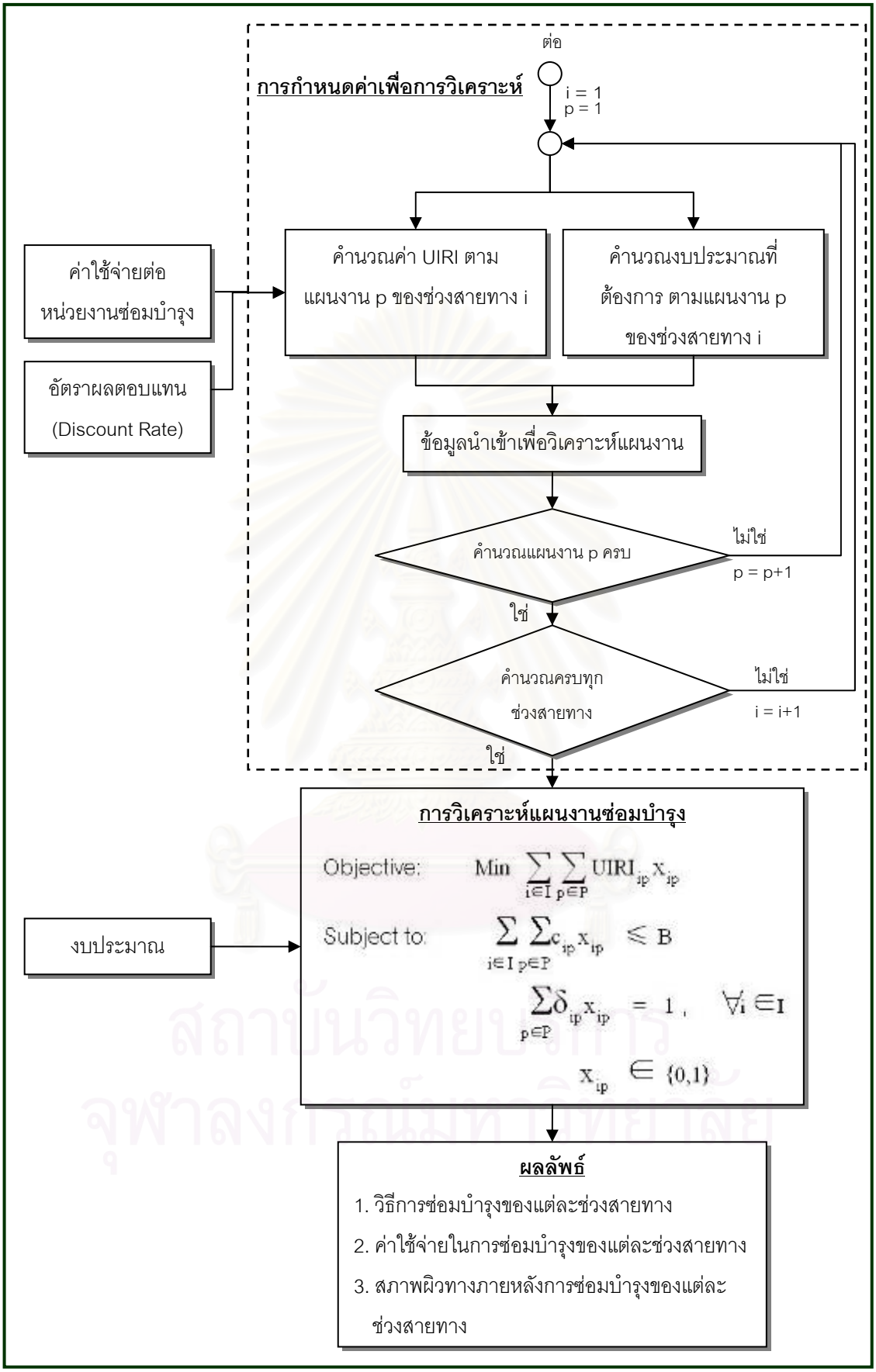
ในส่วนของขั้นตอนการวิเคราะห์ของแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนั้น สามารถสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 3.9 ในส่วนของตัวอย่างการคำนวณจะกล่าวถึงในบทต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 ลักษณะการวิเคราะห์ของแบบจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 ลักษณะการวิเคราะห์ของแบบจำลอง (ต่อ)

จากรูปที่ 3.9 แสดงถึงขั้นตอนในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางด้วยแบบจำลองวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง โดยขั้นตอนแรกเป็นการกำหนดทางเลือกการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นขั้นตอนการกรองตัวเลือก (Screening Process) สำหรับการซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทาง เพื่อลดจำนวนตัวแปรที่นำเข้าสู่การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง Optimization ซึ่งภายหลังจากกำหนดทางเลือกในการวิเคราะห์แล้ว ทำให้สามารถทำนายพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีได้ด้วยแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง ตามสมการที่ 3.1 ถึง 3.5 และเมื่อทราบทางเลือกในการซ่อมบำรุงและพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว จะเป็นขั้นตอนการกำหนดค่าเพื่อการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นการคำนวณหางบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง และค่า UIRI ภายหลังการซ่อมบำรุงของแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทาง เพื่อนำค่าดังกล่าวเข้าสู่การวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงด้วยแบบจำลอง Optimization ซึ่งเป็นการหาแผนงานที่ให้ผลรวมของค่า URI ของโครงข่ายสายทางต่ำที่สุด หรือมีสภาพผิวทางที่ดีที่สุดนั่นเอง โดยผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ประกอบด้วยแผนงานซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทาง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทาง และสภาพผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทาง

3.5.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

เมื่อทำการวิเคราะห์หาคำตอบของปัญหาจากสมการที่ 3.6 โดยใช้วิธีการ Enumeration จะได้ผลลัพธ์คือแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำสำหรับทุกช่วงสายทาง ซึ่งจะระบุวิธีการซ่อมบำรุง ณ ปีที่วางแผนเพื่อให้ได้สภาพผิวทางของโครงข่ายสายทางที่ดีที่สุดตลอดอายุใช้งาน โดยผลรวมของค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทางไม่เกินกรอบงบประมาณที่ได้กำหนด และยังทราบสภาพผิวทางของแต่ละช่วงสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงานตลอดอายุใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้วางแผนต่อเนื่องหลายปีได้ ซึ่งพิจารณาร่วมกับอัตราผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ แต่ทั้งนี้ในการวางแผนต่อเนื่องในระยะยาวนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ได้

3.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้เป็นขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลอง และการกำหนดวิธีการในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ โดยวัตถุประสงค์ที่ทำให้สภาพผิวทางของโครงข่ายสายทางมีสภาพดีที่สุดตลอดอายุใช้งานของแต่ละช่วงสายทาง และไม่เกินงบประมาณที่กำหนด

ขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลองนั้นเริ่มจากการกำหนดลักษณะของปัญหา แบบจำลองอื่นๆ ที่ใช้ร่วมในการแก้ปัญหา ความต้องการในงานซ่อมบำรุงทาง และค่าที่ใช้ในการวัดผล เพื่อนำมาสร้างสมการวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดต่างๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหา เมื่อได้รูปแบบของสมการต่างๆ แล้ว จึงทำการปรับแบบจำลองให้สอดคล้องกับการนำไปใช้จริง ซึ่งในการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำนี้ได้อ้างอิงข้อมูลจากสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงเป็นหลัก

สำหรับข้อดีของการวางแผนงานในรูปแบบนี้เมื่อเทียบกับรูปแบบการพิจารณาแผนงานบำรุงทางในปัจจุบัน คือ

- เป็นการพิจารณาแผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณต่ำซึ่งผลกระทบจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางมีไม่สูงนัก ซึ่งทำให้วัตถุประสงค์ของการวางแผนงานบำรุงรักษาเป็นในลักษณะของการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงที่ทำให้สายทางมีสภาพดีที่สุด และใช้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่า

- ใช้วิธีการมูลค่าเทียบเท่ารายปีเพื่อลดความแตกต่างทางด้านอายุคงเหลือของสายทางในการพิจารณาโครงการซ่อมบำรุง

- สามารถพิจารณาโครงการทั้งในกรณีที่จำกัดงบประมาณ และไม่จำกัดงบประมาณได้ โดยการวิเคราะห์ในกรณีที่ไม่จำกัดงบประมาณสามารถใช้วิธีการให้งบประมาณที่จำกัดมีค่ามากๆ เสมือนงบประมาณมีไม่จำกัดได้

- สามารถวางแผนงานบำรุงรักษาทางปีเดียว หรือต่อเนื่องหลายปีได้

- สามารถนำหลักการพิจารณาตลอดอายุใช้งานไปประยุกต์ใช้กับสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูง โดยอาจพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางตามรูปแบบที่ได้ศึกษาไว้ในบทที่แล้ว ผลการวิเคราะห์ รวมถึงปัญหาและข้อจำกัดจากการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางด้วยแบบจำลองดังกล่าว

4.1 ขั้นตอนและผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

การวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางนั้นสามารถวิเคราะห์ในรูปแบบของปีต่อปี หรือวางแผนต่อเนื่องหลายปี และสามารถพิจารณาในลักษณะของการจำกัดงบประมาณหรือไม่จำกัดงบประมาณ ซึ่งลักษณะการวางแผนงานนั้นคล้ายคลึงกัน โดยขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมข้อมูลสายทาง ได้แก่ ค่าดัชนีความขรุขระสากล ปริมาณจราจร เปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนัก และอายุสายทาง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี และนโยบายการซ่อมบำรุง

2. ทำการกำหนดทางเลือกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ของแต่ละช่วงสายทาง

3. การวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีการตลอดอายุใช้งานของแต่ละแผนงานของช่วงสายทาง

4. ทำการวิเคราะห์ผลรวมค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีภายหลังจากซ่อมบำรุงแต่ละแผนงานตลอดอายุใช้งานของโครงข่ายสายทาง และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงภายในช่วงระยะเวลาที่วางแผน เพื่อใช้เป็นค่าองค์ประกอบในการวิเคราะห์แผนงาน

5. ทำการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงที่ทำให้สภาพผิวทางตลอดอายุใช้งานของโครงข่ายสายทางมีสภาพดีที่สุด ภายใต้งบประมาณที่กำหนด

ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางด้วยแบบจำลองวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางมีดังต่อไปนี้

4.1.1 การวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี

1. การเตรียมข้อมูลสภาพสายทาง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี และนโยบายการซ่อมบำรุง

ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานนี้ได้นำข้อมูลสายทางของจังหวัดปทุมธานีจำนวน 10 ช่วงสายทาง ซึ่งเป็นสายทางที่มีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 1,000 คันต่อวันตลอดปี เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ โดยมีรายละเอียดข้อมูลดังกล่าวดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของช่วงสายทางตัวอย่างที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี

รหัสสายทาง	จาก กม.	ถึง กม.	PCU	%HV	IRI	อายุการใช้งาน (ปี)
ปท.3007	2	3	665.8	0.5	2.99	2
ปท.3008	11	12	670.5	2.9	2.10	2
ปท.3011	9	10	820.8	3.7	5.04	4
ปท.3019	3	4	599.5	1.2	3.07	2
ปท.3025	5	6	268.0	0.5	4.42	5
ปท.5023	1	2	535.5	0.9	6.84	9
ปท.5026	0	1	776.0	0.8	6.35	9
ปท.4003	0	1	375.3	0.4	2.55	3
ปท.3020	14	15	924.0	5.1	5.94	1
ปท.3022	10	11	325.0	1.1	6.07	8

ข้อมูล ณ วันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2549

ที่มา: สำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท

ในส่วนของค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงต่อกิโลเมตรของแต่ละวิธีการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงชนบท

กิจกรรมซ่อมบำรุง	ค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง (บาทต่อกิโลเมตร)
งานซ่อมบำรุงปกติ	33,000
งานฉาบผิวทาง	323,000
งานเสริมผิวทาง	1,288,000
งานบูรณะผิวทาง	1,840,000

ข้อมูล ณ วันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2549

ที่มา: สำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท

นโยบายการซ่อมบำรุงอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาผิวทางเมื่อสายทางมีสภาพความเสียหายมาก หรือมีอายุใช้งานสูงมีดังต่อไปนี้

- กรณีที่สายทางมีค่าดัชนีความขรุขระสากลมากกว่า 6.50 เมตรต่อกิโลเมตร จะกำหนดให้ทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการบูรณะผิวทาง หรือทำการซ่อมบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

- กรณีที่สายทางมีอายุใช้งานมากกว่า 7 ปี กำหนดให้ทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทาง หรือซ่อมบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

2. ทำการกำหนดทางเลือกในการซ่อมบำรุงของแต่ละสายทาง จากข้อมูลโครงข่ายสายทางในตารางที่ 4.1 ซึ่งการกำหนดทางเลือกของโครงการดังกล่าวจะเป็นไปตามนโยบายการบำรุงรักษาทางที่กำหนด ดังตารางที่ 4.3 จากตัวอย่างของสายทาง ปท.3007 พบว่าสายทางมีอายุใช้งานไม่เกิน 7 ปี และมีค่า IRI ไม่เกิน 6.5 เมตรต่อกิโลเมตร ดังนั้นทางเลือกในการบำรุงรักษาทางจะมี 3 แนวทาง ได้แก่ การซ่อมบำรุงปกติ การฉาบผิวทาง และการเสริมผิวทาง

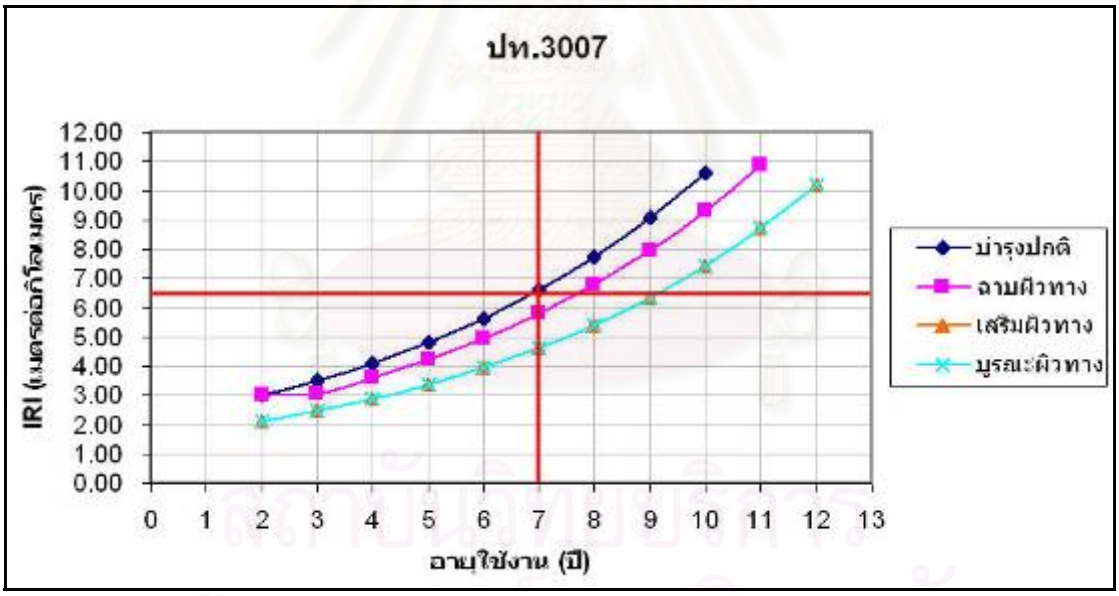
ตารางที่ 4.3 การกำหนดทางเลือกการซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทาง

รหัสสายทาง	ทางเลือกการซ่อมบำรุง			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
ปท.3007	x	x	x	
ปท.3008	x	x	x	
ปท.3011	x	x	x	
ปท.3019	x	x	x	
ปท.3025	x	x	x	
ปท.5023	x			x
ปท.5026	x		x	
ปท.4003	x	x	x	
ปท.3020	x	x	x	
ปท.3022	x		x	

การวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงรักษาผิวทางแต่ละวิธีการได้ใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่แล้วในการทำนายสภาพผิวทางตลอดอายุใช้งานที่เหลือ ลักษณะการวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงในปีแรก ดังแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์สภาพสายทางของสายทาง ปท.3007 ในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1 ซึ่งนำสมการที่ 3.3 มาใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์สภาพสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ช่วงสายทาง ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3 ด้วยวิธีการต่างๆ

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	2.99	2.99	2.09	-
3	3.50	3.07	2.45	-
4	4.11	3.59	2.87	-
5	4.81	4.21	3.36	-
6	5.64	4.93	3.94	-
7	6.60	5.78	4.62	-
8	7.74	6.77	5.41	-
9	9.07	7.93	6.34	-
10	10.63	9.30	7.43	-



รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของสายทางภายหลังกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงในปีแรกของช่วงสายทาง ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3

3. ทำการกำหนดค่าเพื่อการวิเคราะห์ เมื่อทำการวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีตลอดอายุใช้งานแล้วต้องทำการคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (UIRI) ของแต่ละทางเลือกโครงการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน

บำรุงรักษาผิวทางที่เหมาะสม โดยตัวอย่างผลการคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (UIRI) ที่อัตราผลตอบแทนเท่ากับร้อยละ 12 แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงช่วงสายทาง ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3 ด้วยวิธีการต่างๆ

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	2.99	2.99	2.09	-
3	3.50	3.07	2.45	-
4	4.11	3.59	2.87	-
5	4.81	4.21	3.36	-
6	5.64	4.93	3.94	-
7	6.60	5.78	4.62	-
8	-	-	5.41	-
9	-	-	6.34	-
10	-	-	-	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	20.14	18.00	19.70	-
UIRI	5.58	4.99	4.35	-

จากตารางที่ 4.5 การบำรุงรักษาทางด้วยวิธีการซ่อมบำรุงปกติและการฉาบผิวทางจะพิจารณาถึงปีที่ 7 ซึ่งครบตามอายุใช้งานของสายทาง ส่วนการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทางนั้นจะส่งผลให้อายุของผิวทางนั้นเสมือนถนนที่ทำการสร้างผิวทางใหม่ แต่ในกรณีที่ผิวทางมีความเสียหายมากหรือค่าดัชนีความขรุขระสากลสูงกว่า 6.5 เมตรต่อกิโลเมตร จะไม่สามารถซ่อมบำรุงด้วยการเสริมผิวทางได้ แต่สามารถซ่อมบำรุงได้ด้วยวิธีการบูรณะผิวทาง

4. ทำการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางแบบปีต่อปี โดยสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ การวิเคราะห์แบบกำหนดข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ และการวิเคราะห์แบบไม่จำกัดงบประมาณ โดยทางเลือกในการวางแผนงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีดังตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 พบว่าทางเลือกในการซ่อมบำรุงของโครงข่ายสายทางตัวอย่างดังกล่าวที่เป็นไปได้มีจำนวนเท่ากับ 3x3x3x3x3x2x2x3x3x2 = 17,496 ทางเลือก

ในส่วนของตัวอย่างผลการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี โดยกำหนดให้ได้รับงบประมาณจำกัดเท่ากับ 4,000,000 บาท แสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นแผนงานบำรุงรักษาโครงข่ายสายทางที่

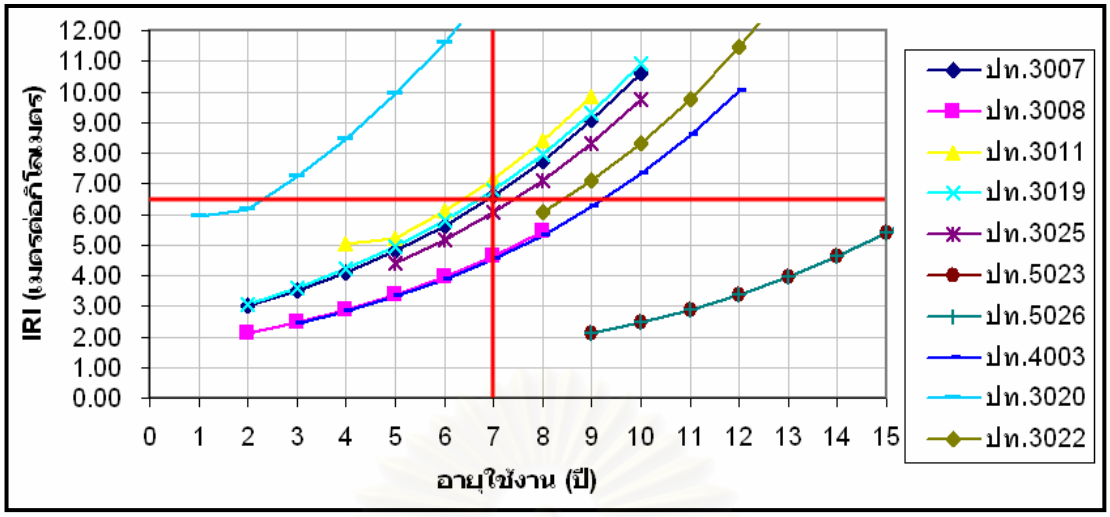
ให้สภาพผิวทางดีที่สุดตลอดอายุใช้งานของแต่ละสายทางภายใต้กรอบงบประมาณ 4,000,000 บาท ซึ่งจากการวิเคราะห์เพื่อหาแผนงานดังกล่าวพบว่า มีทางเลือกในการวางแผนจำนวน 2,712 ทางเลือก ที่ใช้งบประมาณไม่เกิน 4,000,000 บาท แต่มีเพียงแผนงานเดียวที่ทำให้สภาพผิวทางดีที่สุดตลอดอายุใช้งานของผิวทางซึ่งใช้งบประมาณ 3,972,000 บาท โดยมีผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีเท่ากับ 66.98 เมตรต่อกิโลเมตร

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท

รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุง	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
ปท.3007	ซ่อมบำรุงปกติ	5.59	33,000
ปท.3008	ซ่อมบำรุงปกติ	3.92	33,000
ปท.3011	ฉาบผิวทาง	8.19	323,000
ปท.3019	ซ่อมบำรุงปกติ	5.74	33,000
ปท.3025	ซ่อมบำรุงปกติ	8.21	33,000
ปท.5023	บูรณะผิวทาง	4.32	1,840,000
ปท.5026	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.4003	ซ่อมบำรุงปกติ	4.35	33,000
ปท.3020	ฉาบผิวทาง	10.46	323,000
ปท.3022	ซ่อมบำรุงปกติ	11.88	33,000
รวม		66.98	3,972,000

เมื่อวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาโครงข่ายสายทางแล้วจะสามารถวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการต่างๆ ตามแผนงานเมื่อจำกัดงบประมาณ 4,000,000 บาท ของช่วงสายทางแต่ละช่วงได้ ดังรูปที่ 4.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



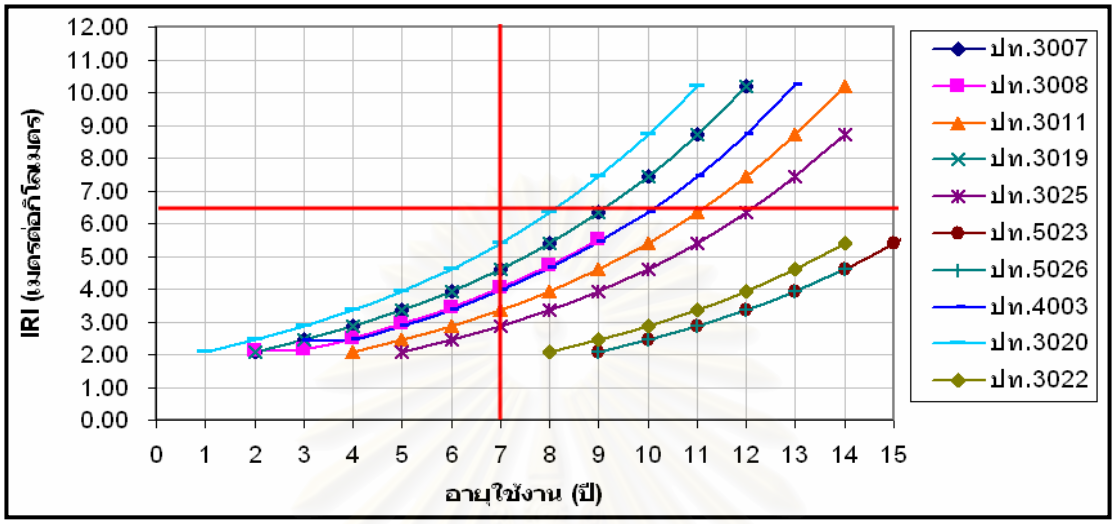
รูปที่ 4.2 การเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงาน ภายใต้งบประมาณ 4,000,000 บาท

ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หางบประมาณน้อยที่สุดที่ต้องการ เพื่อหาแแผนงานบำรุงรักษาโครงข่ายสายทางที่ให้สภาพผิวทางดีที่สุดตลอดอายุใช้งานของแต่ละสายทาง สามารถทำได้โดยกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัดของงบประมาณให้มีจำนวนมากๆ หรือไม่จำกัดงบประมาณ โดยพบว่าแผนงานที่ทำให้สภาพผิวทางของโครงข่ายสายทางดีที่สุดนั้น ต้องการงบประมาณในการบำรุงรักษาผิวทางเป็นจำนวน 11,502,000 บาท โดยมีผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีเท่ากับ 40.67 เมตรต่อกิโลเมตร ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขไม่จำกัดงบประมาณ

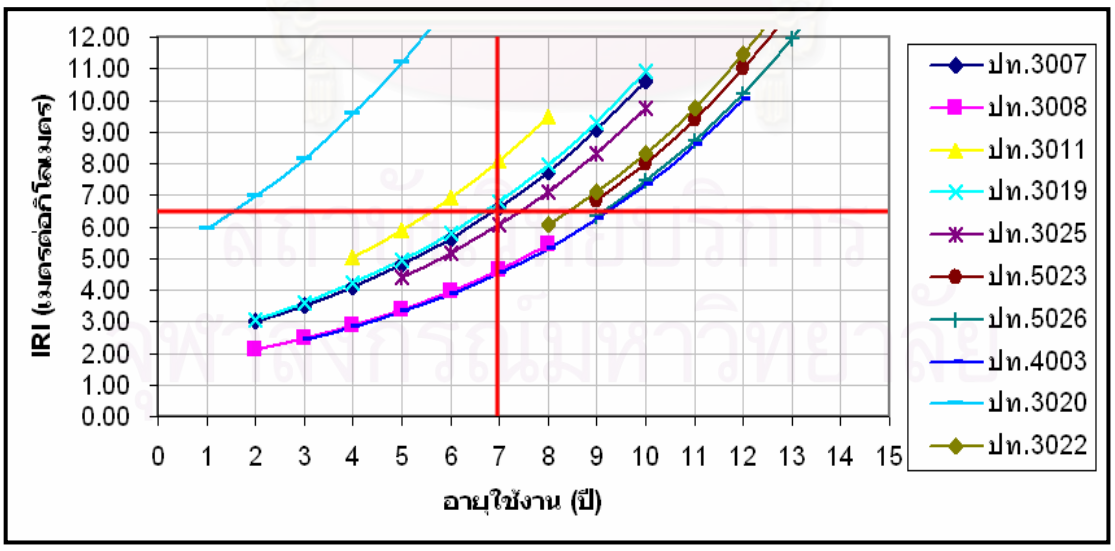
รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุง	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
ปท.3007	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.3008	ฉาบผิวทาง	3.48	323,000
ปท.3011	เสริมผิวทาง	3.09	1,288,000
ปท.3019	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.3025	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.5023	บูรณะผิวทาง	4.32	1,840,000
ปท.5026	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.4003	ฉาบผิวทาง	3.89	323,000
ปท.3020	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.3022	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
รวม		40.67	11,502,000

เมื่อวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาโครงข่ายสายทางแล้วจะสามารถวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการต่างๆ ตามแผนงานเมื่อไม่จำกัดงบประมาณของช่วงสายทางแต่ละช่วงได้ ดังรูปที่ 4.3



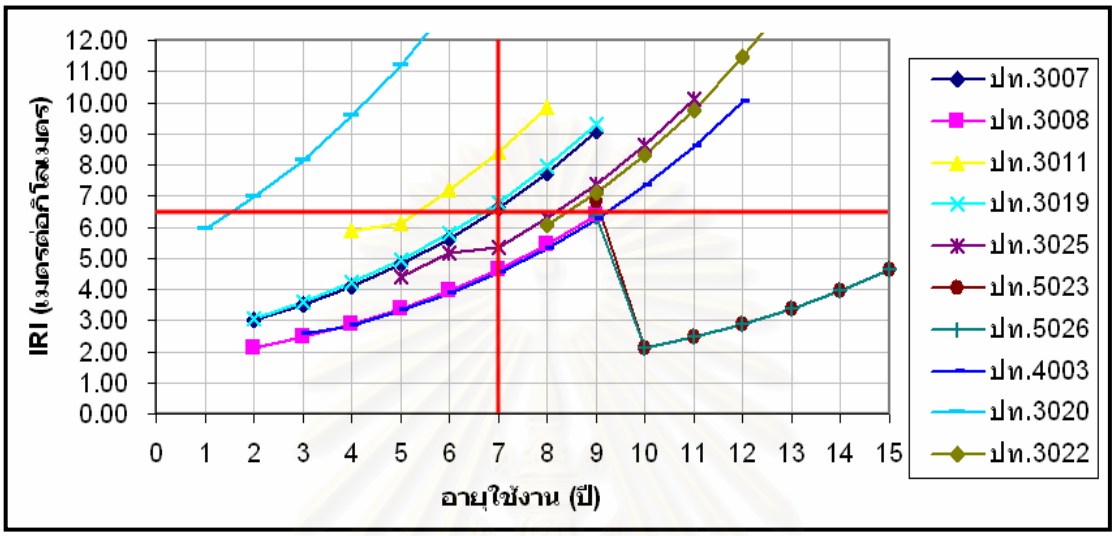
รูปที่ 4.3 การเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทาง ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงาน เมื่อไม่จำกัดงบประมาณ

นอกจากนี้กรณีที่ได้รับงบประมาณเพื่อการซ่อมบำรุงปกติเท่านั้น จะทำให้โครงข่ายสายทางมีการเสื่อมสภาพดังรูปที่ 4.4 โดยค่าผลรวมของค่าดัชดีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีของโครงข่ายสายทาง เท่ากับ 87.29 เมตรต่อกิโลเมตร ซึ่งนับว่าเป็นสภาพที่แย่มาก



รูปที่ 4.4 การเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทาง ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงาน เมื่อได้รับงบประมาณงานบำรุงปกติเท่านั้น

กรณีที่มีการเลื่อนการได้รับงบประมาณ 4,000,000 บาท ออกไปอีก 1 ปี จะทำให้การเสื่อมสภาพของผิวทางเป็นดังรูปที่ 4.5 ซึ่งทำให้ผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีของโครงข่ายสายทางเท่ากับ 77.03 เมตรต่อกิโลเมตร ซึ่งมีสภาพของโครงข่ายสายทางแย่กว่าเมื่อได้รับงบประมาณที่เท่ากันในปีแรก



รูปที่ 4.5 การเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงาน เมื่อได้รับงบประมาณ 4,000,000 บาท ในปีถัดไป

4.1.2 การวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี

1. การกำหนดทางเลือกและค่าในการวิเคราะห์แผนงานซึ่งการวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปีนั้น มีขั้นตอนเหมือนกับการวิเคราะห์แบบปีต่อปี โดยมีรายละเอียดแตกต่างจากการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปีในขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกในการบำรุงรักษาผิวทางของโครงข่ายสายทาง ซึ่งต้องทำการวางแผนต่อเนื่องตามจำนวนปีที่วางแผน การวิจัยนี้ได้ทดสอบวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี โดยกำหนดให้วิเคราะห์แผนงานต่อเนื่อง 3 ปี ซึ่งข้อมูลช่วงสายทางที่นำมาใช้ในตัวอย่างการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.8 ซึ่งพบว่าทางเลือกในการซ่อมบำรุงที่เป็นไปได้มีจำนวน $(3x3x3)^3$ = 19,683 ทางเลือก โดยตัวอย่างการวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงต่อเนื่อง 3 ปี และการคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (UIRI) ที่อัตราผลตอบแทนเท่ากับร้อยละ 12 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน แสดงดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 โดยที่ 1 คือ วิธีการซ่อมบำรุงปกติ 2 คือ การฉาบผิวทาง 3 คือ การเสริมผิวทาง และ 4 คือ การบูรณะผิวทาง

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลของช่วงสายทางตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี

รหัสสายทาง	จาก กม.	ถึง กม.	PCU	%HV	IRI	อายุการใช้งาน (ปี)
ปท.3007	2	3	665.8	0.5	2.99	2
ปท.3019	3	4	599.5	1.2	3.07	2
ปท.5026	0	1	776.0	0.8	6.35	9

ข้อมูล ณ วันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2549

ที่มา: สำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท

ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างการวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงช่วงสายทาง ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3 ด้วยวิธีการต่างๆ เมื่อวางแผนต่อเนื่อง 3 ปี

กิจกรรมซ่อมบำรุง			ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่อายุใช้งานต่างๆ (เมตรต่อกิโลเมตร)									
แผนงานปีที่ 1	แผนงานปีที่ 2	แผนงานปีที่ 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1		2.99	3.50	4.11	4.81	5.64	6.60	7.74	9.07	10.63
		2		2.99	3.50	4.11	4.23	4.96	5.81	6.81	7.98	9.35
		3		2.99	3.50	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41
	2	1		2.99	3.50	3.60	4.22	4.95	5.80	6.79	7.96	9.33
		2		2.99	3.50	3.60	3.71	4.35	5.09	5.97	6.99	8.19
		3		2.99	3.50	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41
	3	1		2.99	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34
		2		2.990	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52
		3		2.99	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41
2	1	1		2.99	3.07	3.59	4.21	4.93	5.78	6.77	7.93	9.30
		2		2.99	3.07	3.59	3.70	4.33	5.07	5.95	6.97	8.16
		3		2.99	3.07	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41
	2	1		2.99	3.07	3.15	3.69	4.32	5.06	5.93	6.95	8.14
		2		2.99	3.07	3.15	3.23	3.78	4.43	5.19	6.07	7.13
		3		2.99	3.07	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41
	3	1		2.99	3.07	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34
		2		2.99	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52
		3		2.99	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41
3	1	1		2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34	7.43
		2		2.09	2.45	2.87	2.94	3.45	4.04	4.73	5.54	6.50
		3		2.09	2.45	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41
	2	1		2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52	6.47
		2		2.09	2.45	2.50	2.55	2.99	3.51	4.11	4.81	5.64
		3		2.09	2.45	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41
	3	1		2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34
		2		2.09	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52
		3		2.09	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41

ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงช่วงสายทาง ปท.3007 จากกิโลเมตรที่ 2 ถึง 3 ด้วยวิธีการต่างๆ เมื่อวางแผนต่อเนื่อง 3 ปี

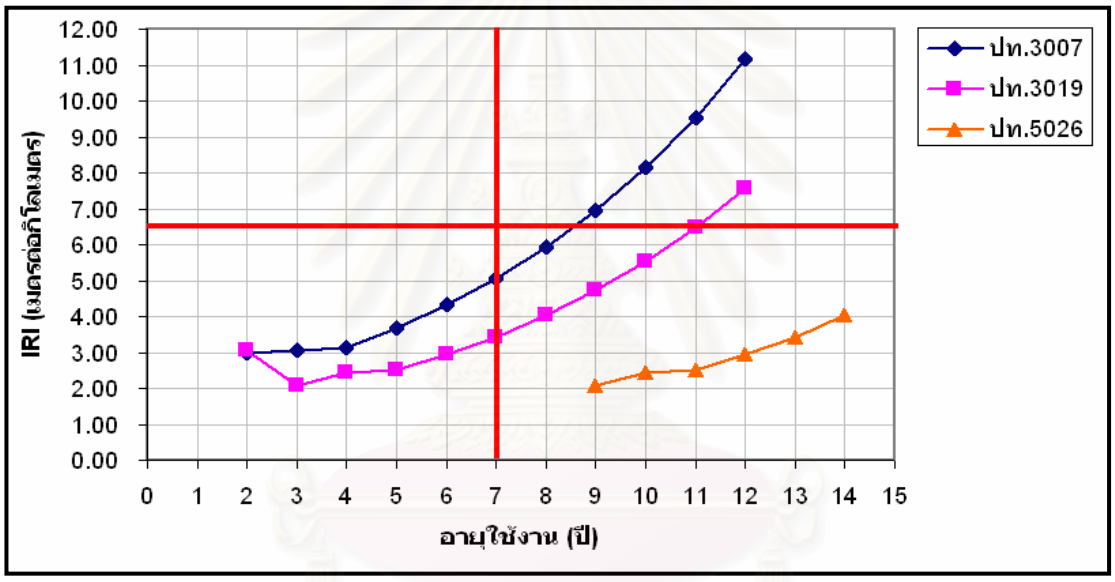
กิจกรรมซ่อมบำรุง			ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่อายุใช้งานต่างๆ (เมตรต่อกิโลเมตร) ที่อัตราผลตอบแทนร้อยละ 12												
แผนปีที่ 1	แผนปีที่ 2	แผนปีที่3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	NPV	UIRI
1	1	1		2.99	3.13	3.27	3.42	3.58	3.75					20.14	5.59
		2		2.99	3.13	3.27	3.01	3.15	3.30					18.86	5.23
		3		2.99	3.13	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.29	21.82	4.10
	2	1		2.99	3.13	2.87	3.01	3.14	3.29					18.43	5.11
		2		2.99	3.13	2.87	2.64	2.76	2.89					17.28	4.79
		3		2.99	3.13	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.29	21.82	4.10
	3	1		2.99	1.87	1.95	2.04	2.14	2.24	2.34	2.45	2.56		20.58	4.14
		2		2.99	1.87	1.95	1.78	1.86	1.95	2.04	2.13	2.23		18.80	3.79
		3		2.99	1.87	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.29	20.56	3.86
2	1	1		2.99	2.74	2.86	3.00	3.13	3.28					18.00	4.99
		2		2.99	2.74	2.86	2.63	2.75	2.88					16.85	4.68
		3		2.99	2.74	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.29	21.43	4.02
	2	1		2.99	2.74	2.51	2.62	2.74	2.87					16.47	4.57
		2		2.99	2.74	2.51	2.30	2.40	2.52					15.45	4.29
		3		2.99	2.74	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.29	21.43	4.02
	3	1		2.99	2.74	1.95	2.04	2.14	2.24	2.34	2.45	2.56		21.45	4.32
		2		2.99	1.87	1.95	1.78	1.86	1.95	2.04	2.13	2.23		18.80	3.79
		3		2.99	1.87	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.29	20.56	3.86
3	1	1		2.09	2.19	2.29	2.40	2.51	2.62	2.74	2.87			19.70	4.32
		2		2.09	2.19	2.29	2.09	2.19	2.29	2.40	2.51			18.04	3.95
		3		2.09	2.19	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.97	19.98	3.75
	2	1		2.09	2.19	1.99	2.09	2.18	2.28	2.39	2.50			17.71	3.88
		2		2.09	2.19	1.99	1.82	1.90	1.99	2.08	2.18			16.24	3.56
		3		2.09	2.19	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.29	19.98	3.75
	3	1		2.09	1.87	1.95	2.04	2.14	2.24	2.34	2.45	2.56		19.68	3.96
		2		2.09	1.87	1.95	1.78	1.86	1.95	2.04	2.13	2.23		17.90	3.60
		3		2.09	1.87	1.67	1.74	1.83	1.91	2.00	2.09	2.19	2.29	19.66	3.69

2. ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี โดยกำหนดให้ได้รับงบประมาณจำกัดเท่ากับ 4,000,000 บาท แสดงดังตารางที่ 4.11 ซึ่งเป็นแผนงานบำรุงรักษาโครงข่ายสายทางที่ให้สภาพผิวทางดีที่สุดตลอดอายุใช้งานของแต่ละสายทางภายใต้กรอบงบประมาณ 4,000,000 บาท ซึ่งจากการวิเคราะห์เพื่อหาแผนงานดังกล่าวพบว่า แผนงานที่ให้ค่าสภาพผิวทางดีที่สุดโดยมีผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีเท่ากับ 11.93 เมตรต่อกิโลเมตร และต้องการใช้งบประมาณจำนวน 3,967,000 บาท

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบต่อเนื่อง 3 ปี ภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท

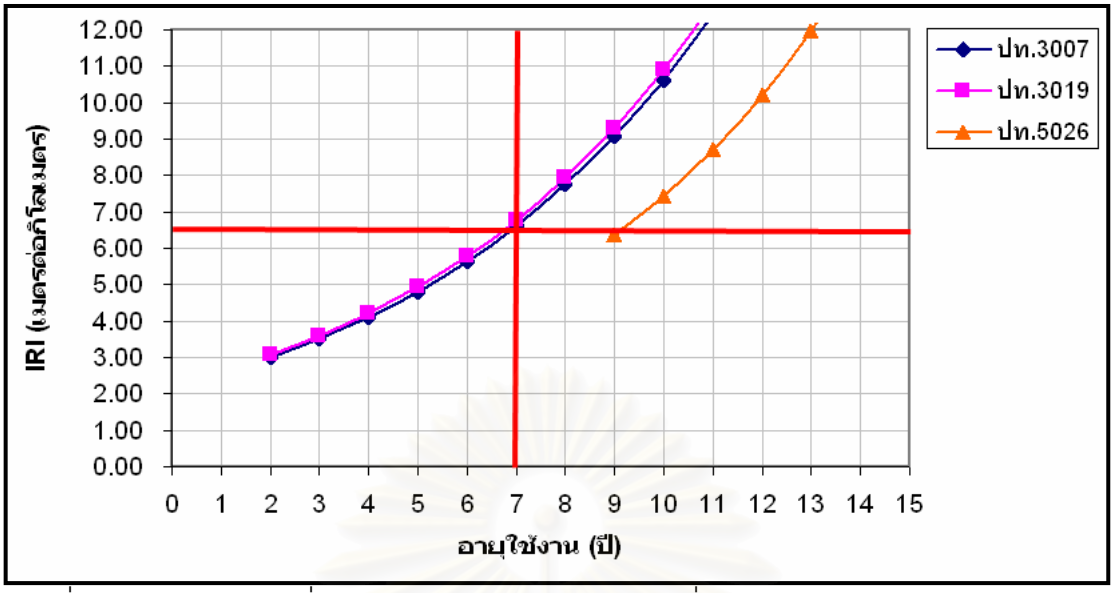
รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุงที่ปีต่างๆ			UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3		
ปท.3007	ฉาบผิวทาง	ฉาบผิวทาง	บำรุงปกติ	4.57	679,000
ปท.3019	บำรุงปกติ	เสริมผิวทาง	ฉาบผิวทาง	3.80	1,644,000
ปท.5026	เสริมผิวทาง	บำรุงปกติ	ฉาบผิวทาง	3.56	1,644,000

เมื่อวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาโครงข่ายสายทางแล้วจะสามารถวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการต่างๆ ตามแผนงาน 3 ปี เมื่อจำกัดงบประมาณ เท่ากับ 4,000,000 บาท ของช่วงสายทางแต่ละช่วงได้ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทาง ภายหลังซ่อมบำรุงตามแผนงานต่อเนื่อง 3 ปี ภายใต้งบประมาณ 4,000,000 บาท

นอกจากนี้กรณีที่ได้รับงบประมาณสำหรับกิจกรรมบำรุงปกติเท่านั้น จะทำให้โครงข่ายสายทางมีผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีเท่ากับ 23.19 เมตรต่อกิโลเมตร ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของโครงข่ายสายทาง เมื่อได้รับงบประมาณสำหรับกิจกรรมซ่อมบำรุงปกติเท่านั้น

4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองกับการวิเคราะห์แผนงานรูปแบบอื่น

4.2.1 การเปรียบเทียบกับ Treatment Matrix

เมื่อเปรียบเทียบกับการวางแผนงานด้วย Treatment Matrix ของกรมทางหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นรูปแบบการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางแบบปีต่อปี ดังตารางที่ 4.12 โดยตัวแปรที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์แผนงานจาก Treatment Matrix ได้แก่ ค่าดัชนีความขรุขระสากล พื้นที่ความเสียหายหนัก พื้นที่ความเสียหายเบา และปริมาณการจราจร โดยการทดสอบแบบจำลองนี้จะกำหนดให้โครงข่ายสายทางที่นำมาทดสอบมีพื้นที่ความเสียหายหนักและเบาน้อยที่สุด ซึ่งผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแผนงานบำรุงรักษาผิวทางด้วยแบบจำลองและ Treatment Matrix แสดงดังตารางที่ 4.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 Treatment matrix สำหรับผิวแอสฟัลติกคอนกรีต (Medium Strength)

Roughness Range (IRI m/km)	Deterioration Minor	Deterioration Major	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	< 30%	< 10%	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM
	> 30%	< 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal
		> 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-60
	> 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 - ซ่อมบำรุงปกติ

Seal - การฉาบผิวทาง

OL-50 - การเสริมผิวทาง 50 มิลลิเมตร

OL-60 - การเสริมผิวทาง 60 มิลลิเมตร

OL-80 - การเสริมผิวทาง 80 มิลลิเมตร

REH-ST - การบูรณะผิวทางด้วย Double Surface Treatment

REH-AC - การบูรณะผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตหนา 50 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบปีต่อปีโดยใช้ Treatment Matrix

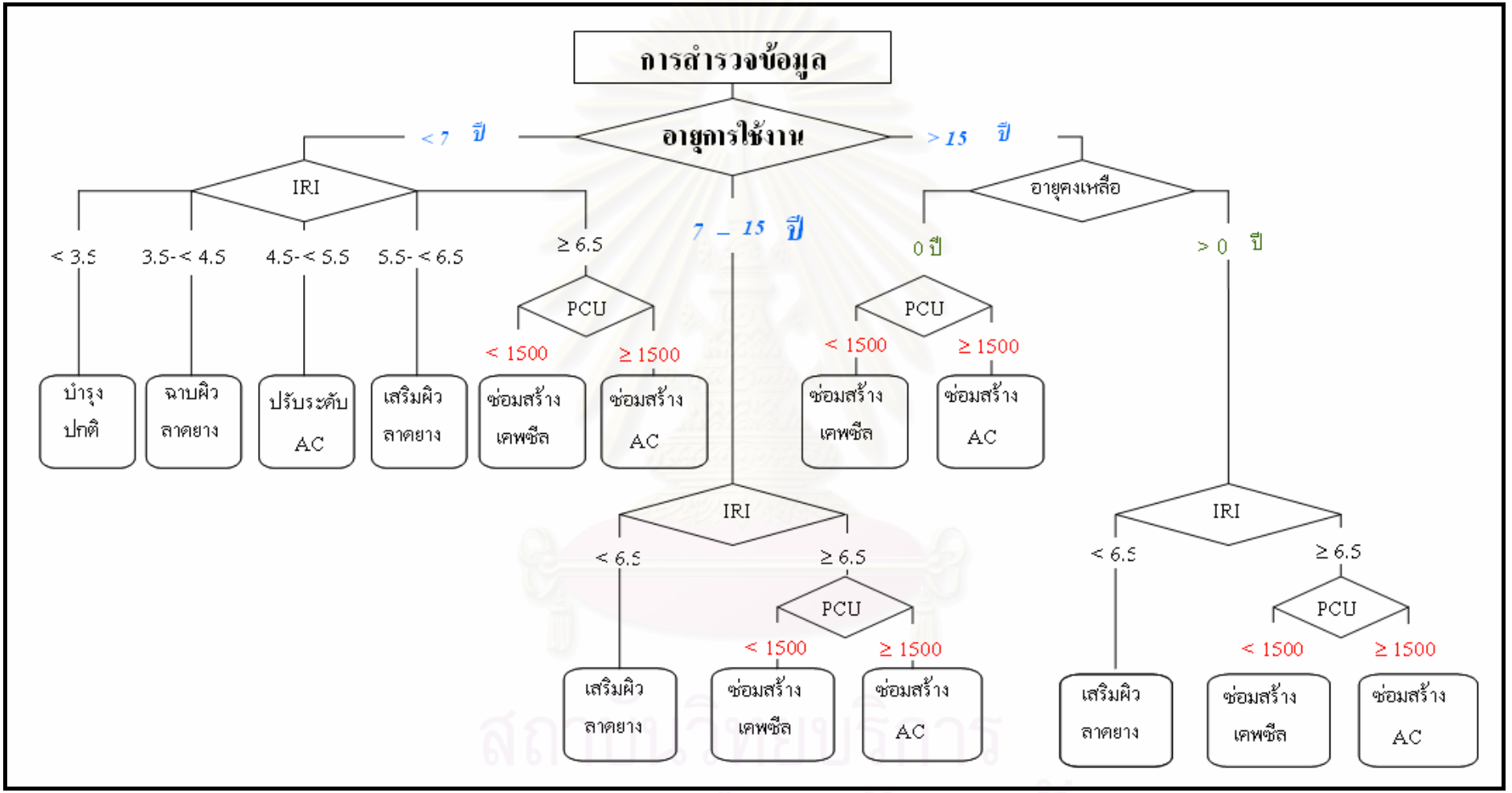
รูปแบบการวิเคราะห์	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
Treatment Matrix	1	1	3	1	1	4	4	1	3	3	48.17	7,709,000
งบประมาณ 7.7 ล้านบาท	1	1	3	1	2	4	3	1	3	3	47.50	7,447,000
ไม่จำกัดงบประมาณ	1	2	3	3	3	4	3	2	3	3	40.67	11,502,000

หมายเหตุ: 1 คือ กิจกรรมซ่อมบำรุงปกติ 2 คือ กิจกรรมการฉาบผิวทาง
3 คือ กิจกรรมการเสริมผิวทาง 4 คือ กิจกรรมการบูรณะผิวทาง

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างโครงข่ายสายทางที่ได้จากแบบจำลองกับ Treatment Matrix โดยการนำงบประมาณที่ต้องการใช้จากการวิเคราะห์ด้วย Treatment Matrix มาเป็นข้อจำกัดในการวิเคราะห์ของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น พบว่ามีลักษณะของผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่วิธีการวางแผนงานซ่อมบำรุงด้วย Treatment Matrix เป็นวิธีการที่สามารถวางแผนแบบปีต่อปีเท่านั้น และไม่ทราบถึงสภาพผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุง นอกจากนี้ในกรณีที่จำกัดงบประมาณจะไม่สามารถใช้ Treatment Matrix วิเคราะห์แผนงานได้โดยตรง กล่าวคือหลังจากได้แผนงานซ่อมบำรุงแล้ว ต้องนำแผนงานของแต่ละช่วงสายทางมาทำการจัดลำดับความสำคัญการซ่อมบำรุงและจัดสรรงบประมาณให้โดยผู้เชี่ยวชาญตามความเหมาะสม ซึ่งทำให้แผนงานที่ได้นั้นอาจไม่เกิดประโยชน์สูงสุดตลอดอายุใช้งานของสายทางในโครงข่าย

4.2.2 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์แผนงานของกรมทางหลวงชนบท

การวางแผนงานบำรุงทางของกรมทางหลวงชนบทใช้วิธีการวางแผนแบบ Heuristic ซึ่งเป็นการกำหนดแผนงานตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 4.8 โดยผลการเปรียบเทียบแผนงานแบบปีต่อปีที่ได้จากการวิเคราะห์แผนงานด้วยแผนผังการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงชนบท โดยการนำงบประมาณที่ต้องการใช้จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังมาเป็นข้อจำกัดในการวิเคราะห์ของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น พบว่ามีลักษณะของผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันมากกัน ดังแสดงผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.8 แผนผังการวางแผนงานบำรุงทางของกรมทางหลวงชนบท

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบปีต่อปีโดยใช้แผนผังการซ่อมบำรุง

รูปแบบการวิเคราะห์	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
แผนผังการวางแผนงาน	1	1	3	1	2	4	3	1	3	3	47.50	7,447,000
งบประมาณ 7.5 ล้านบาท	1	1	3	1	2	4	3	1	3	3	47.50	7,447,000
ไม่จำกัดงบประมาณ	1	2	3	3	3	4	3	2	3	3	40.67	11,502,000

หมายเหตุ: 1 คือ กิจกรรมซ่อมบำรุงปกติ 2 คือ กิจกรรมการฉาบผิวทาง
3 คือ กิจกรรมการเสริมผิวทาง 4 คือ กิจกรรมการบูรณะผิวทาง

วิธีการวางแผนงานซ่อมบำรุงด้วยแผนผังการซ่อมบำรุงเป็นวิธีการที่สามารถวางแผนแบบปีต่อปี นอกจากนี้ในกรณีที่จำกัดงบประมาณจะไม่สามารถใช้แผนผังการซ่อมบำรุงวิเคราะห์แผนงานได้โดยตรงเช่นเดียวกับ Treatment Matrix กล่าวคือหลังจากได้แผนงานซ่อมบำรุงแล้วต้องนำแผนงานของแต่ละช่วงสายทางมาทำการจัดลำดับความสำคัญการซ่อมบำรุงและจัดสรรงบประมาณให้โดยผู้เชี่ยวชาญตามความเหมาะสม ซึ่งทำให้แผนงานที่ได้นั้นอาจไม่เกิดประโยชน์สูงสุดตลอดอายุใช้งานของสายทางในโครงข่ายสายทาง

จากการพิจารณาวิธีการวางแผนงานซ่อมบำรุงด้วย Treatment Matrix และแผนผังการซ่อมบำรุงเหมาะที่จะใช้ในการวางแผนงานแบบปีต่อปีและวางแผนในระดับโครงการเพื่อกำหนดวิธีการซ่อมบำรุง แต่ในกรณีที่มีการจำกัดงบประมาณในการซ่อมบำรุงนั้น การวางแผนงานด้วยวิธีดังกล่าวจะไม่สามารถจัดสรรงบประมาณที่คุ้มค่าที่สุดสำหรับโครงข่ายสายทางได้ ซึ่งแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนในระดับโครงข่ายที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณได้ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวางแผนงานเพื่อให้สภาพผิวทางของโครงข่ายดีที่สุดตลอดอายุใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวางแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี เพื่อพิจารณาแนวทางการวางแผนงานตามข้อจำกัดทางด้านงบประมาณที่หลากหลายได้

4.3 ปัญหาและข้อจำกัดของการวิเคราะห์

เมื่อทำการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำทั้งรูปแบบการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี และแบบต่อเนื่องหลายปี ภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัดและไม่จำกัด สามารถสรุปปัญหาและข้อจำกัดของข้อมูลได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่ได้พัฒนาขึ้นได้อ้างอิงวิธีการและเกณฑ์การซ่อมบำรุงจากหน่วยงานที่รับผิดชอบดูแลสายทาง ซึ่งอาจมีการปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการของผู้นำไปประยุกต์ใช้

2. ในการวิเคราะห์แผนงานกรณีไม่จำกัดงบประมาณนั้นจะได้ผลลัพธ์คือ การเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่ทำให้ค่าดัชนีความขรุขระสากลลดลงมากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวิธีการซ่อมบำรุงที่มีราคาสูงที่สุด จึงควรระวังในการนำไปประยุกต์ใช้ โดยอาจกำหนดค่าดัชนีความขรุขระสากลขั้นต่ำที่จะสามารถซ่อมบำรุงด้วยวิธีนั้นๆ ได้

3. ความซับซ้อนของการคำนวณจะขึ้นกับจำนวนตัวแปรที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์สภาพผิวทาง โดยเมื่อตัวแปรที่เกี่ยวของมีจำนวนมากขึ้น จะทำให้ขนาดของปัญหาใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น

4. เมื่อทำการวิเคราะห์โครงข่ายสายทางที่มีช่วงสายทางอยู่เป็นจำนวนมาก หรือการวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายๆ ปี จะทำให้การวิเคราะห์แผนงานโดยตรงทำได้ยากและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงต้องมีการนำซอฟต์แวร์สำเร็จรูปมาใช้ช่วยในการประมวลผล โดยในงานวิจัยนี้ได้นำซอฟต์แวร์ในรูปแบบของแผ่นคำนวณ (Spread Sheet) มาใช้ช่วยในการประมวลผล โดยในการนำไปใช้ในอนาคตอาจมีการเขียนโปรแกรมช่วยในการแก้ปัญหาการวางแผนงานดังกล่าว ซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่อยู่ในลักษณะของโครงข่ายสายทางที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้

5. แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ พัฒนาขึ้นจากข้อมูลของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทที่ได้ทำการเก็บรวบรวมไว้ในอดีต ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนของความถูกต้องของข้อมูลค่อนข้างมาก แต่ในอนาคตอาจมีการเก็บรวมรวมข้อมูลสภาพผิวทางที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ดังนั้นแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่ใช้ในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางนั้นอาจมีการปรับเปลี่ยนได้ เพื่อให้เกิดความถูกต้องของการวางแผนงานเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

6. เนื่องจากแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนี้ พัฒนาจากข้อมูลสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้กับสายทางที่มีสภาพแตกต่างจากข้อจำกัดดังกล่าว อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง

4.4 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำ ทั้งในรูปแบบการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี และต่อเนื่องหลายปี ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านงบประมาณที่กำหนด และไม่จำกัดงบประมาณ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของการวางแผนงานเพื่อให้โครงข่ายสายทางมีสภาพผิวทางที่ดีที่สุดตลอดอายุใช้งานที่เหลืออยู่ โดยทางเลือกการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการซ่อมบำรุงนั้นอ้างอิงจากวิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้ในปัจจุบันของหน่วยงานที่รับผิดชอบดูแลรักษาสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ได้แก่ กรมทางหลวงชนบท และกรมทางหลวง

นโยบายการซ่อมบำรุงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การซ่อมบำรุงปกติ การฉาบผิวทาง การเสริมผิวทาง และการบูรณะผิวทาง ซึ่งเกณฑ์การกำหนดทางเลือกในการซ่อมบำรุงที่เป็นไปได้ของแต่ละช่วงสายทางมีดังนี้

- กรณีที่สายทางมีค่าดัชนีความขรุขระสากลมากกว่า 6.50 เมตรต่อกิโลเมตร จะกำหนดให้ทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการบูรณะผิวทาง หรือทำการซ่อมบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)
- กรณีที่สายทางมีอายุใช้งานมากกว่า 7 ปี กำหนดให้ทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทาง หรือซ่อมบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

ทั้งนี้การกำหนดวิธีซ่อมบำรุงดังกล่าวจะสามารถใช้ได้กับสายทางที่มีอายุใช้งานตั้งแต่เปิดให้บริการสายทางครั้งแรกไม่เกิน 15 ปี ซึ่งเป็นอายุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางของกรมทางหลวงชนบท

ในส่วนของการวิเคราะห์แผนงานของโครงข่ายสายทางที่มีขนาดใหญ่นั้นจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องคำนวณที่มีประสิทธิภาพช่วยในการประมวลผล เนื่องจากขนาดของปัญหานั้นจะมีขนาดใหญ่ขึ้นในลักษณะของทวีคูณตามจำนวนของช่วงสายทาง วิธีการซ่อมบำรุง และจำนวนปีที่วางแผน โดยความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง จะแสดงในบทถัดไป

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แผนงาน ได้แก่ แผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่ให้สภาพของโครงข่ายสายทางดีที่สุดภายใต้กรอบงบประมาณที่กำหนด งบประมาณที่ต้องการใช้ในการดำเนินงานตามแผน และสภาพผิวทางภายหลังจากซ่อมบำรุงตามแผนงานดังกล่าว ซึ่งจากการวิเคราะห์แผนงานที่ได้พบว่า ผลลัพธ์จากการวางแผนงานแบบปีต่อปีและไม่จำกัดงบประมาณสำหรับการวิเคราะห์แผนงานด้วย Treatment Matrix และแผนผังการซ่อมบำรุงนั้น ไม่มีความ

แตกต่างกับแผนงานที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นภายใต้กรอบงบประมาณที่เท่ากัน เนื่องจากนโยบายการซ่อมบำรุงที่ใช้ในการกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมือนกัน แต่จะมีความแตกต่างกันเมื่อมีการกำหนดกรอบงบประมาณที่หลากหลาย เพราะการจัดสรรงบประมาณภายหลังจากการวิเคราะห์แผนงานเพื่อให้เป็นไปตามงบประมาณที่กำหนดวย Treatment Matrix และแผนผังการซ่อมบำรุงนั้นจะกระทำโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอาจเกิดความโน้มเอียงและไม่เกิดความคุ้มค่าที่สุดแก่โครงข่ายสายทาง

นอกจากนี้แบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนในระดับโครงข่ายที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณได้ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวางแผนงานเพื่อให้สภาพผิวทางของโครงข่ายดีที่สุดตลอดอายุใช้งาน และยังสามารถใช้ในการวางแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปีหรือวางแผนระยะยาว เพื่อพิจารณาแนวทางการวางแผนงานตามข้อจำกัดทางด้านงบประมาณที่หลากหลาย หรือผลจากการจัดสรรงบประมาณให้แก่โครงข่ายสายทางที่ล่าช้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การทดสอบและประยุกต์ใช้แบบจำลอง

ในบทนี้แสดงการทดสอบแบบจำลองการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความถูกต้องของแบบจำลอง (Validity) และความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (Reliability) รวมถึงการใช้ประยุกต์หรือปรับปรุงแบบจำลองเพื่อในการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางต่อไป

5.1 การคัดเลือกข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง

การคัดเลือกข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบแบบจำลองได้พิจารณาจากช่วงสายทางซึ่งทราบสภาพต่างๆ ของผิวทางอย่างละเอียด เช่น ค่าดัชนีความขรุขระสากล ความชันของช่วงสายทาง ปริมาณจราจร และปริมาณรถบรรทุกหนัก เป็นต้น นอกจากนี้ช่วงสายทางที่นำมาทดสอบแบบจำลองต้องเป็นสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ หรือมีปริมาณจราจรไม่เกิน 1,000 คัน โดยช่วงสายทางที่นำมาทดสอบแบบจำลองในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงจากฐานข้อมูลของกรมทางหลวงชนบท ซึ่งได้ทำการคัดเลือกสายทางจังหวัดปทุมธานีและจังหวัดชลบุรีมาใช้ในการทดสอบแบบจำลอง เนื่องจากกลุ่มสายทางดังกล่าวมีข้อมูลสายทางครบถ้วน มีการจัดเก็บเป็นระบบ และมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูง โดยรายละเอียดของโครงข่ายสายทางทั้ง 2 กลุ่ม จะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

5.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Sensitivity Analysis)

ในงานวิจัยนี้ไม่คำนึงถึงอัตราการเติบโตของปริมาณจราจร แต่จะทำการทดสอบผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทน (Discount Rate) ที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทาง และสภาพผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน การที่ไม่คำนึงถึงอัตราการเติบโตของปริมาณจราจรเนื่องจากกลุ่มสายทางที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณการจราจรที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจรที่ไม่มาก โดยโครงข่ายสายทางที่นำมาทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลองนั้นแสดงดังตารางที่ 5.1 และอัตราผลตอบแทนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 7 12 และ 20 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลของช่วงสายทางตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

รหัสสายทาง	จาก กม.	ถึง กม.	PCU	%HV	IRI	อายุการใช้งาน (ปี)
ปท.3007	2	3	665.8	0.5	2.99	2
ปท.3008	11	12	670.5	2.9	2.10	2
ปท.3011	9	10	820.8	3.7	5.04	4
ปท.3019	3	4	599.5	1.2	3.07	2
ปท.3025	5	6	268.0	0.5	4.42	5
ปท.5023	1	2	535.5	0.9	6.84	9
ปท.5026	0	1	776.0	0.8	6.35	9
ปท.4003	0	1	375.3	0.4	2.55	3
ปท.3020	14	15	924.0	5.1	5.94	1
ปท.3022	10	11	325.0	1.1	6.07	8

จากตารางที่ 5.1 จะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทนดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองที่อัตราผลตอบแทนเท่ากับร้อยละ 7 12 และ 20 ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขงบประมาณจำกัด

รหัสสายทาง	อัตราผลตอบแทนร้อยละ 7		อัตราผลตอบแทนร้อยละ 12		อัตราผลตอบแทนร้อยละ 20		งบประมาณ (บาท)
	กิจกรรมซ่อมบำรุง	UIRI (ม./กม.)	กิจกรรมซ่อมบำรุง	UIRI (ม./กม.)	กิจกรรมซ่อมบำรุง	UIRI (ม./กม.)	
ปท.3007	บำรุงปกติ	5.56	บำรุงปกติ	5.59	บำรุงปกติ	5.66	33,000
ปท.3008	บำรุงปกติ	3.90	บำรุงปกติ	3.92	บำรุงปกติ	3.97	33,000
ปท.3011	ฉาบผิวทาง	8.04	ฉาบผิวทาง	8.19	ฉาบผิวทาง	8.44	323,000
ปท.3019	บำรุงปกติ	5.71	บำรุงปกติ	5.74	บำรุงปกติ	5.81	33,000
ปท.3025	บำรุงปกติ	8.05	บำรุงปกติ	8.21	บำรุงปกติ	8.48	33,000
ปท.5023	บูรณะผิวทาง	4.36	บูรณะผิวทาง	4.32	บูรณะผิวทาง	4.28	1,840,000
ปท.5026	เสริมผิวทาง	4.36	เสริมผิวทาง	4.32	เสริมผิวทาง	4.28	1,288,000
ปท.4003	บำรุงปกติ	4.30	บำรุงปกติ	4.35	บำรุงปกติ	4.44	33,000
ปท.3020	ฉาบผิวทาง	10.45	ฉาบผิวทาง	10.46	ฉาบผิวทาง	10.52	323,000
ปท.3022	บำรุงปกติ	11.90	บำรุงปกติ	11.88	บำรุงปกติ	11.91	33,000
รวม		66.63		66.98		67.78	*3,972,000*

จากตารางที่ 5.2 พบว่าเมื่อทำการปรับอัตราผลตอบแทนไม่ทำให้แผนงานซ่อมบำรุงทางเปลี่ยนแปลง แต่จะทำให้ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามอัตราผลตอบแทน เนื่องจากมีตัวแปรเดียวที่เกี่ยวข้องกับอัตราผลตอบแทน คือ ค่าดัชนีความ

ขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี ดังนั้นการปรับตัวขึ้นลงของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีนั้นจึงสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอัตราผลตอบแทน

5.3 **การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง** (Validity Test)

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การขอความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับแผนงานที่วิเคราะห์ได้ และการเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงทาง โดยใช้โครงข่ายสายทางที่นำมาทดสอบดังตารางที่ 5.1

การขอความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับแผนงานซ่อมบำรุงทางที่วิเคราะห์ได้ มีขั้นตอนโดยให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้บริหารของสำนักงานส่วนกลาง ซึ่งเป็นผู้วางแผนจัดสรรงบประมาณและมีความรู้เกี่ยวกับการบริหารงานบำรุงทาง เป็นผู้เสนอความคิดเห็นเกี่ยวกับแผนงานบำรุงทางของแต่ละช่วงสายทางของตัวอย่างโครงข่ายสายทาง และการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจะแบ่งออก 2 ส่วน ได้แก่ การวางแผนงานแบบปีต่อปี และการวางแผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี ทั้งในรูปแบบจำกัดงบประมาณ และงบประมาณไม่จำกัด โดยผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์แผนงานด้วยแบบจำลองกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญแสดงดังตารางที่ 5.3 ถึง 5.6 โดยที่วิธีการซ่อมบำรุง 1 คือ กิจกรรมซ่อมบำรุงปกติ 2 คือ กิจกรรมการฉาบผิวทาง 3 คือ กิจกรรมการเสริมผิวทาง และ 4 คือ กิจกรรมการบูรณะผิวทาง

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท ด้วยแบบจำลองและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รูปแบบการวิเคราะห์	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
แบบจำลอง	1	1	2	1	1	4	3	1	2	1	66.98	3,972,000
ผู้เชี่ยวชาญ 1	1	1	1	1	1	4	3	2	1	1	67.32	3,972,000
ผู้เชี่ยวชาญ 2	1	1	3	2	2	1	1	2	2	3	70.91	4,000,000

หมายเหตุ: 1 คือ กิจกรรมซ่อมบำรุงปกติ 2 คือ กิจกรรมการฉาบผิวทาง
3 คือ กิจกรรมการเสริมผิวทาง 4 คือ กิจกรรมการบูรณะผิวทาง

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบปีต่อปีเมื่อไม่จำกัดงบประมาณด้วยแบบจำลองและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รูปแบบการวิเคราะห์	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
แบบจำลอง	1	2	3	3	3	4	3	2	3	3	40.67	11,502,000
ผู้เชี่ยวชาญ 1	2	1	3	2	3	4	3	2	3	3	42.60	9,282,000
ผู้เชี่ยวชาญ 2	1	1	2	1	2	4	3	1	3	3	52.60	6,482,000

หมายเหตุ: 1 คือ กิจกรรมซ่อมบำรุงปกติ 2 คือ กิจกรรมการฉาบผิวทาง
3 คือ กิจกรรมการเสริมผิวทาง 4 คือ กิจกรรมการบูรณะผิวทาง

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบต่อเนื่องหลายปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท ด้วยแบบจำลองและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รูปแบบการวิเคราะห์	รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุงที่ปีต่างๆ			UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
		ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3		
แบบจำลอง	ปท.3007	2	2	1	11.92	3,967,000
	ปท.3019	1	3	2		
	ปท.5026	3	1	2		
ผู้เชี่ยวชาญ 1	ปท.3007	1	2	1	13.77	3,939,000
	ปท.3019	2	1	3		
	ปท.5026	1	4	1		
ผู้เชี่ยวชาญ 2	ปท.3007	1	1	2	13.85	3,844,000
	ปท.3019	2	1	2		
	ปท.5026	2	4	2		

หมายเหตุ: 1 คือ กิจกรรมซ่อมบำรุงปกติ 2 คือ กิจกรรมการฉาบผิวทาง
3 คือ กิจกรรมการเสริมผิวทาง 4 คือ กิจกรรมการบูรณะผิวทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางแบบต่อเนื่องหลายปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณเมื่อไม่จำกัดงบประมาณ ด้วยแบบจำลองและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รูปแบบการวิเคราะห์	รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุงที่ปีต่างๆ			UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
		ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3		
แบบจำลอง	ปท.3007	3	2	2	10.67	7,732,000
	ปท.3019	3	2	2		
	ปท.5026	3	3	3		
ผู้เชี่ยวชาญ 1	ปท.3007	1	3	2	11.96	5,774,000
	ปท.3019	2	2	3		
	ปท.5026	3	2	2		
ผู้เชี่ยวชาญ 2	ปท.3007	1	2	3	11.47	5,512,000
	ปท.3019	2	2	3		
	ปท.5026	3	2	2		

หมายเหตุ: 1 คือ กิจกรรมซ่อมบำรุงปกติ 2 คือ กิจกรรมการฉาบผิวทาง
3 คือ กิจกรรมการเสริมผิวทาง 4 คือ กิจกรรมการบูรณะผิวทาง

การทดสอบแบบจำลองนี้จะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ ผลรวมดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี ซึ่งแผนงานที่ให้ค่าดังกล่าวน้อยกว่า แสดงว่าสภาพผิวทางตลอดอายุใช้งานโดยเฉลี่ยนั้นจะดีกว่า

จากผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญพบว่า แผนงานบำรุงรักษาทางที่วิเคราะห์จากแบบจำลองจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแผนงานบำรุงรักษาทางที่วิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญ กล่าวคือ มีความคุ้มค่าของการใช้งบประมาณในการบำรุงรักษาผิวทางมากที่สุดเมื่อพิจารณาจากปัจจัยทางด้านวิศวกรรมคือ สภาพผิวทางตลอดอายุใช้งานของช่วงสายทาง

5.4 **การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง** (Reliability Test)

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองเป็นการทดสอบความมีเสถียรภาพของแบบจำลองในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองนี้ได้ทำการใช้ข้อมูลของกลุ่มช่วงสายทางที่มีสภาพต่างๆ ของผิวทางซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองที่ใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางดังกล่าวเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

ตารางที่ 5.7 เป็นข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำที่มีสภาพผิวทางและข้อมูลแวดล้อมอื่นๆ คล้ายคลึงกับตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานดังที่กล่าวในบทที่ 4 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์นี้จะใช้เพื่อเปรียบเทียบกับแผนงานดังกล่าว เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยผลการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลของช่วงสายทางตัวอย่างที่นำมาใช้ในทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

รหัสสายทาง	จาก กม.	ถึง กม.	PCU	%HV	IRI	อายุการใช้งาน (ปี)
ชบ.3007	2	3	778.0	2.6	3.00	1
ชบ.3026	0	1	927.5	1.5	2.32	2
ชบ.1015	7	8	408.5	1.5	4.58	2
ชบ.3018	2	3	857.0	1.9	3.01	1
ชบ.5010	1	2	954.0	0.5	4.22	5
ชบ.4006	15	16	927.5	1.9	6.59	8
ชบ.4020	13	14	345.5	0.8	6.49	8
ชบ.5031	3	4	552.0	2.1	2.71	1
ชบ.3016	1	2	777.5	3.2	4.22	2
ชบ.5030	0	1	468.0	5.1	5.64	7

ข้อมูล ณ วันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2549

ที่มา: สำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบแบบจำลองแผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท

กลุ่มโครงข่ายสายทางที่ 1				กลุ่มโครงข่ายสายทางที่ 2			
รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุง	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)	รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุง	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
ปท.3007	ซ่อมบำรุงปกติ	5.50	33,000	ชบ.3007	ซ่อมบำรุงปกติ	5.61	33,000
ปท.3008	ซ่อมบำรุงปกติ	3.92	33,000	ชบ.3026	ซ่อมบำรุงปกติ	4.34	33,000
ปท.3011	ฉาบผิวทาง	8.19	323,000	ชบ.1015	ฉาบผิวทาง	7.43	323,000
ปท.3019	ซ่อมบำรุงปกติ	5.74	33,000	ชบ.3018	ซ่อมบำรุงปกติ	5.63	33,000
ปท.3025	ซ่อมบำรุงปกติ	8.21	33,000	ชบ.5010	ซ่อมบำรุงปกติ	7.84	33,000
ปท.5023	บูรณะผิวทาง	4.32	1,840,000	ชบ.4006	บูรณะผิวทาง	4.32	1,840,000
ปท.5026	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000	ชบ.4020	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.4003	ซ่อมบำรุงปกติ	4.35	33,000	ชบ.5031	ซ่อมบำรุงปกติ	4.89	33,000
ปท.3020	ฉาบผิวทาง	10.46	323,000	ชบ.3016	ฉาบผิวทาง	7.40	323,000
ปท.3022	ซ่อมบำรุงปกติ	11.88	33,000	ชบ.5030	ซ่อมบำรุงปกติ	11.04	33,000
รวม		*66.98*	*3,972,000*	*รวม*		*62.81*	*3,972,000*

จากผลการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในตารางที่ 5.10 พบว่าแผนงานที่ได้จากการวิเคราะห์โครงข่ายสายทางทั้ง 2 กลุ่ม มีวิธีการซ่อมบำรุงและงบประมาณที่ต้องการใช้คล้ายคลึงกัน โดยที่มีผลรวมค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (UIRI) ไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำในการนำไปประยุกต์ใช้ กล่าวคือ สามารถให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์แผนงานของกลุ่มโครงข่ายสายทางที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้ใกล้เคียงกัน

5.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

แบบจำลองการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้การระบบบริหารงานซ่อมบำรุงทางสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ เช่น สายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท และสายทางบางสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง เป็นต้น โดยผลลัพธ์จากแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจของผู้ปฏิบัติงานหรือผู้บริหารหน่วยงาน เพื่อการจัดสรรงบประมาณที่ได้รับหรือตั้งงบประมาณที่ต้องการใช้ทั้งในลักษณะการวางแผนแบบปีต่อปี หรือการวางแผนกลยุทธ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ได้แก่ แผนงานซ่อมบำรุง งบประมาณที่ต้องการใช้ และสภาพผิวทางภายหลังช่วงสายทางได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงานตลอดอายุใช้งานของผิวทาง

5.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการทดสอบความอ่อนไหวของอัตราผลตอบแทนที่มีต่อการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำ การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและวิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองซึ่งจะเป็นการตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์ผลของแบบจำลอง

การทดสอบความอ่อนไหวของอัตราผลตอบแทนที่มีต่อการวิเคราะห์แผนงานพบว่า เมื่อทำการปรับอัตราผลตอบแทนไม่ทำให้แผนงานซ่อมบำรุงทางเปลี่ยนแปลง แต่จะทำให้ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามอัตราผลตอบแทน

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนั้นได้ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างโครงข่ายสายทางในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีจำนวน 10 ช่วงสายทาง เพื่อใช้ในการทดสอบแบบจำลองดังกล่าว โดยวิธีการในการ

ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองใช้การขอความคิดเห็นทางปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งมีหน้าที่ในการจัดสรรงบประมาณบำรุงรักษาผิวทางของสำนักงานส่วนกลาง

จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญสรุปได้ว่า แผนงานที่วิเคราะห์จากแบบจำลองนั้นมีความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานได้ โดยอาจพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางด้านอื่นๆ นอกเหนือจากปัจจัยทางด้านวิศวกรรม เพื่อใช้ในการตัดสินใจจัดสรรงบประมาณของหน่วยงาน

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองนั้นได้ทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แผนงานของโครงข่ายสายทาง 2 กลุ่ม ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแผนงานดังกล่าวในรูปแบบการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี โดยโครงข่ายสายทางที่นำมาใช้การทดสอบนี้เป็นสายทางของจังหวัดปทุมธานีจำนวน 10 ช่วงสายทาง และจังหวัดชลบุรีจำนวน 10 ช่วงสายทาง ที่มีลักษณะและพฤติกรรมของสายทางคล้ายคลึงกัน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์แผนงานที่ได้พบว่า แผนงานที่ได้จากการวิเคราะห์ของโครงข่ายสายทางทั้ง 2 กลุ่ม มีลักษณะที่เหมือนกัน เพราะฉะนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนี้มีความน่าเชื่อถือ

การใช้แบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบบริหารงานบำรุงทาง หรือระบบบริหารโครงข่ายสายทางของหน่วยงานภายในประเทศไทยที่มีสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำ เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กรมทางหลวงชนบท และกรมทางหลวง เป็นต้น โดยอาจพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะขึ้นกับนโยบายของหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงข่ายสายทางนั้น นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางซึ่งอาจแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ สภาพแวดล้อม หรือหน่วยงานที่รับผิดชอบอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันปริมาณของสายทางได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา ทำให้ประเทศไทยประสบปัญหาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อมบำรุงถนนที่ได้ก่อสร้างเอาไว้ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงถนนเหล่านี้ยังมีแนวโน้มที่มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับงบประมาณที่ได้รับ ดังนั้นปัญหาในด้านการบริหารจัดการเกี่ยวกับงบประมาณการบำรุงรักษาทางจึงเป็นส่วนสำคัญที่ควรมีการพิจารณาถึง

ลักษณะของปัญหาในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางจะมีความซับซ้อนและมีข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นวิธีการในการพัฒนาแบบจำลองจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาในการวางแผนงานดังกล่าว

สำหรับวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทาง ได้แก่ วิธีการ Optimization ซึ่งจะให้คำตอบของปัญหาที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ เช่น สภาพผิวทางของโครงข่ายสายทางที่ดีที่สุดตลอดอายุใช้งาน เป็นต้น โดยพิจารณาร่วมกับข้อจำกัดของปัญหาที่กำหนด เช่น นโยบายการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทาง เป็นต้น

ขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลองนั้นเริ่มจากการกำหนดลักษณะของปัญหา แบบจำลองอื่นๆ ที่ใช้ร่วมในการแก้ปัญหา ความต้องการในงานซ่อมบำรุงทาง และค่าที่ใช้ในการวัดผล เพื่อนำมาสร้างสมการวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดต่างๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหา เมื่อได้รูปแบบของสมการต่างๆ แล้ว จึงทำการปรับแบบจำลองให้สอดคล้องกับการนำไปใช้จริง ซึ่งในการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำนี้ได้อ้างอิงข้อมูลจากสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบทเป็นหลัก

สำหรับข้อดีของการวางแผนงานในรูปแบบนี้เมื่อเทียบกับรูปแบบการพิจารณาแผนงานบำรุงทางในปัจจุบัน คือ

- เป็นการพิจารณาแผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณต่ำซึ่งผลกระทบจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางมีไม่สูงนัก ซึ่งทำให้วัตถุประสงค์ของการวางแผนงานบำรุงรักษาเป็นในลักษณะของการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงที่ทำให้สายทางมีสภาพดีที่สุด และใช้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่า

- ใช้วิธีการมูลค่าเทียบเท่ารายปีเพื่อลดความแตกต่างทางด้านอายุคงเหลือของสายทางในการพิจารณาโครงการซ่อมบำรุง

- สามารถพิจารณาโครงการทั้งในกรณีที่จำกัดงบประมาณ และไม่จำกัดงบประมาณได้ โดยการวิเคราะห์ในกรณีที่ไม่จำกัดงบประมาณสามารถใช้วิธีการให้งบประมาณที่จำกัดมีค่ามากๆ เสมือนงบประมาณมีไม่จำกัดได้

- สามารถวางแผนงานบำรุงรักษาทางปีเดียว หรือต่อเนื่องหลายปีได้

- สามารถนำหลักการพิจารณาตลอดอายุใช้งานไปประยุกต์ใช้กับสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูง โดยอาจพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางได้

ในส่วนของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่นำมาใช้เพื่อทำนายสภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการต่างๆ ของงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้จากงานวิจัยในอดีต โดยแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงปกติพัฒนาขึ้นด้วยวิธีการลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chains) แบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางภายหลังได้รับการฉาบผิวทางได้ประยุกต์ใช้จากงานวิจัยผลกระทบต่อการทำฉาบผิวทางของวิศณุและคณะ (2545) ซึ่งเป็นการทำนายการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีความขรุขระสากลของปีถัดไปภายหลังได้รับการฉาบผิวทาง ส่วนแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางเมื่อได้รับการเสริมผิวทางและบูรณะผิวทางนั้นมีสมมติฐานให้สภาพผิวทางมีพฤติกรรมเสมือนถนนที่สร้างใหม่หรือเพิ่งเริ่มต้นใช้งาน หลังจากนั้นจะมีพฤติกรรมการเสื่อมสภาพเสมือนถนนที่ได้รับการซ่อมบำรุงปกติ

นโยบายซ่อมบำรุงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากวิธีการซ่อมบำรุงผิวทางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท โดยสามารถกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงได้เป็น 4 วิธี ได้แก่ การซ่อมบำรุงปกติ การฉาบผิวทาง การเสริมผิวทาง และการบูรณะผิวทาง ซึ่งการซ่อมบำรุงด้วยการบูรณะผิวทางจะกระทำก็ต่อเมื่อค่าดัชนีความขรุขระสากลของช่วงสายทางนั้นมีค่ามากกว่า 6.5 เมตรต่อกิโลเมตร หรือสายทางมีอายุมากกว่าอายุออกแบบของชั้นโครงสร้างถนน คือ 14 ปี นอกจากนี้เมื่อสายทางมีอายุใช้งานมากกว่า 7 ปี หรือครบอายุใช้งานของผิวทาง จึงจำเป็นต้องได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทาง

ในส่วนของแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนั้น มีวัตถุประสงค์ในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในระดับโครงข่าย (Network Level) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เพื่อให้สภาพผิวทางของโครงข่ายดีที่สุดตลอด 1 รอบอายุใช้งาน (Life Cycle) ของผิวทาง ภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณ และนโยบายการบำรุงรักษาทาง โดยการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงนั้นจะสามารถเลือกวิธีการซ่อมได้เพียงวิธีเดียวจากวิธีการซ่อมบำรุงที่มี

อยู่ เนื่องจากการพิจารณาค่าสภาพผิวทางของแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงตามแผนงานนั้นจะส่งผลต่ออายุใช้งานที่เหลือของสายทางทำให้อายุคงเหลือของสายทางซึ่งนำมาเปรียบเทียบกันนั้นมีระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบค่าสภาพผิวทางตลอดอายุใช้งานของแต่ละทางเลือก ดังนั้นจึงนำวิธีการมูลค่าเทียบเท่ารายปี (Equivalent Uniform Annual Cost, EUAC) มาใช้ในการวิเคราะห์ เรียกว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (Equivalent Uniform Annual International Roughness Index, UIRI) ซึ่งเป็นการกระจายค่าสภาพผิวทางอย่างสม่ำเสมอตลอดอายุใช้งานของสายทางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าสภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแต่ละทางเลือก

แผนงานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองประกอบด้วยแผนงานซ่อมบำรุงของโครงข่ายสายทาง งบประมาณที่ต้องการใช้ในการซ่อมบำรุง และสภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงตามแผนงานตลอดอายุใช้งานที่เหลือ ซึ่งรูปแบบการวิเคราะห์แผนงานนั้นสามารถทำได้ในลักษณะปีต่อปี ต่อเนื่องหลายปี ภายใต้กรอบงบประมาณที่กำหนดและไม่จำกัดงบประมาณ

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น กับวิธีการวางแผนงานที่มีอยู่ในปัจจุบันทั้ง Treatment Matrix ของกรมทางหลวง และแผนผังการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงชนบทพบว่า แผนงานที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองภายใต้กรอบงบประมาณที่กำหนดโดยวิธีการวางแผนงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นไม่มีความแตกต่างกันมาก แต่วิธีการวางแผนงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นไม่สามารถกำหนดงบประมาณที่หลากหลายในการวิเคราะห์ และไม่สามารถวางแผนงานต่อเนื่องหลายปีได้

การทดสอบความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของอัตราผลตอบแทนที่มีต่อการวิเคราะห์แผนงานพบว่า เมื่อทำการปรับอัตราผลตอบแทนไม่ทำให้แผนงานซ่อมบำรุงทางเปลี่ยนแปลง แต่จะทำให้ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามอัตราผลตอบแทน เนื่องจากมีเพียงตัวแปรเดียวที่เกี่ยวข้องกับอัตราผลตอบแทน คือ ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี ดังนั้นการปรับตัวขึ้นลงของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีนั้นจึงสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอัตราผลตอบแทน

การทดสอบความถูกต้อง (Validity Test) ของแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนั้นได้ใช้ตัวอย่างโครงข่ายสายทางในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีจำนวน 10 ช่วงสายทาง เพื่อใช้ในการทดสอบแบบจำลองดังกล่าว โดยการขอความคิดเห็นทางปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งมีหน้าที่ในการจัดสรรงบประมาณบำรุงรักษาผิวทางของสำนักงานส่วนกลาง

จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญสรุปได้ว่า แผนงานที่วิเคราะห์จากแบบจำลองนั้นมีความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานได้ โดยการกำหนดแผนงานนั้นอาจพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางด้านอื่นๆ นอกเหนือจากปัจจัยทางด้านวิศวกรรม

การทดสอบความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแบบจำลองนั้นได้ทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แผนงานของโครงข่ายสายทาง 2 กลุ่ม ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแผนงานดังกล่าวในรูปแบบการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี โดยโครงข่ายสายทางที่นำมาใช้การทดสอบนี้เป็นสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบทจังหวัดปทุมธานีจำนวน 10 ช่วงสายทาง และจังหวัดชลบุรีจำนวน 10 ช่วงสายทาง ที่มีลักษณะพฤติกรรม และข้อมูลประวัติของสายทางคล้ายคลึงกัน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์แผนงานที่ได้พบว่า แผนงานที่ได้จากการวิเคราะห์ของโครงข่ายสายทางทั้ง 2 กลุ่ม มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันซึ่งแสดงว่า แบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนี้มีความน่าเชื่อถือในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

วิธีการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำนี้ ได้อาศัยค่าของตัวแปรต่างๆ ที่วิเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากฐานของข้อมูลของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาแผนงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข่ายสายทางที่พิจารณา โดยคำนึงถึงสภาพผิวทางตลอดอายุใช้งานของแต่ละช่วงสายทางและข้อจำกัดทางด้านงบประมาณที่ได้รับหรือคาดว่าจะได้รับ ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์แผนงานหรือหลักการในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ หรือปรับปรุงเพื่อใช้งานกับหน่วยงานที่รับผิดชอบงานบำรุงรักษาโครงข่ายสายทางทางที่มีผิวทางลาดยางและมีปริมาณการจราจรต่ำของประเทศไทยต่อไปได้

6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดเนื่องมาจากสมมติฐานในการสร้างแบบจำลองหลายด้าน ดังนี้

ประการแรก คือ แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง กล่าวคือ แบบจำลองการเสื่อมสภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นจากกลุ่มตัวอย่างของสายทางจำนวนหนึ่ง และใช้เป็นตัวแทนของสายทางทั่วประเทศทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง ซึ่งถ้าในอนาคตมีข้อมูลของแต่ละสายทางทางที่ชัดเจนและมากพอ จะทำให้สามารถสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางแต่ละเส้นได้และทำให้การทำนายสภาพผิวทางในแต่ละสายทางแม่นยำขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางดังกล่าวมีลักษณะเป็นข้อมูลรวม

(Aggregation) ซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าสภาพผิวทางในแต่ละช่วงสายทางที่นำมาพัฒนาแบบจำลองเป็นสภาพผิวทางที่เกิดจากการเสื่อมสภาพภายหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีใด ซึ่งทำให้การใช้แบบจำลองทำนายสภาพผิวทางที่นำมาใช้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

ประการที่สอง คือ การวางแผนการซ่อมบำรุงผิวทางในงานวิจัยนี้เป็นการวางแผนในลักษณะของโครงข่ายสายทาง โดยเป็นมุมมองของภาพรวมของสายทางทั้งหมด ซึ่งเหมาะที่จะใช้ในการจัดสรรงบประมาณซ่อมบำรุงทางระดับโครงข่าย แต่ในการนำไปใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุงทางในระดับโครงการนั้นจะต้องทำการวางแผนอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง

ประการที่สาม คือ วิธีการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุงที่นำมาใช้เป็นข้อกำหนดในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากวิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้ในการจัดสรรงบประมาณของกรมทางหลวงชนบทในปัจจุบัน ซึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้แบบจำลองการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำนี้ อาจมีการพิจารณานโยบายการซ่อมบำรุงที่หลากหลายหรือเหมาะสมกับสภาพในอนาคตได้มากกว่านี้

ประการที่สี่ ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำนี้จำเป็นต้องมีระบบฐานข้อมูลที่ดี มีการเก็บสำรวจข้อมูลสภาพผิวทางอย่างต่อเนื่อง และต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการประมวลผล นอกจากนี้ต้องใช้โปรแกรมในการแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่มีตัวแปรเป็นจำนวนมากเข้ามาช่วยในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้การวางแผนงานซ่อมบำรุงผิวทางดังกล่าวมีความสะดวกและรวดเร็ว แต่ทั้งนี้ในการโปรแกรมช่วยในการประมวลผลต้องคำนึงถึงการยอมรับได้ของความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้ เนื่องจากรูปแบบการประมวลผลของโปรแกรมทั่วไปจะเป็นลักษณะของการวนซ้ำ ซึ่งต้องกำหนดช่องว่างสำหรับความคลาดเคลื่อนในการประมวลผล

สำหรับข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

ในการวางแผนงานซ่อมบำรุงผิวทางนี้ สามารถนำหลักการและวิธีการวิเคราะห์แผนงานดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับระบบการบริหารงานซ่อมบำรุงกับโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ เช่น ระบบบริหารงานความปลอดภัยทางถนน ระบบบริหารงานบำรุงสะพาน ระบบบริหารงานบำรุงโครงสร้างระบายน้ำ และระบบบริหารงานบำรุงทางรถไฟ เป็นต้น

นอกจากนี้ สามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวเพื่อช่วยในการจัดสรรงบประมาณและวิเคราะห์วางแผนงานโครงข่ายสายทาง ซึ่งประกอบด้วยถนน ความปลอดภัย สะพาน และโครงสร้างระบายน้ำ เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายหรือยุทธศาสตร์สายทางของหน่วยงานที่

รับผิดชอบโครงสร้างพื้นดังกล่าว เช่น กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์ในการวางแผนงานบำรุงทางลักษณะอื่นซึ่งอาจสะท้อนค่าที่เป็นปัจจัยในการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางได้ดีขึ้น

ในส่วนของการประยุกต์ใช้งานกับการบริหารโครงข่ายสายทางของหน่วยงานภายในประเทศไทยที่มีสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำ เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กรมทางหลวงชนบท และกรมทางหลวง เป็นต้น อาจทำได้โดยการพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ขึ้นกับนโยบายของหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงข่ายสายทางนั้น นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางซึ่งอาจแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ สภาพแวดล้อม หรือหน่วยงานที่รับผิดชอบอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมทางหลวง. 2538, ระบบการบริหารจัดการงานบำรุงทางและคู่มือระบบBSM. กรุงเทพมหานคร : กองบำรุง.

กรมทางหลวงชนบท. 2546, คู่มือบำรุงรักษาทาง. กรุงเทพมหานคร : กรมทางหลวงชนบท.

กรมทางหลวงชนบท. 2549, รายงานสำหรับผู้บริหาร โครงการพัฒนาระบบบริหารงานบำรุงรักษา ระยะที่ 2. กรุงเทพมหานคร : กรมทางหลวงชนบท.

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล. 2546. คัมภีร์การวิเคราะห์และตัดสินใจปัญหาเชิงธุรกิจโดยใช้ Excel. กรุงเทพมหานคร : เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

ณัฐพล ทองกู้เกียรติกูล. 2545. การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางโดยใช้แบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศณุ ทรัพย์สมพล, ประพนธ์ ชินอุดมทรัพย์, จุมพล ผลประเสริฐ, และภูศักร์ ศิริอัครกรกุล. 2543. การพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยางโดยวิธีใช้ค่า IRI ในประเทศไทย. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 11, 4 : 29-35.

วิศณุ ทรัพย์สมพล, และกชกร โง้วศิริ. 2544. การพัฒนาดัชนีค่าใช้จ่ายในการใช้รถและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7.

วิศณุ ทรัพย์สมพล, กัญจน์ อุดมเกียรติกูล, วิจักขณ์ พานิช, และอนุสรณ์ ศิริกิจพาณิชย์กูล. 2545. ผลของการทำฉาบผิวต่อสภาพของผิวทาง. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 13, 2.

วิศณุ ทรัพย์สมพล, และวีระชัย วงษ์วีระนิมิตร. 2548. การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10.

วิศว์ รัตนโชติ, และวิศณุ ทรัพย์สมพล. 2544. การพัฒนาดัชนีสภาพทางเพื่อใช้ในการบำรุงทางหลวงชนบท. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7.

ภาษาอังกฤษ

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

Chou, Y. J., Tack, and Joseph N. 2001. Pavement Performance Analysis Applying Probabilistic Deterioration Methods. Transportation Research Record 1769:15-21.

George, K.P., Rajagopal, A.S., and Lim, L.K. 1989. Models for Predicting Pavement Deterioration. Transportation Research Record No.1215 : 1-7.

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

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

Fwa, T.F., Chan, W.T., and Hoque, K.Z. 1994. Multiobjective Optimization for Pavement Maintenance Programming. Journal of Transportation Engineering / September/October 2000: 367-374.

Grivas, D. A., Ravirala, V., and Schultz, B. C. 1993. State Increment Optimization Methodology for Network-Level Pavement Management. Transportation Research Record, 1397, 25-33.

Haas, R. 1978. Pavement Management System. : McGraw-Hill.

Hendrickson, C. 2000. Project Management for Construction Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders. Second Edition : Prentice Hall.

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

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

Mijuskovic, V., et al. 1994. Impact of Different Economic Criteria on Priority in Pavement Management System,. Transportation Research Record 1455: 178-187.

Nash, S.G. and Sofer, A. 1996. Linear and Nonlinear Programming. International Edition, : McGraw-Hill.

N.D. Lea International Ltd. 1992a. Road Maintenance Project. Draft Final Report Volume II. Main Report. Asian Development Bank, Thailand.

Paterson, William D.O. 1987. Road Deterioration and Maintenance Effects Models for Planning and Management. First printing. The Johns Hopkins University Press Baltimore and London.

Rodrigo, S. 1999. Roads Economic Decision Model (RED) for Economic Evaluation of Low Volume Roads. Africa Transport Technical Note No.18 April.

Rodrigo, S. 1999. Paving of Unpaved Roads Economically-Jusified Paving Costs. Infrastructure Note No.RT-3 October.

Shahin, M.Y., Kohn, S.D., and O'Brien III, D.E. 1983. Prediction of Pavement Performance by Using Nondestructive Test Results. Transportation Research Record No.943 : 13-17.

Wang, C.P., Zanieski, J., et al. 1994. Analysis of Arizona Department of Transportation's New Pavement Network Optimization System. Transportation Research Record 1455: 91-100.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

แบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้สามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำซึ่งพัฒนาโดยวิธีการลูกโซ่มาร์คอฟ และแบบจำลองผลจากการทำฉาบผิวทาง

1. แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

ในงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรที่สนใจในปัจจุบัน เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมของตัวแปรนั้นในอนาคตมาประยุกต์ใช้ โดยอาศัยข้อมูลในปัจจุบันเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นและมีความต่อเนื่องกัน (วีระชัย, 2547) ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมของทางต่างๆ โดยแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟมีสมมุติฐานที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสถานะ จากสถานะหนึ่งเป็นสถานะอื่นๆ ในช่วงเวลาหนึ่งและในระยะยาว

2. แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ สามารถแจกแจงสถานะ (State) ที่กำลังศึกษาได้

3. ความน่าจะเป็นของสถานะ (State Probability) อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงเวลา ตั้งแต่ 1, 2,….,n

4. ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ จะมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลา ยกเว้นจะมีปัจจัยอื่นมากระทบทำให้ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะเปลี่ยนแปลง

ให้ X_n เป็นกระบวนการสุ่ม จะกล่าวว่า X_n มีคุณสมบัติของมาร์คอฟ ตามสมการที่ ก-1

$$P(X_{n+1}= i_{n+1} | X_1= i_1, X_2 = i_2,...X_n = i_n) = P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n) \quad (ก\text{-}1)$$

โดยถ้า X_n เป็นลูกโซ่มาร์คอฟแล้วผลการทดสอบที่จะเกิดขึ้น X_{n+1} จะไม่ขึ้นอยู่กับผลการทดสอบอดีตที่ผ่านมา ($X_1, X_2, \ldots, X_{n-1}$) แต่จะขึ้นอยู่กับผลการทดสอบปัจจุบัน (X_n) เท่านั้น

เนื่องจากข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมมีไม่ต่อเนื่องกันทุกปี จึงเป็นข้อดีของแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่ใช้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลปัจจุบันเท่านั้นในการพิจารณาซึ่งทำให้ง่ายต่อการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟจะใช้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลในช่วงระยะเวลาต่อเนื่องกันทุก 1 ปี เพื่อทำการหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของแบบจำลอง โดยมีสมมติฐานว่า

เป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Markov Chain) คือเป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่มีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟให้ความสนใจกับโอกาสในการเปลี่ยนสถานะของระบบที่กำลังศึกษาว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรในแต่ละช่วงเวลา โดยสามารถที่จะแจกแจงสถานะของระบบที่ทำการศึกษาจากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันและอาศัยหลักสถิติและความน่าจะเป็นมาประยุกต์ ในการบ่งบอกถึงสถานภาพว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใด เพื่อทำการพยากรณ์ถึงอนาคตที่จะเกิดให้มีความน่าเชื่อถึงมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผู้พยากรณ์สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟจะมิใช่แบบจำลองสำหรับการตัดสินใจโดยตรงแต่เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อประกอบการวางแผนรองรับต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

1.1 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟนั้นมีดังต่อไปนี้

- เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ (Transition Matrix) เป็นจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจากสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่งในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างโดยเมตริกซ์ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & . & n_{1j} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & . & n_{2j} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ n_{i1} & n_{i2} & n_{i3} & . & n_{ij} \end{bmatrix}$$

โดยที่ n_{ij} เป็นจำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจาก i ไป j ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด

- ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability) เป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่งในระยะเวลาที่กำหนด โดย วิธีคำนวณความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะสภาพ ใช้สมการของ Maximum Likelihood Estimator แสดงตามสมการที่ ก-2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j}^{n}\sum_{i}^{i} n_{ij}} \qquad \text{(ก-2)}$$

โดยที่ P_{ij} = ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจาก i ไป j

n_{ij} = จำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะจาก i ไป j

$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} n_{ij}$ = ผลรวมข้อมูลทั้งหมดที่เปลี่ยนจากสถานะ i ไป j

- เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability Matrix) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะสภาพ ของตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ ตัวอย่างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะมีดังนี้

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & . & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & . & P_{2j} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ P_{i1} & P_{i2} & P_{i3} & . & P_{ij} \end{bmatrix}$$

โดยที่ P_{ij} เป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจาก i ไป j ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

- เวคเตอร์สถานะสภาพ (Condition State Vector, CSV) เป็นเวคเตอร์ที่แสดงสถานะสภาพของผิวทางต่างๆ มีขนาดเท่ากับ 1 x n เมทริกซ์ โดยที่ n คือ จำนวนสถานะสภาพของผิวทาง เช่น [1 2 3 4 5 ... 11] เมื่อ n เท่ากับ 11 เป็นต้น ซึ่งสถานะภาพของผิวทางดังกล่าวใช้แทนช่วงของค่าดัชนีความขรุขระสากลที่กำหนด เช่น สถานะภาพเท่ากับ 3 แสดงว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากลมีค่าอยู่ระหว่างตั้งแต่ 2.51 ถึง 3.00 เมตรต่อกิโลเมตร เป็นต้น โดยการกำหนดค่าสถานะของผิวทางจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

- เวคเตอร์สถานะเริ่มต้น (Initial State Vector, ISV) เป็นเวคเตอร์ที่แสดงสถานะสภาพของผิวทางที่ระยะเวลาเริ่มต้น มีขนาดเท่ากับ 1 x n เมทริกซ์ โดยที่ n คือ จำนวนสถานะสภาพของผิวทาง เช่น [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0] เมื่อ n เท่ากับ 11 แสดงว่าเมื่อ

ก่อสร้างผิวทางเสร็จสภาพผิวทางอยู่ในสถานะภาพที่ 1 ซึ่งมีค่าดัชนีความขรุขระสากลน้อยกว่า 2.00 เมตรต่อกิโลเมตร เป็นต้น

- เวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State Vector at Time t, PCSV) เป็นเวคเตอร์ที่แสดงความน่าจะเป็นของสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ โดยผลรวมของแถวในเวคเตอร์จะเท่ากับ 1 เสมอ การคำนวณเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทางใช้สมการของ Chapman – Kolmogorov Equation ตามสมการที่ ก-3

$$PCSV(t) = ISV(0) \times P^{t} \quad (ก\text{-}3)$$

โดยที่ $PCSV(t)$ = เวคเตอร์ความน่าจะเป็นแสดงสถานะสภาพของผิวทาง ณ เวลา t

$ISV(0)$ = เวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง ณ เวลาเริ่มต้น

P = เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ

t = อายุของผิวทาง (ปี)

- สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State, PCS) เป็นค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ ซึ่งเป็นค่าคาดหวัง (Expected Value) ของการเปลี่ยนสถานะของสภาพผิวทาง โดยการหาพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถคำนวณ ตามสมการที่ ก-4

$$PCS(t) = PCSV \times CSV^{t} \quad (ก\text{-}4)$$

โดยที่ $PCS(t)$ = สถานะสภาพของผิวทาง ณ เวลา t

CSV^{t} = เวคเตอร์สถานะสภาพผกผัน

จากองค์ประกอบทั้งหมดในขั้นต้นการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

7. จัดกลุ่มข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบกับความเสียหายของผิวทางในลักษณะต่างๆ
8. กำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ
9. คำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
10. คำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
11. คำนวณค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาต่างๆ
12. คำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลที่เวลาต่างๆ

1.2 การกำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและการคำนวณหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทางในการพยากรณ์การเสื่อมสภาพของผิวทางในอนาคต แต่เนื่องจากค่าดัชนีความขรุขระสากลที่รวบรวมมาเป็นข้อมูลตัวแปรเชิงปริมาณ ทำให้ขั้นตอนการกำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะทำได้ยาก ดังนั้นต้องทำให้ค่าดัชนีความขรุขระสากลเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มโดยการจัดกลุ่มลักษณะสภาพของผิวทางซึ่งแยกออกตามภูมิภาค

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองได้ทำการปรับแบบจำลองสภาพทางโดยแบ่งช่วงของการเปลี่ยนสถานะเป็น 11 ช่วง ดังตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 การกำหนดช่วงของการเปลี่ยนสถานะ

State	IRI Range (m/km)
1	< 2.00
2	2.00 – 2.50
3	2.51-3.00
4	3.01-3.50
5	3.51-4.00
6	4.01-4.50
7	4.51-5.00
8	5.01-5.50
9	5.51-6.00
10	6.01-6.50
11	> 6.50

ดังนั้น เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะสภาพที่แบ่งค่าดัชนีความขรุขระสากลเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มมีดังต่อไปนี้

$$n_{ij} = \begin{bmatrix} n_{1\text{-}1} & n_{1\text{-}2} & n_{1\text{-}3} & \cdots & n_{1\text{-}11} \\ n_{2\text{-}1} & n_{2\text{-}2} & n_{2\text{-}3} & \cdots & n_{2\text{-}11} \\ n_{3\text{-}1} & n_{3\text{-}2} & n_{3\text{-}3} & \cdots & n_{3\text{-}11} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ n_{11\text{-}1} & n_{11\text{-}2} & n_{11\text{-}3} & \cdots & n_{11\text{-}11} \end{bmatrix}$$

จากข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงจำนวน 931 สายทาง สามารถหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะที่แบ่งค่าดัชนีความขรุขระสากลได้ 1,683 ข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลการสำรวจสภาพผิวทางต่อเนื่องทุกปี โดยแยกตามภูมิภาคได้ดังแสดงในตารางที่ ก-2 ถึง ก-5

ตารางที่ ก-2 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคเหนือ

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1		6	1									7
2		8	13	5	3	1	3					33
3			12	28	7	1						48
4				22	39	12	7	2				82
5					26	48	15	5	2	1		97
6						20	35	7	7	1		70
7							16	23	14	5		58
8								7	21	2	7	37
9									9	6	11	26
10										2	7	9
11											20	20
รวม	0	14	26	55	75	82	76	44	53	17	45	487

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1		2										2
2		3	11	6	3							23
3			28	42	8	5	1					84
4				42	76	16	4	1				139
5					35	53	15	2	2			107
6						38	28	13	8			87
7							11	15	17	1		44
8								7	10	4	4	25
9									2	6	6	14
10										2	3	5
11											2	2
รวม	0	5	39	90	122	112	59	38	39	13	15	532

ตารางที่ ก-4 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคกลาง

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1		3	1	1								5
2		8	7	5	1							21
3			17	40	6	5	2					70
4				37	48	10	2	2	2			101
5					22	37	10	3	5			77
6						14	19	10	1	4	3	51
7							9	10	4	2	4	29
8								3	6	3	2	14
9									1	2	8	11
10										3	6	9
11											8	8
รวม	0	11	25	83	77	66	42	28	19	14	31	396

ตารางที่ ก-5 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคใต้

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	2	5	2		1							10
2		9	19	3		1						32
3			20	24	3	2	3					52
4				21	23	5	1	1	1			52
5					16	28	3	1	1	2		51
6						14	18		2	1		35
7							5	11	2			18
8								2	3	2		7
9									2	1	2	5
10										1	2	3
11											3	3
รวม	2	14	41	48	43	50	30	15	11	7	7	268

1.3 การคำนวณความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ

จากเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะข้างต้น สามารถคำนวณเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากปีปัจจุบันไปยังปีถัดไปตามสมการที่ ก-2 โดยแสดงเมทริกซ์ดังกล่าวในรูปที่ ก-6 ถึง ก-9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคเหนือจากปีปัจจุบันไปปีที่ 1

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.000	0.857	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.000	0.242	0.394	0.152	0.091	0.030	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
3	0.000	0.000	0.250	0.583	0.146	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
4	0.000	0.000	0.000	0.268	0.476	0.146	0.085	0.024	0.000	0.000	0.000	1.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.268	0.495	0.155	0.052	0.021	0.010	0.000	1.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.286	0.500	0.100	0.100	0.014	0.000	1.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.276	0.397	0.241	0.086	0.000	1.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.189	0.568	0.054	0.189	1.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.346	0.231	0.423	1.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.222	0.778	1.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

ตารางที่ ก-7 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากปีปัจจุบันไปปีที่ 1

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.000	0.130	0.478	0.261	0.130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
3	0.000	0.000	0.333	0.500	0.095	0.060	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
4	0.000	0.000	0.000	0.302	0.547	0.115	0.029	0.007	0.000	0.000	0.000	1.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.327	0.495	0.140	0.019	0.019	0.000	0.000	1.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.437	0.322	0.149	0.092	0.000	0.000	1.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.341	0.386	0.023	0.000	1.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.280	0.400	0.160	0.160	1.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.429	0.429	1.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.600	1.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

ตารางที่ ก-8 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคกลางจากปีปัจจุบันไปปีที่ 1

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.000	0.600	0.200	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.000	0.381	0.333	0.238	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
3	0.000	0.000	0.243	0.571	0.086	0.071	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
4	0.000	0.000	0.000	0.366	0.475	0.099	0.020	0.020	0.020	0.000	0.000	1.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.286	0.481	0.130	0.039	0.065	0.000	0.000	1.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.275	0.373	0.196	0.020	0.078	0.059	1.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.310	0.345	0.138	0.069	0.138	1.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.214	0.429	0.214	0.143	1.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.182	0.727	1.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	1.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

ตารางที่ ก-9 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคใต้จากปีปัจจุบันไปปีที่ 1

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.200	0.500	0.200	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.000	0.281	0.594	0.094	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
3	0.000	0.000	0.385	0.462	0.058	0.038	0.058	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
4	0.000	0.000	0.000	0.404	0.442	0.096	0.019	0.019	0.019	0.000	0.000	1.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.314	0.549	0.059	0.020	0.020	0.039	0.000	1.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.514	0.000	0.057	0.029	0.000	1.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.278	0.611	0.111	0.000	0.000	1.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.286	0.429	0.286	0.000	1.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.200	0.400	1.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	1.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

หลังจากคำนวณเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพจากสถานะภาพเริ่มต้นไปยังปีแรก (ปีที่ 0) จะสามารถคำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพไปยังปีถัดไปหรือปีที่พิจารณา (ปีที่ n) ได้โดยการคูณเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพของปีแรก (ปีที่ 0) กับเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพของปีก่อนปีที่พิจารณา (ปีที่ n-1) ดังตัวอย่างในตารางที่ ก-10 ถึง ก-13 ซึ่งเป็นการคำนวณเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพจากปีที่ 1 ไปปีที่ 2 โดยคำนวณจากผลคูณระหว่างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพเริ่มต้นไปยังปีแรก (ปีที่ 0 ไปปีที่ 1) กับเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพของปีก่อนปี (ปีที่ 0 ไปปีที่ 1) ในทำนองเดียวกันการคำนวณเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพจากปีที่ 2 ไปปีที่ 3 สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพเริ่มต้นไปยังปีแรก (ปีที่ 0 ไปปีที่ 1) กับเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภาพของปีก่อนปี (ปีที่ 1 ไปปีที่ 2)

ตารางที่ ก-10 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคเหนือจากปีที่ 1 ไปปีที่ 2

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.000	0.208	0.373	0.213	0.099	0.029	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.000	0.059	0.194	0.307	0.176	0.091	0.089	0.047	0.027	0.009	0.000	1.000
3	0.000	0.000	0.063	0.302	0.353	0.169	0.083	0.024	0.005	0.002	0.000	1.000
4	0.000	0.000	0.000	0.072	0.255	0.316	0.193	0.084	0.059	0.016	0.005	1.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	0.274	0.332	0.134	0.129	0.033	0.026	1.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.281	0.246	0.241	0.079	0.072	1.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.076	0.184	0.375	0.120	0.244	1.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.304	0.153	0.507	1.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	0.131	0.749	1.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.951	1.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

ตารางที่ ก-11 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากปีที่ 1 ไปปีที่ 2

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.000	0.130	0.478	0.261	0.130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.000	0.017	0.222	0.352	0.248	0.123	0.031	0.004	0.002	0.000	0.000	1.000
3	0.000	0.000	0.111	0.318	0.336	0.151	0.054	0.018	0.012	0.000	0.000	1.000
4	0.000	0.000	0.000	0.091	0.344	0.356	0.130	0.041	0.035	0.002	0.001	1.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.107	0.378	0.240	0.133	0.116	0.014	0.011	1.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.191	0.221	0.217	0.237	0.071	0.063	1.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.063	0.181	0.288	0.235	0.234	1.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.078	0.169	0.280	0.472	1.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.233	0.747	1.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.160	0.840	1.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

ตารางที่ ก-12 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคกลางจากปีที่ 1 ไปปีที่ 2

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.000	0.229	0.249	0.330	0.141	0.034	0.010	0.004	0.004	0.000	0.000	1.000
2	0.000	0.145	0.208	0.368	0.173	0.070	0.020	0.007	0.008	0.000	0.000	1.000
3	0.000	0.000	0.059	0.348	0.317	0.135	0.065	0.039	0.022	0.008	0.008	1.000
4	0.000	0.000	0.000	0.134	0.310	0.292	0.112	0.056	0.053	0.017	0.026	1.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.269	0.256	0.158	0.068	0.067	0.099	1.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.218	0.224	0.143	0.119	0.221	1.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.096	0.181	0.203	0.143	0.376	1.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.131	0.195	0.628	1.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.077	0.915	1.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.889	1.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

ตารางที่ ก-13 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคใต้จากปีที่ 1 ไปปีที่ 2

สถานะ i	สถานะ j											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.040	0.241	0.414	0.139	0.063	0.078	0.017	0.002	0.002	0.004	0.000	1.000
2	0.000	0.079	0.395	0.338	0.076	0.053	0.052	0.002	0.004	0.001	0.000	1.000
3	0.000	0.000	0.148	0.364	0.244	0.106	0.070	0.045	0.019	0.003	0.000	1.000
4	0.000	0.000	0.000	0.163	0.317	0.320	0.089	0.034	0.040	0.029	0.008	1.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.098	0.392	0.317	0.048	0.060	0.051	0.034	1.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.160	0.349	0.314	0.103	0.032	0.042	1.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077	0.344	0.337	0.197	0.044	1.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.294	0.263	0.362	1.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.160	0.147	0.693	1.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.889	1.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

1.4 การคำนวณหาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำ

เมื่อได้ค่าเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะแล้ว ขั้นตอนต่อไปทำการคำนวณหาค่าเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (PCSV) กับค่าสถานะสภาพของผิวทาง (PCS) ที่ระยะเวลาต่างๆ โดยอาศัยสมการที่ ก-3 และสมการที่ ก-4 ตามลำดับ โดยใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากลเริ่มต้นเท่ากับ 2.0 เมตรต่อกิโลเมตร ดังนั้น เวคเตอร์สถานะเริ่มต้น (ISV) คือ [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0] ซึ่งสามารถคำนวณหาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่แสดงสถานะสภาพของค่าดัชนีความขรุขระสากลที่ระยะเวลาต่างๆ ดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$PCS^{t}(3) = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \times \begin{bmatrix} 0.000 & 0.050 & 0.175 & 0.306 & 0.201 & 0.102 & 0.088 & 0.044 & 0.024 & 0.008 & 0.000 \\ 0.000 & 0.014 & 0.072 & 0.204 & 0.227 & 0.164 & 0.129 & 0.070 & 0.071 & 0.022 & 0.027 \\ 0.000 & 0.000 & 0.016 & 0.118 & 0.248 & 0.268 & 0.188 & 0.080 & 0.059 & 0.016 & 0.008 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.019 & 0.103 & 0.227 & 0.257 & 0.139 & 0.152 & 0.045 & 0.058 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.019 & 0.114 & 0.240 & 0.188 & 0.230 & 0.078 & 0.132 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.023 & 0.118 & 0.168 & 0.239 & 0.112 & 0.282 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.021 & 0.085 & 0.253 & 0.130 & 0.531 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.007 & 0.125 & 0.106 & 0.762 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.041 & 0.057 & 0.902 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.011 & 0.989 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$= [0.000\ 0.050\ 0.175\ 0.306\ 0.201\ 0.102\ 0.088\ 0.044\ 0.024\ 0.008\ 0.000]$$

$$PCS(3) = [0.000\ 0.050\ 0.175\ 0.306\ 0.201\ 0.102\ 0.088\ 0.044\ 0.024\ 0.008\ 0.000] \times \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \end{bmatrix} = 4.739$$

เมื่อได้ค่าเวคเตอร์สถานะภาพของผิวทางแล้วจะสามารถคำนวณค่าสถานะภาพของผิวทาง ณ เวลาใดๆ (PCS(t)) ได้โดยการคูณค่าเวคเตอร์สถานะภาพของผิวทางกับเวคเตอร์สถานะภาพผกผัน (CSV^{t}) ซึ่งจากตัวอย่างจะสามารถคำนวณค่าสถานะภาพของผิวทาง ณ ปีที่ 3 ได้เท่ากับ 4.739 และเนื่องจากค่าสถานะสภาพของผิวทาง (PCS) ที่ได้จะเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มของค่าดัชนีความขรุขระสากลหรือเรียกว่า ค่าคาดหวังของสถานะสภาพผิวทาง ดังนั้นจำเป็นต้องแปลงค่าสถานะสภาพของผิวทางที่ระยะเวลาต่างๆ ให้เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ เพื่อที่จะแสดงค่าคาดหวังของดัชนีความขรุขระสากลที่ระยะเวลาต่างๆ โดยคำนวณโดยการประมาณค่าในช่วงของสถานะ (Interpolation) ดังต่อไปนี้

$$IRI(3) = 3.00 + \frac{4.379 - 4.00}{4.00 - 3.00} = 3.74$$

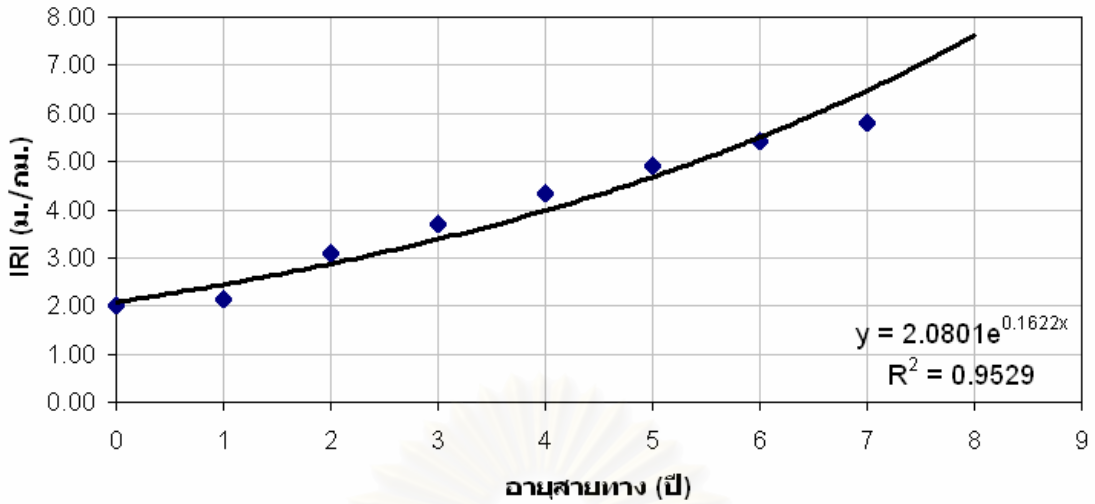
จากวิธีการดังกล่าวจะสามารถคำนวณค่าเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (PCSV) ค่าสถานะสภาพของผิวทาง (PCS) และค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่ระยะเวลาต่างๆ ผลการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ ก-14

ตารางที่ ก-14 ค่าคาดหวังของการเปลี่ยนสถานะ และค่าดัชนีความขรุขระสากล ณ ปีต่างๆ

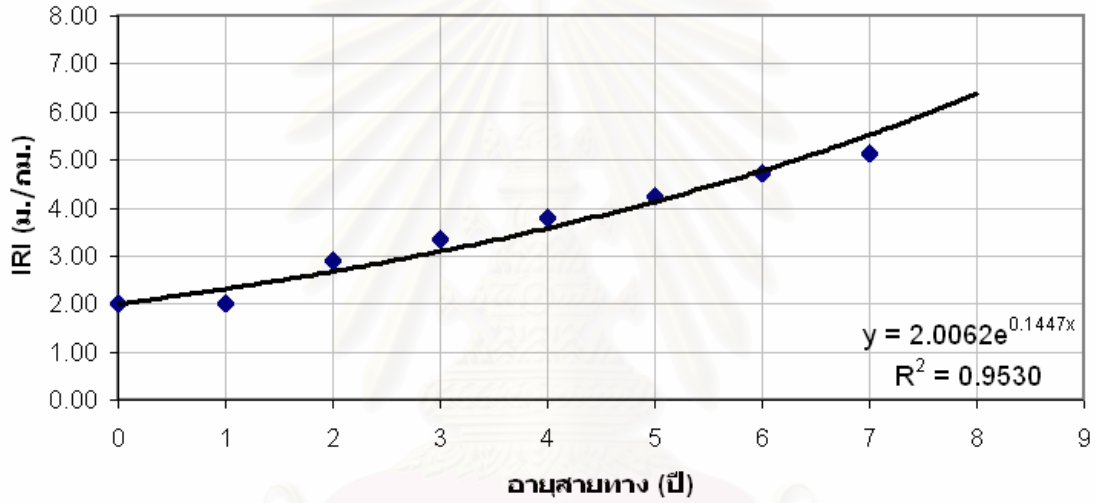
ภูมิภาค	ภาคเหนือ		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคกลาง		ภาคใต้	
ปี	สถานะ	IRI (m/km)	สถานะ	IRI (m/km)	สถานะ	IRI (m/km)	สถานะ	IRI (m/km)
0	1.000	2.00	1.000	2.00	1.000	2.00	1.000	2.00
1	2.143	2.14	2.000	2.00	2.249	2.25	2.300	2.30
2	3.601	3.10	3.391	2.89	3.568	3.07	3.298	2.80
3	4.739	3.74	4.362	3.36	4.584	3.58	4.217	3.22
4	5.840	4.34	5.284	3.78	5.672	4.17	5.112	3.61
5	6.910	4.90	6.233	4.23	6.796	4.80	5.998	4.50
6	7.914	5.41	7.205	4.71	7.873	5.37	6.858	4.86
7	8.803	5.80	8.143	5.14	8.812	5.81	7.665	5.17

เมื่อนำข้อมูลที่คำนวณได้ในตารางที่ ก-14 มาทำการเขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาดหวังของดัชนีความขรุขระสากลกับอายุของสายทางจะสามารถสรุปได้ดังรูปที่ ก-1 ถึง ก-4 โดยที่แกน X แทนอายุ และแกน Y แทนค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ของสายทางตามแบบจำลอง

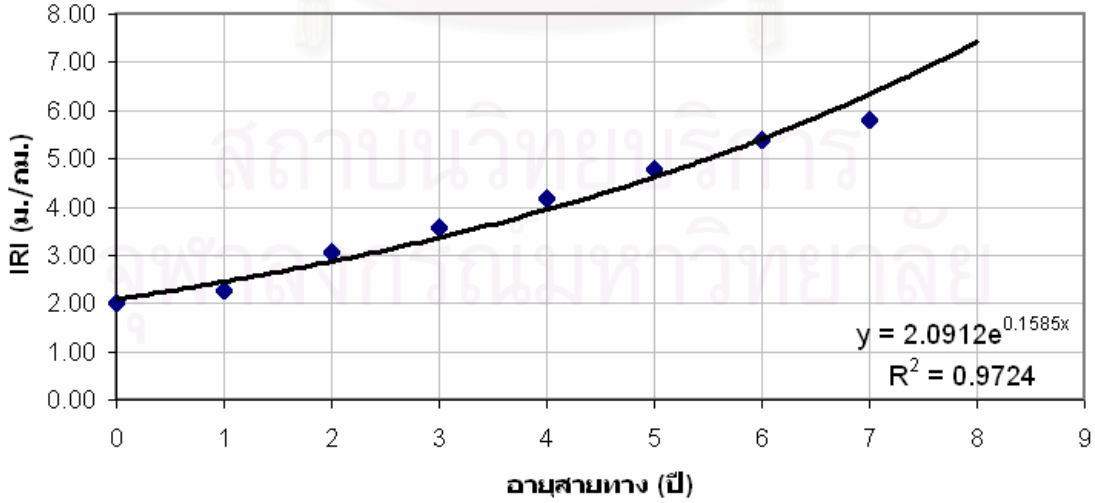
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



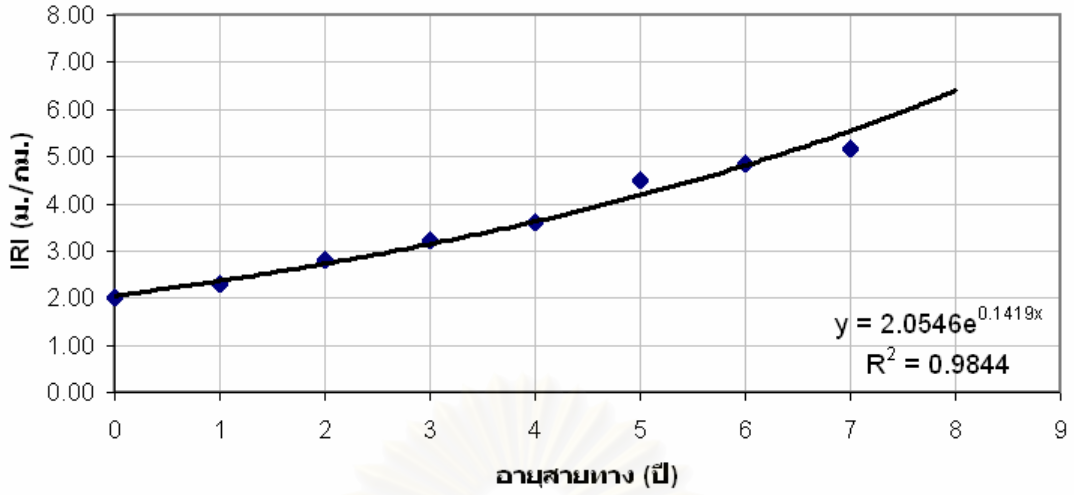
รูปที่ ก-1 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางที่อยู่ในภาคเหนือ



รูปที่ ก-2 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางที่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ ก-3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางที่อยู่ในภาคกลาง



รูปที่ ก-4 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทางที่อยู่ในภาคใต้

เมื่อนำข้อมูลมาทำการเขียนกราฟและหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับค่าดัชนีความขรุขระสากลด้วยวิธีการ Exponential จะสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

ภาคเหนือ : $IRI = 2.0801e^{0.1622AGE}$ (ก-5)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ : $IRI = 2.0062e^{0.1447AGE}$ (ก-6)

ภาคกลาง : $IRI = 2.0912e^{0.1585AGE}$ (ก-7)

ภาคใต้ : $IRI = 2.0546e^{0.1419AGE}$ (ก-8)

โดยที่ IRI = ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังสายทาง ณ ปีที่พิจารณา (ม./กม.)

AGE = อายุของสายทาง (ปี)

2. ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการฉาบผิวและการปรับระดับต่อสภาพผิวทาง

ในส่วนของแบบจำลองสภาพผิวทางภายหลังผิวทางได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการฉาบผิวนั้นทางที่คณะที่ปรึกษาได้ทำการศึกษาและพบว่า ผลจากการฉาบผิวนั้นจะช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผิวทาง ทำให้ผิวทางเสื่อมสภาพด้วยอัตราที่ช้าลง โดยจากการศึกษานั้นทางคณะที่ปรึกษาได้อ้างอิงผลกระทบจากการฉาบผิวทางของวิศณุและคณะ (2543) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการฉาบผิวทางที่มีต่อค่าดัชนีความขรุขระสากลในสายทางที่มีผิวลาดยางของกรมทางหลวง และทำการปรับปรุงให้สอดคล้องกับสภาพถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำ

ตารางที่ ก-15 แบบจำลองในการทำนายค่า Δ IRI 1 ปีภายหลังการทำฉาบผิว

$$\Delta IRI = a + (b_1 * IRI_0) + (b_2 * AVE.AADT) + (b_3 * \%HV) + (b_4 * AVE.RAIN) \quad (ก\text{-}9)$$

	% Gradient			
	0-3%	3-5%	> 5%	Total
a	-0.132	-0.172	-0.281	-0.094
b_1 ($*10^{-2}$)	4.607	5.626	6.632	4.882
b_2 ($*10^{-6}$)	3.246	6.551	13.600	3.170
b_3 ($*10^{-3}$)	1.415	2.408	3.790	0.763
b_4 ($*10^{-5}$)	2.084	2.190	7.670	1.303
R^2	0.651	0.561	0.505	0.445

โดยที่ Δ IRI = ผลต่างของค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังสายทางได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว 1 ปี กับสภาพผิวทางในปีปัจจุบัน (ม./กม.)

IRI_0 = ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังสายทาง ณ ปีปัจจุบัน (ม./กม.)

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

%HV = สัดส่วนรถหนัก (%)

AVE.RAIN = ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่ (มม./เดือน)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

จากตารางที่ ก-15 พบว่าการซ่อมบำรุงผิวทางด้วยการฉาบผิวลาดยางจะช่วยชะลออัตราการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยผลต่างของค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังสายทางได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว 1 ปี กับสภาพผิวทางในปัจจุบัน ($IRI_1 - IRI_0$) จะแสดงด้วยค่า Δ IRI

3. ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวลาดยางและซ่อมสร้าง

ในส่วนของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทาง (Overlay) และวิธีการบูรณะผิวทาง (Rehabilitation) จะสมมติให้สายทางมีพฤติกรรมการเสื่อมสภาพเสมือนสายทางที่สร้างเสร็จใหม่ กล่าวคือ หลังได้รับการซ่อมบำรุงเสร็จค่าดัชนีความขรุขระสากลจะมีค่าประมาณ 2.0 เมตรต่อกิโลเมตร

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง ในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในส่วนนี้จะแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งรูปแบบการวิเคราะห์ออกเป็นการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปีซึ่งเป็นตัวอย่างการวิเคราะห์โครงข่ายสายทางจำนวน 10 สายทาง และแบบต่อเนื่องหลายปีซึ่งเป็นตัวอย่างการวิเคราะสำหรับ 3 สายทาง ในช่วงระยะเวลา 3 ปี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลสำหรับตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลที่นำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์นี้อ้างอิงจากฐานข้อมูลของกรมทางหลวงชนบท ซึ่งข้อมูลประกอบด้วยรหัสสายทาง ช่วงสายทางที่นำมาพิจารณา ปริมาณการจราจร สัดส่วนของรถบรรทุกหนัก ค่าดัชนีความขรุขระสากลของแต่ละช่วงสายทาง และอายุใช้งานของสายทาง โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลตัวอย่างสายทางที่นำวิเคราะห์แผนงาน

รหัสสายทาง	จาก กม.	ถึง กม.	PCU	%HV	IRI	อายุการใช้งาน (ปี)
ปท.3007	2	3	665.8	0.5	2.99	2
ปท.3008	11	12	670.5	2.9	2.10	2
ปท.3011	9	10	820.8	3.7	5.04	4
ปท.3019	3	4	599.5	1.2	3.07	2
ปท.3025	5	6	268.0	0.5	4.42	5
ปท.5023	1	2	535.5	0.9	6.84	9
ปท.5026	0	1	776.0	0.8	6.35	9
ปท.4003	0	1	375.3	0.4	2.55	3
ปท.3020	14	15	924.0	5.1	5.94	1
ปท.3022	10	11	325.0	1.1	6.07	8

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

ขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการกำหนดค่าองค์ประกอบสำหรับทางเลือกในการซ่อมบำรุง ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

การหาค่าองค์ประกอบสำหรับทางเลือกในการซ่อมบำรุง จะเป็นการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ซึ่งต้องคำนวณหาอายุใช้งานของสายทางตามแบบจำลอง โดยแทนค่าดัชนีความขรุขระสากลลงในสมการที่ 3.1 ถึง 3.4 ดังนี้

สายทาง ปท.3007 มีค่าดัชนีความขรุขระสากลเท่ากับ 2.99 เมตรต่อกิโลเมตร จะสามารถคำนวณอายุใช้งานตามแบบจำลอง ณ ปีปัจจุบันโดยใช้สมการที่ 3.3 ได้ คือ

$$2.99 = 2.0912e^{0.1585AGE}$$

$$AGE_0 = 2.26 \text{ เมตรต่อกิโลเมตร}$$

ดังนั้น การคำนวณสภาพผิวทางปีถัดไปเมื่อได้รับการซ่อมบำรุงปกติ (Rountine Maintenance) จะพิจารณาที่อายุใช้งานเท่ากับ 2.26 + 1 = 3.26 ปี ดังนี้

$$IRI_1 = 2.0912e^{0.1585(3.26)}$$

$$IRI_1 = 3.13 \text{ เมตรต่อกิโลเมตร}$$

การคำนวณสภาพผิวทางภายหลังได้รับการฉาบผิวทาง (Slurry Seal) สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3.5 ดังนี้

$$IRI_1 = IRI_0 + \Delta IRI$$

$$IRI_1 = IRI_0 + \{a + (b_1*IRI_0) + (b_2*AVE.AADT) + (b_3*\%HV) + (b_4*AVE.RAIN)\}$$

$$= 2.99 + \{-0.0722+(0.04841*2.99)+(0.000003291*665.8)+(0.000506*0.5)\}$$

$$= 3.07 \text{ เมตรต่อกิโลเมตร}$$

ซึ่งภายหลังจากคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลในปีถัดไปเมื่อได้รับการฉาบผิวทาง ณ ปีปัจจุบันแล้วนั้น การคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลหลังจากนั้นจะใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสภาพผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงปกติ

การวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังจากได้รบการเสริมผิวทางและบูรณะผิวทาง จะเสมือนผิวทางได้รับการสร้างเสร็จใหม่ ซึ่งสามารถคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลในปีปัจจุบันและปีถัดไปภายหลังจากผิวทางได้รับการเสริมผิวหรือบูรณะได้ดังนี้

$$IRI_0 = 2.0912e^{0.1585(0)}$$

$$IRI_0 = 2.09$$

$$IRI_1 = 2.0912e^{0.1585(1)}$$

$$IRI_1 = 2.45$$

โดยตัวอย่างผลการคำนวณทั้งหมดของโครงข่ายสายทางตัวอย่างจะแสดงในส่วนถัดไป

ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปี

ขั้นตอนการกำหนดค่าองค์ประกอบสำหรับทางเลือกในการซ่อมบำรุง เป็นการวิเคราะห์หาค่าสภาพผิวทางภายหลังจากได้รับการซ่อมบำรุงต่างๆ เพื่อนำมาใช้คำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีสำหรับแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงของแต่ละสายทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3007 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	2.99	2.99	2.09	-
3	3.50	3.07	2.45	-
4	4.11	3.59	2.87	-
5	4.81	4.21	3.36	-
6	5.64	4.93	3.94	-
7	6.60	5.78	4.62	-
8	-	-	5.41	-
9	-	-	6.34	-
10	-	-	-	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	20.14	18.00	19.70	0.00
UIRI	5.58	4.99	4.32	0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3008 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	2.10	2.10	2.09	-
3	2.46	2.13	2.45	-
4	2.88	2.50	2.87	-
5	3.38	2.93	3.36	-
6	3.96	3.43	3.94	-
7	4.64	4.02	4.62	-
8	-	-	5.41	-
9	-	-	6.34	-
10	-	-	-	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	14.15	12.54	19.70	0.00
UIRI	3.92	3.48	4.32	0.00

ตารางที่ ข-4 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3011 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	5.04	5.04	2.09	-
5	5.91	5.22	2.45	-
6	6.92	6.11	2.87	-
7	8.11	7.16	3.36	-
8	-	-	3.94	-
9	-	-	4.62	-
10	-	-	5.41	-
11			6.34	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	21.60	19.67	19.70	0.00
UIRI	8.99	8.19	4.32	0.00

ตารางที่ ข-5 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3019 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	3.07	3.07	2.09	-
3	3.60	3.15	2.45	-
4	4.22	3.69	2.87	-
5	4.94	4.32	3.36	-
6	5.79	5.07	3.94	-
7	6.78	5.94	4.62	-
8	-	-	5.41	-
9	-	-	6.34	-
10	-	-	-	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	20.68	18.49	19.70	0.00
UIRI	5.74	5.13	4.32	0.00

ตารางที่ ข-6 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3025 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	4.42	4.42	2.09	-
6	5.18	4.56	2.45	-
7	6.07	5.35	2.87	-
8	-	-	3.36	-
9	-	-	3.94	-
10	-	-	4.62	-
11	-	-	5.41	-
12	-	-	6.34	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	13.88	12.76	19.70	0.00
UIRI	8.21	7.55	4.32	0.00

ตารางที่ ข-7 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.5023 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	6.84	-	-	2.09
10	8.01	-	-	2.45
11	9.39	-	-	2.87
12	11.00	-	-	3.36
13	12.89	-	-	3.94
14	15.11	-	-	4.62
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	50.42	0.00	0.00	14.09
UIRI	13.99	0.00	0.00	3.09

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-8 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.5026 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	6.35	-	2.09	-
10	7.44	-	2.45	-
11	8.72	-	2.87	-
12	10.22	-	3.36	-
13	11.97	-	3.94	-
14	14.03	-	4.62	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	46.81	0.00	14.09	0.00
UIRI	12.99	0.00	3.09	0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-9 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.4003 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	2.41	2.41	2.09	-
4	2.82	2.46	2.45	-
5	3.31	2.88	2.87	-
6	3.88	3.37	3.36	-
7	4.54	3.95	3.94	-
8	-	-	4.62	-
9	-	-	5.41	-
10	-	-	6.34	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	13.22	11.81	19.70	0.00
UIRI	4.35	3.89	4.32	0.00

ตารางที่ ข-10 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3020 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	5.94	5.94	2.09	-
2	6.96	6.16	2.45	-
3	8.16	7.22	2.87	-
4	9.56	8.46	3.36	-
5	11.20	9.91	3.94	-
6	13.12	11.61	4.62	-
7	15.37	13.61	5.41	-
8	-	-	6.34	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	47.81	43.00	19.70	0.00
UIRI	11.63	10.46	4.32	0.00

ตารางที่ ข-11 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3022 ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง ณ ปีแรกของแผนงาน

ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (ม./กม.)			
	งานบำรุงปกติ	งานฉาบผิวทาง	งานเสริมผิวทาง	งานบูรณะผิวทาง
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	6.07	-	2.09	-
9	7.11	-	2.45	-
10	8.33	-	2.87	-
11	9.77	-	3.36	-
12	11.44	-	3.94	-
13	13.41	-	4.62	-
14	15.71	-	5.41	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	48.85	0.00	16.83	0.00
UIRI	11.88	0.00	3.69	0.00

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองประกอบด้วยการกำหนดทางเลือกในการซ่อมบำรุง หรือวิธีการซ่อมบำรุงที่เป็นไปได้ของแต่ละช่วงสายทาง และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงตลอดช่วงเวลาที่วางแผนงาน เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์แผนงานในขั้นตอนต่อไป โดยค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีแสดงดังตารางที่ ข-12 และทางเลือกในการในการซ่อมบำรุงที่เป็นไปได้แสดงดังตารางที่ ข-13

ตารางที่ ข-12 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการซ่อมบำรุง

กิจกรรมซ่อมบำรุง	ค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง (บาทต่อกิโลเมตร)
งานซ่อมบำรุงปกติ	33,000
งานฉาบผิวทาง	323,000
งานเสริมผิวทาง	1,288,000
งานบูรณะผิวทาง	1,840,000

ตารางที่ ข-13 การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน

รหัสสายทาง (i)		แผนการซ่อมบำรุง (p)	ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (ม./กม.)	งบประมาณที่ต้องการ (c) (บาท)
ปท.3007	1	1	5.59	33,000
		2	4.99	323,000
		3	4.32	1,288,000
ปท.3008	2	1	3.92	33,000
		2	3.48	323,000
		3	4.32	1,288,000
ปท.3011	3	1	8.99	33,000
		2	8.19	323,000
		3	4.32	1,288,000
ปท.3019	4	1	5.74	33,000
		2	5.13	323,000
		3	4.32	1,288,000
ปท.3025	5	1	8.21	33,000
		2	7.55	323,000
		3	4.32	1,288,000
ปท.5023	6	1	13.99	33,000
		4	3.09	1,840,000
ปท.5026	7	1	12.99	33,000
		3	3.09	1,288,000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-13 การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน (ต่อ)

รหัสสายทาง (i)		แผนการซ่อมบำรุง (p)	ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (ม./กม.)	งบประมาณที่ต้องการ (c) (บาท)
ปท.4003	8	1	4.35	33,000
		2	3.89	323,000
		3	4.32	1,288,000
ปท.3020	9	1	11.63	33,000
		2	10.46	323,000
		3	4.32	1,288,000
ปท.3022	10	1	11.88	33,000
		3	3.69	1,288,000

โดยที่ แผนงานซ่อมบำรุง 1 คือ การซ่อมบำรุงปกติ
แผนงานซ่อมบำรุง 2 คือ การฉาบผิวทาง
แผนงานซ่อมบำรุง 3 คือ การเสริมผิวทาง
แผนงานซ่อมบำรุง 4 คือ การบูรณะผิวทาง

จากการสร้างแบบจำลองดังตารางที่ ข-13 จะสามารถนำไปสร้างทางเลือกในการวางแผนงานโครงข่ายสายทางดังกล่าวแบบปีต่อปีได้จำนวน 17,496 ทางเลือก โดยมีลักษณะของสมการการวิเคราะห์ตามสมการที่ 3.7 ได้ดังนี้

Minimize :
$$(UIRI_{1,1})(x_{1,1}) + (UIRI_{1,2})(x_{1,2}) + (UIRI_{1,3})(x_{1,3}) + (UIRI_{2,1})(x_{2,1}) +$$
$$(UIRI_{2,2})(x_{2,2}) + (UIRI_{2,3})(x_{2,3}) + (UIRI_{3,1})(x_{3,1}) + (UIRI_{3,2})(x_{3,2}) +$$
$$(UIRI_{3,3})(x_{3,3}) + (UIRI_{4,1})(x_{4,1}) + (UIRI_{4,2})(x_{4,2}) + (UIRI_{4,3})(x_{4,3}) +$$
$$(UIRI_{5,1})(x_{5,1}) + (UIRI_{5,2})(x_{5,2}) + (UIRI_{5,3})(x_{5,3}) + (UIRI_{6,1})(x_{6,1}) +$$
$$(UIRI_{6,4})(x_{6,4}) + (UIRI_{7,1})(x_{7,1}) + (UIRI_{7,3})(x_{7,3}) + (UIRI_{8,1})(x_{8,1}) +$$
$$(UIRI_{8,2})(x_{8,2}) + (UIRI_{8,3})(x_{8,3}) + (UIRI_{9,1})(x_{9,1}) + (UIRI_{9,2})(x_{9,2}) +$$
$$(UIRI_{9,3})(x_{9,3}) + (UIRI_{10,1})(x_{10,1}) + (UIRI_{10,3})(x_{10,3}) \qquad \text{(ข-1)}$$

Subject to : (1) $(c_{1,1})(x_{1,1}) + (c_{1,2})(x_{1,2}) + (c_{1,3})(x_{1,3}) + (c_{2,1})(x_{2,1}) + (c_{2,2})(x_{2,2})$
$+ (c_{2,3})(x_{2,3}) + (c_{3,1})(x_{3,1}) + (c_{3,2})(x_{3,2}) + (c_{3,3})(x_{3,3}) + (c_{4,1})(x_{4,1})$
$+ (c_{4,2})(x_{4,2}) + (c_{4,3})(x_{4,3}) + (c_{5,1})(x_{5,1}) + (c_{5,2})(x_{5,2}) + (c_{5,3})(x_{5,3})$
$+ (c_{6,1})(x_{6,1}) + (c_{6,4})(x_{6,4}) + (c_{7,1})(x_{7,1}) + (c_{7,3})(x_{7,3}) + (c_{8,1})(x_{8,1})$
$+ (c_{8,2})(x_{8,2}) + (c_{8,3})(x_{8,3}) + (c_{9,1})(x_{9,1}) + (c_{9,2})(x_{9,2}) + (c_{9,3})(x_{9,3})$
$+ (c_{10,1})(x_{10,1}) + (c_{10,3})(x_{10,3}) \leq B$ (ข-2)

(2) $\delta_{ip} x_{ip} = 1$ เมื่อ $\forall_i \in I$ (ข-3)

(3) $x_{ip} \in \{0,1\}$ (ข-4)

จากสมการการวิเคราะห์ ข-1 ถึง ข-4 สามารถสร้างทางเลือกในการวางแผนซ่อมบำรุงโครงข่ายสายทางได้ดังตัวอย่างในตารางที่ ข-14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-14 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบปีต่อปี จำนวน 90 ทางเลือก

ทางเลือกที่	วิธีการซ่อมบำรุง										UIRI										∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.35	11.63	11.88	87.29	330,000
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.35	11.63	4.32	79.73	1,585,000
3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.35	10.46	11.88	86.13	620,000
4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.35	10.46	4.32	78.56	1,875,000
5	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.35	4.32	11.88	79.98	1,585,000
6	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.35	4.32	4.32	72.42	2,840,000
7	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	3.89	11.63	11.88	86.83	620,000
8	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	3.89	11.63	4.32	79.27	1,875,000
9	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	3.89	10.46	11.88	85.66	910,000
10	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	3.89	10.46	4.32	78.10	2,165,000
11	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	3.89	4.32	11.88	79.52	1,875,000
12	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	3.89	4.32	4.32	71.95	3,130,000
13	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.32	11.63	11.88	87.26	1,585,000
14	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.32	11.63	4.32	79.69	2,840,000
15	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.32	10.46	11.88	86.09	1,875,000

ตารางที่ ข-14 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบปีต่อปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	วิธีการซ่อมบำรุง										UIRI										∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022		
16	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.32	10.46	4.32	78.52	3,130,000
17	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.32	4.32	11.88	79.95	2,840,000
18	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	12.99	4.32	4.32	4.32	72.38	4,095,000
19	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.35	11.63	11.88	78.63	1,585,000
20	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.35	11.63	4.32	71.06	2,840,000
21	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.35	10.46	11.88	77.46	1,875,000
22	1	1	1	1	1	1	3	1	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.35	10.46	4.32	69.89	3,130,000
23	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.35	4.32	11.88	71.31	2,840,000
24	1	1	1	1	1	1	3	1	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.35	4.32	4.32	63.75	4,095,000
25	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	3.89	11.63	11.88	78.16	1,875,000
26	1	1	1	1	1	1	3	2	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	3.89	11.63	4.32	70.60	3,130,000
27	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	3.89	10.46	11.88	76.99	2,165,000
28	1	1	1	1	1	1	3	2	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	3.89	10.46	4.32	69.43	3,420,000
29	1	1	1	1	1	1	3	2	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	3.89	4.32	11.88	70.85	3,130,000
30	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	3.89	4.32	4.32	63.28	4,385,000

ตารางที่ ข-14 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบปีต่อปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	วิธีการซ่อมบำรุง										UIRI										∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022		
31	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.32	11.63	11.88	78.59	2,840,000
32	1	1	1	1	1	1	3	3	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.32	11.63	4.32	71.02	4,095,000
33	1	1	1	1	1	1	3	3	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.32	10.46	11.88	77.42	3,130,000
34	1	1	1	1	1	1	3	3	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.32	10.46	4.32	69.85	4,385,000
35	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.32	4.32	11.88	71.28	4,095,000
36	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	13.99	4.32	4.32	4.32	4.32	63.71	5,350,000
37	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.35	11.63	11.88	77.62	2,137,000
38	1	1	1	1	1	4	1	1	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.35	11.63	4.32	70.06	3,392,000
39	1	1	1	1	1	4	1	1	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.35	10.46	11.88	76.45	2,427,000
40	1	1	1	1	1	4	1	1	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.35	10.46	4.32	68.89	3,682,000
41	1	1	1	1	1	4	1	1	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.35	4.32	11.88	70.31	3,392,000
42	1	1	1	1	1	4	1	1	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.35	4.32	4.32	62.74	4,647,000
43	1	1	1	1	1	4	1	2	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	3.89	11.63	11.88	77.16	2,427,000
44	1	1	1	1	1	4	1	2	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	3.89	11.63	4.32	69.59	3,682,000
45	1	1	1	1	1	4	1	2	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	3.89	10.46	11.88	75.99	2,717,000

ตารางที่ ข-14 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบปีต่อปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	วิธีการซ่อมบำรุง										UIRI										∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022		
46	1	1	1	1	1	4	1	2	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	3.89	10.46	4.32	68.42	3,972,000
47	1	1	1	1	1	4	1	2	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	3.89	4.32	11.88	69.85	3,682,000
48	1	1	1	1	1	4	1	2	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	3.89	4.32	4.32	62.28	4,937,000
49	1	1	1	1	1	4	1	3	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.32	11.63	11.88	77.59	3,392,000
50	1	1	1	1	1	4	1	3	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.32	11.63	4.32	70.02	4,647,000
51	1	1	1	1	1	4	1	3	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.32	10.46	11.88	76.42	3,682,000
52	1	1	1	1	1	4	1	3	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.32	10.46	4.32	68.85	4,937,000
53	1	1	1	1	1	4	1	3	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.32	4.32	11.88	70.28	4,647,000
54	1	1	1	1	1	4	1	3	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	12.99	4.32	4.32	4.32	62.71	5,902,000
55	1	1	1	1	1	4	3	1	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.35	11.63	11.88	68.95	3,392,000
56	1	1	1	1	1	4	3	1	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.35	11.63	4.32	61.39	4,647,000
57	1	1	1	1	1	4	3	1	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.35	10.46	11.88	67.78	3,682,000
58	1	1	1	1	1	4	3	1	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.35	10.46	4.32	60.22	4,937,000
59	1	1	1	1	1	4	3	1	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.35	4.32	11.88	61.64	4,647,000
60	1	1	1	1	1	4	3	1	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.35	4.32	4.32	54.08	5,902,000

ตารางที่ ข-14 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบปีต่อปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	วิธีการซ่อมบำรุง										UIRI										∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022		
61	1	1	1	1	1	4	3	2	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	3.89	11.63	11.88	68.49	3,682,000
62	1	1	1	1	1	4	3	2	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	3.89	11.63	4.32	60.92	4,937,000
63	1	1	1	1	1	4	3	2	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	3.89	10.46	11.88	67.32	3,972,000
64	1	1	1	1	1	4	3	2	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	3.89	10.46	4.32	59.75	5,227,000
65	1	1	1	1	1	4	3	2	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	3.89	4.32	11.88	61.18	4,937,000
66	1	1	1	1	1	4	3	2	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	3.89	4.32	4.32	53.61	6,192,000
67	1	1	1	1	1	4	3	3	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.32	11.63	11.88	68.92	4,647,000
68	1	1	1	1	1	4	3	3	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.32	11.63	4.32	61.35	5,902,000
69	1	1	1	1	1	4	3	3	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.32	10.46	11.88	67.75	4,937,000
70	1	1	1	1	1	4	3	3	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.32	10.46	4.32	60.18	6,192,000
71	1	1	1	1	1	4	3	3	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.32	4.32	11.88	61.61	5,902,000
72	1	1	1	1	1	4	3	3	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	8.21	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	54.04	7,157,000
73	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.35	11.63	11.88	86.63	620,000
74	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.35	11.63	4.32	79.06	1,875,000
75	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.35	10.46	11.88	85.46	910,000

ตารางที่ ข-14 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบปีต่อปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	วิธีการซ่อมบำรุง										UIRI										∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022	ปท.3007	ปท.3008	ปท.3011	ปท.3019	ปท.3025	ปท.5023	ปท.5026	ปท.4003	ปท.3020	ปท.3022		
76	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.35	10.46	4.32	77.89	2,165,000
77	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.35	4.32	11.88	79.32	1,875,000
78	1	1	1	1	2	1	1	1	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.35	4.32	4.32	71.75	3,130,000
79	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	3.89	11.63	11.88	86.17	910,000
80	1	1	1	1	2	1	1	2	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	3.89	11.63	4.32	78.60	2,165,000
81	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	3.89	10.46	11.88	85.00	1,200,000
82	1	1	1	1	2	1	1	2	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	3.89	10.46	4.32	77.43	2,455,000
83	1	1	1	1	2	1	1	2	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	3.89	4.32	11.88	78.85	2,165,000
84	1	1	1	1	2	1	1	2	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	3.89	4.32	4.32	71.29	3,420,000
85	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.32	11.63	11.88	86.59	1,875,000
86	1	1	1	1	2	1	1	3	1	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.32	11.63	4.32	79.03	3,130,000
87	1	1	1	1	2	1	1	3	2	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.32	10.46	11.88	85.42	2,165,000
88	1	1	1	1	2	1	1	3	2	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.32	10.46	4.32	77.86	3,420,000
89	1	1	1	1	2	1	1	3	3	1	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.32	4.32	11.88	79.28	3,130,000
90	1	1	1	1	2	1	1	3	3	3	5.59	3.92	8.99	5.74	7.55	13.99	12.99	4.32	4.32	4.32	71.72	4,385,000

จากตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองจะเป็นการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้กรอบงบประมาณที่กำหนด โดยเมื่อกำหนดกรอบงบประมาณ 4,000,000 บาท พบว่า มีทางเลือกโครงการที่ใช้งบประมาณไม่เกิน 4,000,000 บาท จำนวน 2,712 ทางเลือก และจากกลุ่มสายทางที่เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวนั้นมีเพียงแผนงานเดียวที่ให้ผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุดดังตารางที่ ข-15 โดยเมื่อระบุได้ว่าช่วงสายทางแต่ละช่วงได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีใดแล้วจะสามารถทำนายพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางได้จากข้อมูลที่ได้ทำการสร้างไว้ในขั้นตอนการกำหนดค่าองค์ประกอบสำหรับทางเลือกในการซ่อมบำรุง ดังรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ในการวางแผนงานแบบไม่จำกัดงบประมาณสามารถใช้หลักการเดียวกัน ซึ่งมีความแตกต่างกันที่เงื่อนไขของกรอบงบประมาณ โดยในการวิเคราะห์จะต้องทำการกำหนดงบประมาณให้มีจำนวนมากเสมือนงบประมาณมีไม่จำกัด ดังกล่าวไว้ในบทที่ 4

ตารางที่ ข-15 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปีภายใต้งบประมาณ 4,000,000 บาท

รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุง	UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
ปท.3007	ซ่อมบำรุงปกติ	5.59	33,000
ปท.3008	ซ่อมบำรุงปกติ	3.92	33,000
ปท.3011	ฉาบผิวทาง	8.19	323,000
ปท.3019	ซ่อมบำรุงปกติ	5.74	33,000
ปท.3025	ซ่อมบำรุงปกติ	8.21	33,000
ปท.5023	บูรณะผิวทาง	4.32	1,840,000
ปท.5026	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.4003	ซ่อมบำรุงปกติ	4.35	33,000
ปท.3020	ฉาบผิวทาง	10.46	323,000
ปท.3022	ซ่อมบำรุงปกติ	11.88	33,000
รวม		66.98	3,972,000

<u>ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี</u>

ขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปี มีขั้นตอนเหมือนกับการวิเคราะห์แบบปีต่อปี โดยมีรายละเอียดแตกต่างจากการวิเคราะห์แผนงานแบบปีต่อปีในขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกในการบำรุงรักษาผิวทางของโครงข่ายสายทาง ซึ่งต้องทำการวางแผนต่อเนื่องตามจำนวนปีที่วางแผน โดยในงานวิจัยนี้นำเสนอตัวอย่างการวิเคราะห์โครงข่ายสายทางซึ่งมีจำนวน 3

ช่วงสายทาง และวางแผนงานต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี โดยขั้นตอนการกำหนดค่าองค์ประกอบสำหรับทางเลือกในการซ่อมบำรุงมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ ข-16 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3007 เมื่อวางแผนงานแบบต่อเนื่อง 3 ปี

วิธีการซ่อม			อายุใช้งาน												UIRI	งบประมาณ (บาท)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	1	1		2.99	3.50	4.11	4.81	5.64	6.60						5.59	99,000
		2		2.99	3.50	4.11	4.23	4.96	5.81						5.23	389,000
		3		2.99	3.50	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.10	1,346,000
	2	1		2.99	3.50	3.60	4.22	4.95	5.80						5.11	389,000
		2		2.99	3.50	3.60	3.71	4.35	5.09						4.79	679,000
		3		2.99	3.50	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.10	1,644,000
	3	1		2.99	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34			4.14	1,354,000
		2		2.99	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52			3.78	1,644,000
		3		2.99	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.86	2,609,000
2	1	1		2.99	3.07	3.59	4.21	4.93	5.78						4.99	389,000
		2		2.99	3.07	3.59	3.70	4.33	5.07						4.67	679,000
		3		2.99	3.07	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.02	1,644,000
	2	1		2.99	3.07	3.14	3.68	4.32	5.06						4.57	679,000
		2		2.99	3.07	3.14	3.23	3.78	4.43						4.29	969,000
		3		2.99	3.07	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.02	1,934,000
	3	1		2.99	3.07	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34			4.32	1,644,000
		2		2.99	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52			3.78	1,934,000
		3		2.99	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.86	2,899,000
3	1	1		2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34				4.32	1,354,000
		2		2.09	2.45	2.87	2.94	3.45	4.04	4.73	5.54				3.95	1,644,000
		3		2.09	2.45	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.75	2,609,000
	2	1		2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52				3.88	1,644,000
		2		2.09	2.45	2.50	2.55	2.99	3.51	4.11	4.81				3.56	1,934,000
		3		2.09	2.45	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.75	2,899,000
	3	1		2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34			3.96	2,609,000
		2		2.09	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52			3.60	2,899,000
		3		2.09	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.69	3,864,000

ตารางที่ ข-17 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.3019 เมื่อวางแผนงานแบบต่อเนื่อง 3 ปี

วิธีการซ่อม			อายุใช้งาน												UIRI	งบประมาณ (บาท)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	1	1		3.07	3.60	4.22	4.94	5.79	6.78						5.74	99,000
		2		3.07	3.60	4.22	4.35	5.10	5.97						5.37	389,000
		3		3.07	3.60	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.13	1,346,000
	2	1		3.07	3.60	3.70	4.34	5.08	5.96						5.25	389,000
		2		3.07	3.60	3.70	3.81	4.47	5.23						4.92	679,000
		3		3.07	3.60	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.13	1,644,000
	3	1		3.07	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34			4.16	1,354,000
		2		3.07	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52			3.80	1,644,000
		3		3.07	3.60	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.13	2,609,000
2	1	1		3.07	3.15	3.69	4.32	5.07	5.94						5.13	389,000
		2		3.07	3.15	3.69	3.80	4.45	5.22						4.80	679,000
		3		3.07	3.15	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.05	1,644,000
	2	1		3.07	3.15	3.23	3.79	4.44	5.20						4.69	679,000
		2		3.07	3.15	3.23	3.32	3.89	4.56						4.40	969,000
		3		3.07	3.15	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		4.05	1,934,000
	3	1		3.07	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34			4.16	1,644,000
		2		3.07	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52			3.80	1,934,000
		3		3.07	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.87	2,899,000
3	1	1		2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34				4.32	1,354,000
		2		2.09	2.45	2.87	2.94	3.45	4.04	4.73	5.54				3.95	1,644,000
		3		2.09	2.45	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.75	2,609,000
	2	1		2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52				3.88	1,644,000
		2		2.09	2.45	2.50	2.55	2.99	3.50	4.10	4.81				3.56	1,934,000
		3		2.09	2.45	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.75	2,899,000
	3	1		2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34			3.96	2,609,000
		2		2.09	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	4.71	5.52			3.60	2,899,000
		3		2.09	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	5.41	6.34		3.69	3,864,000

ตารางที่ ข-18 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพผิวทางของสายทาง ปท.5026 เมื่อวางแผนงานแบบต่อเนื่อง 3 ปี

วิธีการซ่อม			อายุใช้งาน												UIRI	งบประมาณ (บาท)
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	1	1							6.35	7.44	8.72	10.22	11.97	14.03	11.87	99,000
		2							6.35	7.44	8.72	9.07	10.63	12.45	11.16	NA
		4							6.35	7.44	2.09	2.45	2.87	3.36	5.59	1,906,000
	2	1							6.35	6.59	7.73	9.06	10.62	12.44	10.72	389,000
		2							6.35	6.59	7.73	8.04	9.42	11.03	10.09	NA
		4							6.35	6.59	2.09	2.45	2.87	3.36	5.38	2,196,000
	4	1							6.35	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.60	1,346,000
		2							6.35	2.45	2.45	2.50	2.93	3.43	4.46	1,636,000
		3							6.35	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	4.26	2,593,000
2	1	1							6.35	6.59	7.72	9.05	10.60	12.42	10.71	389,000
		2							6.35	6.59	7.72	8.02	9.40	11.02	10.08	NA
		4							6.35	6.59	2.09	2.45	2.87	3.36	5.38	2,196,000
	2	1							6.35	6.59	6.84	8.01	9.39	11.00	9.87	679,000
		2							6.35	6.59	6.84	7.10	8.32	9.75	9.31	NA
		4							6.35	6.59	2.09	2.45	2.87	3.36	5.38	2,486,000
	4	1							6.35	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.60	1,636,000
		2							6.35	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.37	2,486,000
		3							6.35	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	4.26	3,451,000
3	1	1							2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	4.62	3.91	1,346,000
		2							2.09	2.45	2.87	2.94	3.45	4.04	3.65	1,636,000
		3							2.09	2.45	2.09	2.45	2.87	3.36	3.17	2,593,000
	2	1							2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	4.02	3.56	1,636,000
		2							2.09	2.45	2.50	2.55	2.99	3.50	3.32	1,926,000
		3							2.09	2.45	2.09	2.45	2.87	3.36	3.17	2,883,000
	3	1							2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.94	3.42	2,593,000
		2							2.09	2.09	2.45	2.50	2.93	3.43	3.19	2,883,000
		3							2.09	2.09	2.09	2.45	2.87	3.36	3.08	3,840,000

จากตารางที่ ข-16 ถึง ข-18 สามารถวิเคราะห์แผนงานด้วยวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์แบบปีต่อปี ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังตัวอย่างในตารางที่ ข-19

ตารางที่ ข-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบต่อเนื่อง 3 ปี จำนวน 90 ทางเลือก

ทางเลือกที่	ปท.3007			ปท.3019			ปท.5026			UIRI			∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปท.3007	ปท.3019	ปท.5026		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5.59	5.74	11.87	23.19	297,000
2	1	1	1	1	1	1	1	1	4	5.59	5.74	5.59	16.91	2,104,000
3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	5.59	5.74	10.72	22.05	587,000
4	1	1	1	1	1	1	1	2	4	5.59	5.74	5.38	16.70	2,394,000
5	1	1	1	1	1	1	1	4	1	5.59	5.74	4.60	15.93	2,104,000
6	1	1	1	1	1	1	1	4	2	5.59	5.74	4.46	15.79	2,394,000
7	1	1	1	1	1	1	1	4	3	5.59	5.74	4.26	15.59	3,359,000
8	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5.59	5.74	10.71	22.04	587,000
9	1	1	1	1	1	1	2	1	4	5.59	5.74	5.38	16.70	2,394,000
10	1	1	1	1	1	1	2	2	1	5.59	5.74	9.87	21.20	877,000
11	1	1	1	1	1	1	2	2	4	5.59	5.74	5.38	16.70	2,684,000
12	1	1	1	1	1	1	2	4	1	5.59	5.74	4.60	15.93	2,394,000
13	1	1	1	1	1	1	2	4	2	5.59	5.74	4.37	15.70	2,684,000
14	1	1	1	1	1	1	2	4	3	5.59	5.74	4.26	15.59	3,649,000
15	1	1	1	1	1	1	3	1	1	5.59	5.74	3.91	15.23	1,552,000

ตารางที่ ข-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบต่อเนื่อง 3 ปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	ปท.3007			ปท.3019			ปท.5026			UIRI			∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปท.3007	ปท.3019	ปท.5026		
16	1	1	1	1	1	1	3	1	2	5.59	5.74	3.65	14.97	1,842,000
17	1	1	1	1	1	1	3	1	3	5.59	5.74	3.17	14.49	2,807,000
18	1	1	1	1	1	1	3	2	1	5.59	5.74	3.56	14.88	1,842,000
19	1	1	1	1	1	1	3	2	2	5.59	5.74	3.32	14.65	2,132,000
20	1	1	1	1	1	1	3	2	3	5.59	5.74	3.17	14.49	3,097,000
21	1	1	1	1	1	1	3	3	1	5.59	5.74	3.42	14.75	2,807,000
22	1	1	1	1	1	1	3	3	2	5.59	5.74	3.19	14.52	3,097,000
23	1	1	1	1	1	1	3	3	3	5.59	5.74	3.08	14.41	4,062,000
24	1	1	1	1	1	2	1	1	1	5.59	5.37	11.87	22.83	587,000
25	1	1	1	1	1	2	1	1	4	5.59	5.37	5.59	16.55	2,394,000
26	1	1	1	1	1	2	1	2	1	5.59	5.37	10.72	21.68	877,000
27	1	1	1	1	1	2	1	2	4	5.59	5.37	5.38	16.34	2,684,000
28	1	1	1	1	1	2	1	4	1	5.59	5.37	4.60	15.56	2,394,000
29	1	1	1	1	1	2	1	4	2	5.59	5.37	4.46	15.42	2,684,000
30	1	1	1	1	1	2	1	4	3	5.59	5.37	4.26	15.22	3,649,000

ตารางที่ ข-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบต่อเนื่อง 3 ปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	ปท.3007			ปท.3019			ปท.5026			UIRI			∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปท.3007	ปท.3019	ปท.5026		
31	1	1	1	1	1	2	2	1	1	5.59	5.37	10.71	21.67	877,000
32	1	1	1	1	1	2	2	1	4	5.59	5.37	5.38	16.34	2,684,000
33	1	1	1	1	1	2	2	2	1	5.59	5.37	9.87	20.83	1,167,000
34	1	1	1	1	1	2	2	2	4	5.59	5.37	5.38	16.34	2,974,000
35	1	1	1	1	1	2	2	4	1	5.59	5.37	4.60	15.56	2,684,000
36	1	1	1	1	1	2	2	4	2	5.59	5.37	4.37	15.33	2,974,000
37	1	1	1	1	1	2	2	4	3	5.59	5.37	4.26	15.22	3,939,000
38	1	1	1	1	1	2	3	1	1	5.59	5.37	3.91	14.87	1,842,000
39	1	1	1	1	1	2	3	1	2	5.59	5.37	3.65	14.61	2,132,000
40	1	1	1	1	1	2	3	1	3	5.59	5.37	3.17	14.13	3,097,000
41	1	1	1	1	1	2	3	2	1	5.59	5.37	3.56	14.52	2,132,000
42	1	1	1	1	1	2	3	2	2	5.59	5.37	3.32	14.28	2,422,000
43	1	1	1	1	1	2	3	2	3	5.59	5.37	3.17	14.13	3,387,000
44	1	1	1	1	1	2	3	3	1	5.59	5.37	3.42	14.38	3,097,000
45	1	1	1	1	1	2	3	3	2	5.59	5.37	3.19	14.15	3,387,000

ตารางที่ ข-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบต่อเนื่อง 3 ปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	ปท.3007			ปท.3019			ปท.5026			UIRI			∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปท.3007	ปท.3019	ปท.5026		
46	1	1	1	1	1	2	3	3	3	5.59	5.37	3.08	14.04	4,352,000
47	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5.59	4.13	11.87	21.58	1,552,000
48	1	1	1	1	1	3	1	1	4	5.59	4.13	5.59	15.30	3,359,000
49	1	1	1	1	1	3	1	2	1	5.59	4.13	10.72	20.44	1,842,000
50	1	1	1	1	1	3	1	2	4	5.59	4.13	5.38	15.09	3,649,000
51	1	1	1	1	1	3	1	4	1	5.59	4.13	4.60	14.32	3,359,000
52	1	1	1	1	1	3	1	4	2	5.59	4.13	4.46	14.18	3,649,000
53	1	1	1	1	1	3	1	4	3	5.59	4.13	4.26	13.98	4,614,000
54	1	1	1	1	1	3	2	1	1	5.59	4.13	10.71	20.42	1,842,000
55	1	1	1	1	1	3	2	1	4	5.59	4.13	5.38	15.09	3,649,000
56	1	1	1	1	1	3	2	2	1	5.59	4.13	9.87	19.59	2,132,000
57	1	1	1	1	1	3	2	2	4	5.59	4.13	5.38	15.09	3,939,000
58	1	1	1	1	1	3	2	4	1	5.59	4.13	4.60	14.32	3,649,000
59	1	1	1	1	1	3	2	4	2	5.59	4.13	4.37	14.09	3,939,000
60	1	1	1	1	1	3	2	4	3	5.59	4.13	4.26	13.98	4,904,000

ตารางที่ ข-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบต่อเนื่อง 3 ปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	ปท.3007			ปท.3019			ปท.5026			UIRI			∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปท.3007	ปท.3019	ปท.5026		
61	1	1	1	1	1	3	3	1	1	5.59	4.13	3.91	13.62	2,807,000
62	1	1	1	1	1	3	3	1	2	5.59	4.13	3.65	13.36	3,097,000
63	1	1	1	1	1	3	3	1	3	5.59	4.13	3.17	12.88	4,062,000
64	1	1	1	1	1	3	3	2	1	5.59	4.13	3.56	13.27	3,097,000
65	1	1	1	1	1	3	3	2	2	5.59	4.13	3.32	13.04	3,387,000
66	1	1	1	1	1	3	3	2	3	5.59	4.13	3.17	12.88	4,352,000
67	1	1	1	1	1	3	3	3	1	5.59	4.13	3.42	13.13	4,062,000
68	1	1	1	1	1	3	3	3	2	5.59	4.13	3.19	12.90	4,352,000
69	1	1	1	1	1	3	3	3	3	5.59	4.13	3.08	12.79	5,317,000
70	1	1	1	1	2	1	1	1	1	5.59	5.25	11.87	22.71	587,000
71	1	1	1	1	2	1	1	1	4	5.59	5.25	5.59	16.43	2,394,000
72	1	1	1	1	2	1	1	2	1	5.59	5.25	10.72	21.56	877,000
73	1	1	1	1	2	1	1	2	4	5.59	5.25	5.38	16.21	2,684,000
74	1	1	1	1	2	1	1	4	1	5.59	5.25	4.60	15.44	2,394,000
75	1	1	1	1	2	1	1	4	2	5.59	5.25	4.46	15.30	2,684,000

ตารางที่ ข-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์แผนงานโครงข่ายสายทางแบบต่อเนื่อง 3 ปี จำนวน 90 ทางเลือก (ต่อ)

ทางเลือกที่	ปท.3007			ปท.3019			ปท.5026			UIRI			∑UIRI	ค่าใช้จ่าย (บาท)
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปท.3007	ปท.3019	ปท.5026		
76	1	1	1	1	2	1	1	4	3	5.59	5.25	4.26	15.10	3,649,000
77	1	1	1	1	2	1	2	1	1	5.59	5.25	10.71	21.55	877,000
78	1	1	1	1	2	1	2	1	4	5.59	5.25	5.38	16.21	2,684,000
79	1	1	1	1	2	1	2	2	1	5.59	5.25	9.87	20.71	1,167,000
80	1	1	1	1	2	1	2	2	4	5.59	5.25	5.38	16.21	2,974,000
81	1	1	1	1	2	1	2	4	1	5.59	5.25	4.60	15.44	2,684,000
82	1	1	1	1	2	1	2	4	2	5.59	5.25	4.37	15.21	2,974,000
83	1	1	1	1	2	1	2	4	3	5.59	5.25	4.26	15.10	3,939,000
84	1	1	1	1	2	1	3	1	1	5.59	5.25	3.91	14.75	1,842,000
85	1	1	1	1	2	1	3	1	2	5.59	5.25	3.65	14.48	2,132,000
86	1	1	1	1	2	1	3	1	3	5.59	5.25	3.17	14.01	3,097,000
87	1	1	1	1	2	1	3	2	1	5.59	5.25	3.56	14.40	2,132,000
88	1	1	1	1	2	1	3	2	2	5.59	5.25	3.32	14.16	2,422,000
89	1	1	1	1	2	1	3	2	3	5.59	5.25	3.17	14.01	3,387,000
90	1	1	1	1	2	1	3	3	1	5.59	5.25	3.42	14.26	3,097,000

จากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง เป็นการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้กรอบงบประมาณที่กำหนด โดยเมื่อกำหนดกรอบงบประมาณ 4,000,000 บาท พบว่า จากกลุ่มสายทางที่เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวนั้นมีเพียงแผนงานเดียวที่ให้ผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุดดังตารางที่ ข-20 โดยเมื่อระบุได้ว่าช่วงสายทางแต่ละช่วงได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีใดแล้วจะสามารถทำนายพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางได้จากข้อมูลที่ได้ทำการสร้างไว้ในขั้นตอนการกำหนดค่าองค์ประกอบสำหรับทางเลือกในการซ่อมบำรุง ดังรูปที่ 4.4 นอกจากนี้ในการวางแผนงานแบบไม่จำกัดงบประมาณสามารถใช้หลักการเดียวกัน ซึ่งมีความแตกต่างกันที่เงื่อนไขของกรอบงบประมาณ โดยในการวิเคราะห์จะต้องทำการกำหนดงบประมาณให้มีจำนวนมากเสมือนงบประมาณมีไม่จำกัด

ตารางที่ ข-20 ผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อเนื่อง 3 ปี ภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท

รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุงที่ปีต่างๆ			UIRI	งบประมาณ
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	(ม./กม.)	(บาท)
ปท.3007	ฉาบผิวทาง	ฉาบผิวทาง	บำรุงปกติ	4.57	679,000
ปท.3019	บำรุงปกติ	เสริมผิวทาง	ฉาบผิวทาง	3.80	1,644,000
ปท.5026	เสริมผิวทาง	ฉาบผิวทาง	บำรุงปกติ	3.56	1,644,000
รวม				11.93	3,967,000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการใช้แผ่นคำนวณ (Spread Sheet) ช่วยในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางซึ่งต้องวิเคราะห์ข้อมูลสายทางในโครงข่ายจำนวนมาก มีความซับซ้อน และต้องอาศัยเวลาในการคำนวณมาก ดังนั้นการนำแผ่นคำนวณ (กิตติ, 2546) มาช่วยในการคำนวณจะลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ในแผนงานได้ นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณยังมีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้

ในส่วนนี้กล่าวถึงตัวอย่างวิธีการนำแผ่นคำนวณใช้เพื่อช่วยในการคำนวณ ซึ่งอ้างอิงข้อมูลช่วงสายทางจากภาคผนวก ข โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเตรียมข้อมูลสำหรับการคำนวณ

การเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้าสู่การคำนวณแผนงาน เป็นการกำหนดค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีภายหลังสายทางได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีการ ดังตารางที่ ข-2 ถึง ข-11 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีของตัวอย่างโครงข่ายสายทาง

รหัสสายทาง	วิธีการซ่อม	UIRI (ม./กม.)	รหัสสายทาง	วิธีการซ่อม	UIRI (ม./กม.)
ปท.3007	1	5.59	ปท.5023	1	13.99
	2	4.99		2	3.09
	3	4.32	ปท.5026	1	12.99
ปท.3008	1	3.92		2	3.09
	2	3.48	ปท.4003	1	4.35
	3	4.32		2	3.89
ปท.3011	1	8.99		3	4.32
	2	8.19	ปท.3020	1	11.63
	3	4.32		2	10.46
ปท.3019	1	5.74		3	4.32
	2	5.13	ปท.3022	1	11.88
	3	4.32		2	3.69
ปท.3025	1	8.21			
	2	7.55			
	3	4.32			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การสร้างสมการวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการคำนวณ

เมื่อเตรียมข้อมูลสำหรับนำเข้าสู่การคำนวณแล้ว ต้องทำการสร้างสมการสำหรับใช้ในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่กำหนด โดยสมการที่นำมาใช้อ้างอิงจากสมการที่ 3.7

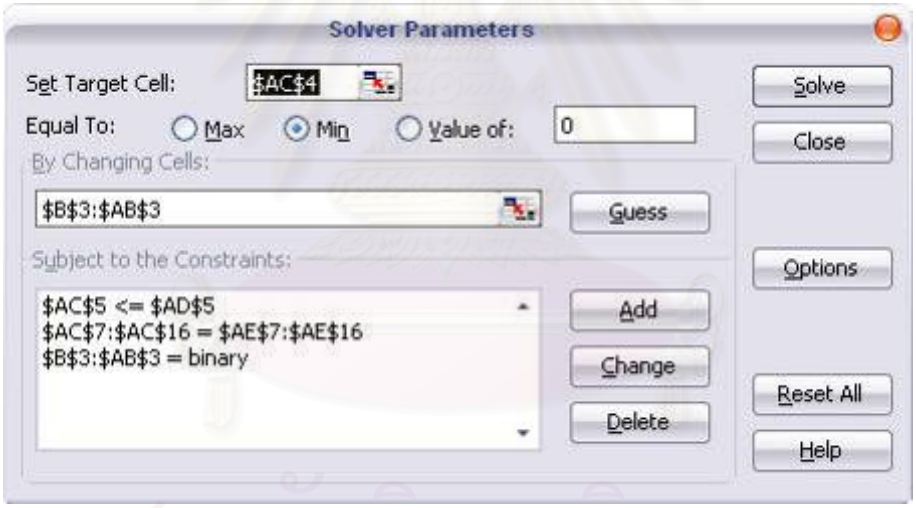
$$\text{Objective:} \quad \text{Min} \sum_{t\in T_i}\sum_{i\in I_p}\sum_{p\in P} \text{UIRI}_{ipt}\, x_{ipt}$$

$$\text{Subject to:} \quad \sum_{t\in T_i}\sum_{i\in I_p}\sum_{p\in P} c_{pt}\, x_{ipt} \leqslant B$$

$$\sum_{t\in T_p}\sum_{p\in P} \delta_{ipt}\, x_{ipt} = 1 \quad \forall i \in I, \forall t \in T \qquad (3.7)$$

$$x_{ipt} \in \{0,1\}$$

การใช้แผ่นคำนวณของโปรแกรม MS-EXCEL มาช่วยในการวิเคราะห์แผนงานนั้น จะนำคำสั่ง Solver มาใช้ซึ่งต้องมีการการสร้างพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการวิเคราะห์แผนงานดังตัวอย่างรูปที่ ค-1 และ ค-2



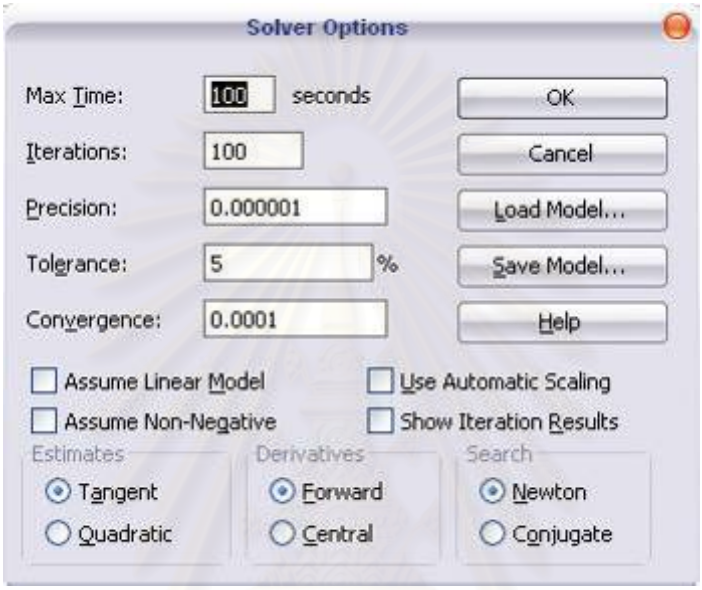
รูปที่ ค-1 ตัวอย่างการสร้างค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ใน Solver

โดยเซลล์อ้างอิงที่กำหนดโดย Set Target Cell และ Equal To จะเป็นการกำหนดสมการวัตถุประสงค์การวิเคราะห์ คือ หาผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีน้อยที่สุด

ในส่วนของ Subject to the Constraints เป็นการกำหนดเงื่อนไข โดยบรรทัดแรกเป็นกำหนดว่าผลรวมของงบประมาณที่คำนวณได้ต้องไม่เกินงบประมาณที่กำหนด บรรทัดที่สอง เป็นการกำหนดว่าในแต่ละช่วงสายทางจะสามารถเลือกวิธีการซ่อมบำรุงได้เพียงวิธีเดียว บรรทัด

สุดท้าย เป็นการกำหนดให้วิธีการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงเป็นฟังก์ชั่นแบบทวิภาค (Binary) ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 3.7

นอกจากนี้ควรมีการกำหนดตัวเลือกในการวิเคราะห์ต่างๆ ดังรูปที่ ค-2 เช่น การกำหนดเวลาที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละครั้ง จำนวนครั้งที่จะวนซ้ำในการคำนวณ และความแม่นยำของคำตอบที่ต้องการ เป็นต้น



รูปที่ ค-2 การตั้งค่าตัวเลือกของการวิเคราะห์ด้วย Solver

3. การวิเคราะห์แผนงานและผลลัพธ์ที่ได้จาก Solver

ตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ค นี้ เป็นการวิเคราะห์แผนงานกรณีที่มีงบประมาณจำกัด 4,000,000 บาท ซึ่งการเตรียมข้อมูลในแผ่นคำนวณดังแสดงรูปที่ ค-3

หลังจากที่เตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แผนงานครบถ้วน จึงทำการคำนวณโดยใช้คำสั่ง Solve เพื่อแก้สมการดังที่กำหนดไว้ในรูป ค-1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ ค-4 โดยวิธีการซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทางที่วิเคราะห์ได้แสดงดังเซลล์ที่แสดงค่าเท่ากับ 1 และเทสีไว้ในแถวที่ 3 ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการคำนวณที่กำหนดวิธีการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงให้เป็นฟังก์ชั่นแบบทวิภาค จากผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังตารางที่ ค-2

รูปที่ ค-3 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลในแผ่นคำนวณ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1		ปท3007			ปท3008			ปท3011			ปท3019			ปท3025			ปท5023		ปท5026		ปท4003			ปท3020			ปท3022				
2	Treatment	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	4	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3			
3	Decision	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	URI	5.59	4.99	4.32	3.92	3.48	4.32	8.99	8.19	3.09	5.74	5.10	4.32	8.21	7.55	4.32	13.99	4.32	12.99	4.32	4.35	3.89	4.32	11.63	10.46	4.32	11.88	4.32	0.00		
5	Cost	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	1,840,000	33,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	1,288,000	0	*4,000,000*	
6																															
7	ปท3007	1	1	1																									0	=	1
8	ปท3008				1	1	1																						0	=	1
9	ปท3011							1	1	1																			0	=	1
10	ปท3019										1	1	1																0	=	1
11	ปท3025													1	1	1													0	=	1
12	ปท5023																1	1											0	=	1
13	ปท5026																		1	1									0	=	1
14	ปท4003																				1	1	1						0	=	1
15	ปท3020																							1	1	1			0	=	1
16	ปท3022																										1	1	0	=	1

รูปที่ ค-4 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Solver

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1		ปท3007			ปท3008			ปท3011			ปท3019			ปท3025			ปท5023		ปท5026		ปท4003			ปท3020			ปท3022				
2	Treatment	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	4	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3			
3	Decision	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0			
4	URI	5.59	4.99	4.32	3.92	3.48	4.32	8.99	8.19	3.09	5.74	5.10	4.32	8.21	7.55	4.32	13.99	4.32	12.99	4.32	4.35	3.89	4.32	11.63	10.46	4.32	11.88	4.32	66.98		
5	Cost	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	1,840,000	33,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	323,000	1,288,000	33,000	1,288,000	3,972,000	*4,000,000*	
6																															
7	ปท3007	1	1	1																									1	=	1
8	ปท3008				1	1	1																						1	=	1
9	ปท3011							1	1	1																			1	=	1
10	ปท3019										1	1	1																1	=	1
11	ปท3025													1	1	1													1	=	1
12	ปท5023																1	1											1	=	1
13	ปท5026																		1	1									1	=	1
14	ปท4003																				1	1	1						1	=	1
15	ปท3020																							1	1	1			1	=	1
16	ปท3022																										1	1	1	=	1

ตารางที่ ค-2 ตัวอย่างสรุปผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทางแบบปีต่อปีภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 4,000,000 บาท ด้วย Solver

รหัสสายทาง	กิจกรรมซ่อมบำรุง		UIRI (ม./กม.)	งบประมาณ (บาท)
ปท.3007	1	ซ่อมบำรุงปกติ	5.59	33,000
ปท.3008	1	ซ่อมบำรุงปกติ	3.92	33,000
ปท.3011	2	ฉาบผิวทาง	8.19	323,000
ปท.3019	1	ซ่อมบำรุงปกติ	5.74	33,000
ปท.3025	1	ซ่อมบำรุงปกติ	8.21	33,000
ปท.5023	4	บูรณะผิวทาง	4.32	1,840,000
ปท.5026	3	เสริมผิวทาง	4.32	1,288,000
ปท.4003	1	ซ่อมบำรุงปกติ	4.35	33,000
ปท.3020	2	ฉาบผิวทาง	10.46	323,000
ปท.3022	1	ซ่อมบำรุงปกติ	11.88	33,000
รวม			66.98	3,972,000

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Solver พบว่า แผนงานที่ได้นั้นเหมือนกับแผนงานบำรุงทางซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยตรง แต่ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่ามาก แต่ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงานนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่นำเข้าสู่การวิเคราะห์หรือจำนวนช่วงสายทางของโครงข่าย และคุณสมบัติของเครื่องคำนวณที่นำมาใช้ นอกจากนี้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาทางกับโครงข่ายสายทางขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีระบบฐานข้อมูลที่ดี และการเชื่อมโยงข้อมูลกับโปรแกรมการวิเคราะห์แผนงานนั้นต้องคำนึงถึงการไหลของข้อมูล (Data Flow) ที่สั้นที่สุด เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวัชรคม โภคารัตนานันท์ เกิดเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ.2524 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2547 ระหว่างการศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอนและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย