

การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ  
โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ



นาย วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6004-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A DETERIORATION MODEL FOR FLEXIBLE PAVEMENT IN LOW TRAFFIC VOLUME ROADS  
USING MARKOV CHAINS



Mr.Weerachai Wongweeranimit

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 2004

ISBN 974-17-6004-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนน ที่มีปริมาณการจราจรต่ำโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ
โดย	นายวีระชัย วงษ์วีระนิมิตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ช่อวิเชียร)

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

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

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

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์)

วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร : การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ. (DEVELOPMENT OF A DETERIORATION MODEL FOR FLEXIBLE PAVEMENT IN LOW TRAFFIC VOLUME ROADS USING MARKOV CHAINS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล, 159 หน้า. ISBN 974-17-6004-3.

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่า 2,000 คันต่อวัน โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ โดยใช้ข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทางจากสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางที่พัฒนาขึ้นมาเป็นการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งจัดกลุ่มแบบจำลองตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางที่ได้จากการวิเคราะห์เบื้องต้น ได้แก่ สถานที่ตั้งของสายทาง ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจร ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ โดยสามารถจัดกลุ่มแบบจำลองได้ทั้งหมด 10 กลุ่มรวมทั้งหมด 36 แบบจำลองที่แตกต่างกันออกไป แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาสรุปได้ว่าในสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีสูง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีสูง หรือมีความชันของภูมิประเทศสูง ส่งผลให้ค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางนั้นสูงขึ้นตามไปด้วย และในสายทางที่เป็นผิวทางลาดยางชนิดเซอร์เฟสทรีตเมนต์ค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางจะสูงกว่าในสายทางที่เป็นผิวทางชนิดพีนิเตอร์ชั้นแมคคาดีม และผิวทางชนิดแอสฟัลท์คอนกรีต ตามลำดับ โดยสายทางที่ตั้งอยู่ทางภาคเหนือมีค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางสูงกว่าสายทางที่ตั้งอยู่ทางภาคอื่นๆ เนื่องจากสายทางที่ตั้งอยู่ทางภาคเหนือส่วนใหญ่เป็นผิวทางชนิดเซอร์เฟสทรีตเมนต์และมีความชันของภูมิประเทศสูง จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเสื่อมสภาพของผิวทางสูงกว่าในภาคอื่นๆ ผลการพยากรณ์ค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทางในขั้นตอนการจัดลำดับความสำคัญของสายทางที่จำเป็นต้องได้รับการซ่อมบำรุงรักษา และขั้นตอนการวางแผนระยะเวลาในงานซ่อมบำรุงรักษาทาง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

# # 4570552121 : MAJOR CONSTRUCTION MANAGEMENT

KEY WORD : MARKOV CHAIN / INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX / PREDICT

WEERACHAI WONGWEERANIMIT : DEVELOPMENT OF A DETERIORATION MODEL FOR FLEXIBLE PAVEMENT IN LOW TRAFFIC VOLUME ROADS USING MARKOV CHAINS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. WISANU SUBSOMPON, Ph.D., 159 pp. ISBN 974-17-6004-3.

The objective of this thesis is to develop the deterioration model for low traffic volume roads with average annual daily traffic less than 2,000 cars per day, using Markov Chain Method. The International Roughness Index (IRI) is used to represent pavement damage. The data is obtained from the Department of Highways.

The developed deterioration models of flexible pavement are a prediction of the International Roughness Index at many periods. These models are grouped by the factors that impact the pavement damage which resulted from the preliminary analysis. Such factors are the location of the road, the payment type, the traffic volume, rainfall and percent gradient. All the 36 different models can be divided in to 10 groups. It can be concluded from the developed models that in the road with high average annual daily traffic, the high average of rainfall or even high percent gradient will lead to high pavement deterioration. The pavement deterioration would be higher in the surface treatment than the penetration macadam and the asphalt concrete respectively. The deterioration rates of roads in northern Thailand are higher than the roads in the other parts of Thailand. This is because most of the northern roads are the surface treatment pavement with high gradient. The deterioration model can be applied for the pavement maintenance management system in order to prioritizing the need for maintenance of the roads network and also planning for budget allocation.

Department Civil Engineering

Student's signature.....

Field of study Civil Engineering

Advisor's signature.....

Academic year 2004

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ทรัพย์สมพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านกรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยมาด้วยดีตลอด พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีต่อผู้วิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อเจ้าหน้าที่กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

อนึ่งผู้วิจัยมีความสำนึก ในพระคุณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่เคยสั่งสอนวิทยาการต่างๆ ให้กับผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาวทั้งสอง น้องชายของผู้วิจัย และนางสาวกณิชนันต์ ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา ตลอดการทำวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมของทาง.....	8
2.1.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบกับการเสื่อมสภาพของทาง.....	9
2.1.2 ดัชนีวัดพฤติกรรมของทาง.....	10
2.2 การสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของทาง.....	13
2.2.1 The Asphalt Institute.....	14
2.2.2 Transport and Road Research Laboratory.....	15
2.2.3 กรมทางหลวง.....	16
2.2.4 กรมทางหลวงชนบท.....	18
2.3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง.....	19
2.4 สรุป.....	28
บทที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	30
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
3.2 การคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล.....	36

3.3 สรุป.....	38
บทที่ 4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์.....	41
4.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	41
4.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	44
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับการเสื่อมสภาพของผิวทาง.....	47
4.4 สรุป.....	51
บทที่ 5 การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง.....	52
5.1 แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ.....	52
5.1.1 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง.....	53
5.1.2 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ.....	56
5.2 การทดสอบปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง.....	62
5.3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง.....	67
5.4 สรุป.....	72
บทที่ 6 การทดสอบและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง.....	73
6.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง.....	73
6.1.1 แบบจำลองโดยวิธีวิเคราะห์ความถดถอย.....	73
6.1.2 การเปรียบเทียบแบบจำลอง.....	74
6.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อการบริหารบำรุงทาง.....	78
6.2.1 การจัดลำดับความสำคัญของโครงการ.....	78
6.2.2 การวางแผนงานซ่อมบำรุงทาง.....	79
6.3 สรุป.....	81
บทที่ 7.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	83
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	83
7.2 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	87



	หน้า
ภาคผนวก.....	90
ภาคผนวก ก. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	91
ภาคผนวก ข. ตารางประกอบ.....	103
ภาคผนวก ค. รูปประกอบ.....	144
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	159



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 งบประมาณที่ได้รับกับงบประมาณการซ่อมบำรุงรักษาทางในแต่ละปี.....	2
3.1 ช่วงเวลาและระยะทางสำรวจค่าดัชนีความเรียบสากลของกรมทางหลวงในแต่ละปี.....	31
3.2 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีตามมาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวง.....	34
3.3 สภาพลักษณะของข้อมูลเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก.....	35
3.4 สภาพลักษณะของข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี.....	35
3.5 สภาพลักษณะของข้อมูลความชันของภูมิประเทศ.....	36
3.6 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีของทุกสายทางหลวงปี พ.ศ.2540 – 2545.....	37
3.7 ตัวอย่างการคัดเลือกค่าดัชนีความเรียบสากล.....	37
3.8 สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล.....	39
4.1 สมมติฐานของข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01.....	45
4.2 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติโดยใช้สถิติทดสอบ.....	45
4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\Delta IRI$ กับ $\Delta AGE$ .....	47
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและลักษณะกราฟของสมการต่างๆ.....	48
4.5 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่า การเปลี่ยนแปลงอายุของทาง ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05.....	49
5.1 ลักษณะสภาพผิวทางของค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดโดยกรมทางหลวง.....	57
5.2 สถานะสภาพของผิวทางที่ค่าดัชนีความเรียบสากลต่างๆ.....	57
5.3 สมการแปลงค่าสถานะสภาพของผิวทางเป็นค่าดัชนีความเรียบสากล.....	60
5.4 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของ สายทางทั่วประเทศ.....	60
5.5 ค่าเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง สถานะสภาพของผิวทาง และค่าดัชนีความเรียบ สากลที่ระยะเวลาต่างๆ ของสายทางทั่วประเทศ.....	61
6.1 ตัวอย่างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย.....	74
6.2 ตัวอย่างการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟกับค่าดัชนีความเรียบ สากลในปี พ.ศ.2545.....	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

ตาราง

หน้า

6.3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยกับค่าดัชนี ความเรียบสากลในปี พ.ศ.2545.....	76
6.4 สรุปการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟและแบบจำลองโดยวิธีการ วิเคราะห์ความถดถอยกับค่าดัชนีความเรียบสากลจริงในปี พ.ศ.2545.....	77
6.5 ค่าเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง สถานะสภาพของผิวทาง และค่าดัชนีความ เรียบสากลของสายทางพระปรอง – บ้านแก้ง.....	79
6.6 ระดับของค่าดัชนีความเรียบสากล ณ จุดที่ต้องซ่อมแซมแบ่งตามประเภทของทางต่างๆ มาตรฐานกรมทางหลวง.....	80
6.7 ค่าเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง สถานะสภาพของผิวทาง และค่าดัชนีความ เรียบสากลของสายทางเข้าเมืองดอนชัย.....	81



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 ขั้นตอนการศึกษา.....	7
2.1 พฤติกรรมของทางและค่าใช้จ่ายเมื่อระยะเวลาต่างๆ.....	9
2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของทาง.....	10
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับสภาพทาง.....	11
2.4 อุปกรณ์วัดค่าดัชนีความเรียบสากล.....	12
2.5 ขั้นตอนบริหารงานซ่อมบำรุงทาง.....	20
4.1 การกระจายของข้อมูล 4 ชุดที่มีค่ากลางและการกระจายเหมือนกันแต่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน.....	42
4.2 แผนภาพการกระจายของข้อมูลที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวกและลบ.....	43
4.3 ระดับความสัมพันธ์สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	43
4.4 แผนภาพการกระจายของข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล.....	46
4.5 แผนภาพการกระจายของข้อมูลอายุของทาง.....	46
4.6 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่เวลาต่างๆ แบ่งตามปริมาณการจราจร.....	50
5.1 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ.....	54
5.2 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ.....	55
5.3 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะสภาพของค่าดัชนีความเรียบสากล.....	58
5.4 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล จำนวน 931 สายทาง.....	58
5.5 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล ที่คัดเลือกข้อมูลออก.....	59
5.6 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล.....	59
5.7 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ ของสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ทั่วประเทศ.....	61
5.8 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามสถานที่ตั้ง (ภาค).....	63
5.9 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามชนิดผิวทาง.....	63
5.10 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามปริมาณการจราจร.....	64
5.11 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก.....	65
5.12 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี.....	65
5.13 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามความชันของภูมิประเทศ.....	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ฎ

ภาพประกอบ	หน้า
5.14 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและปริมาณจราจร.....	68
5.15 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและปริมาณน้ำฝน.....	68
5.16 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและความชื้นของภูมิภาค.....	69
5.17 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจรและปริมาณน้ำฝน.....	69
5.18 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจรและความชื้นของภูมิภาค.....	69
5.19 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณน้ำฝนและความชื้นของภูมิภาค.....	70
5.20 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางปริมาณจราจร และปริมาณน้ำฝน.....	70
5.21 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางชนิดด้านผิวทางปริมาณจราจร และความชื้นของภูมิภาค.....	70
5.22 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางปริมาณน้ำฝน และความชื้นของภูมิภาค.....	71
5.23 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจรปริมาณน้ำฝน และความชื้นของภูมิภาค.....	71

# บทที่ 1

## บทนำ

ทางหลวงเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม การปกครอง ความมั่นคง และการป้องกันประเทศ ประเทศไทยจึงมีการก่อสร้างทางหลวงเชื่อมโยงให้เป็นโครงข่ายเพื่อสะดวกในการคมนาคมและขนส่ง ทางหลวงในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 6 ประเภท ตามพระราชบัญญัติทางหลวงปี พ.ศ.2535 ได้แก่ ทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดิน ทางหลวงชนบท ทางหลวงเทศบาล ทางหลวงสุขาภิบาล และทางหลวงสัมปทาน โดยมีหลายหน่วยงานรับผิดชอบในงานทางหลวง เช่น กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท การทางพิเศษแห่งประเทศไทย องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น เป็นต้น

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทางหลวงในประเทศไทยปัจจุบันที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท มีความยาวประมาณ 100,000 กิโลเมตร ร้อยละ 86 เป็นทางหลวงชนิดผิวทางลาดยาง (กรมทางหลวง, 2545) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นทางหลวงที่มีอายุการใช้งานมานานมากกว่า 10 ปีขึ้นไป ทำให้ผิวทางจราจรมีการเสื่อมสภาพและเป็นการเสื่อมสภาพที่เกิดสะสมอย่างต่อเนื่อง โดยมีสาเหตุสำคัญหลายประการ เช่น อายุของทางหลวง ปริมาณการจราจรที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะรถบรรทุก สภาพภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาที่มีความลาดชันสูง สภาพภูมิอากาศที่ปรับเปลี่ยนไปตามฤดูกาลโดยเฉพาะฤดูฝน ซึ่งน้ำฝนจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โครงสร้างของชั้นทางเสื่อมสภาพได้ เป็นต้น

การเสื่อมสภาพของทางหลวงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่หน่วยงานรับผิดชอบในงานทางหลวงให้ความสนใจเนื่องจากการซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงจะต้องอ้างอิงจากค่าเสื่อมสภาพของทางหลวง นอกจากนี้อัตราการเสื่อมสภาพของทางหลวงยังสะท้อนถึงคุณภาพการก่อสร้างระดับการให้บริการ และความแปรปรวนของสภาพอากาศ ประกอบกับการมีงบประมาณการซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงที่จำกัดในแต่ละปี ดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการซ่อมบำรุงรักษาให้ครอบคลุมกับปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นทางหลวงที่ไม่ได้รับการซ่อมบำรุงเพียงพออาจเกิดความเสียหายลุกลามมากขึ้นจนเกินกว่าที่จะซ่อมแซมได้ ถึงขั้นที่จะต้องทำการบูรณะก่อสร้างใหม่ในบางสายทางจึงเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณ ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาระบบการบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงขึ้นมา

ตารางที่ 1.1 งบประมาณที่ได้รับกับงบประมาณการซ่อมบำรุงรักษาทางในแต่ละปี

ปีงบประมาณ	งบประมาณที่ได้รับ (ล้านบาท)	งบประมาณบำรุงรักษาทาง (ล้านบาท)	เปอร์เซ็นต์
2541	63,288.5	9,113.5	14.40
2542	49,204.2	10,062.2	20.45
2543	44,254.3	9,797.5	22.14
2544	41,009.7	11,556.0	28.18
2545	30,480.3	9,155.4	30.04

ที่มา: รายงานประจำปี 2541-2545 กรมทางหลวง

ปัจจุบันกรมทางหลวงใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี ลักษณะความเสียหาย ปริมาณความเสียหาย ค่าดัชนีความเรียบสากล และความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นเกณฑ์ในการพิจารณางานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของระบบการบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง แต่เนื่องจากกรมทางหลวงมีความยาวทางหลวงที่ต้องรับผิดชอบกว่า 64,095 กิโลเมตร (กรมทางหลวง, 2545) เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลที่ใช้พิจารณางานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงมีไม่ครบถ้วน โดยเฉพาะข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล ที่ได้จากการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหาย ซึ่งขั้นตอนการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของทางหลวง ได้แบ่งหน่วยงานสำรวจและเก็บรวบรวม ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. ส่วนภูมิภาค คือ หมวดการทางจังหวัด ทำการสำรวจและประเมินสภาพและปริมาณความเสียหาย โดยใช้วิธีสำรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) แล้วรายงานผลการสำรวจแยกเป็นประเภทและปริมาณความเสียหายให้กับกองบำรุงกรมทางหลวง ทุกปี
2. ส่วนกลาง คือ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพความเรียบของทางหลวง โดยใช้เครื่องมือ Bump Integrator ที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์ ข้อมูลที่ได้แสดงค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) ปัจจุบันมีรถยนต์ที่ใช้สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพความเรียบของทางหลวงอยู่เพียง 4 คัน โดยต้องสำรวจและ

เก็บรวบรวมทั่วประเทศ ทำให้บางสายทางในบางปีอาจจะไม่มีข้อมูลค่าดัชนี  
ความเรียบสากล

ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง ทั้งของกรมทางหลวงและกรมทางหลวง  
ชนบท ได้มีการสำรวจสภาพความเสียหาย ปริมาณความเสียหาย และปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อ  
วันตลอดปี ของทางหลวงในเขตพื้นที่ของตัวเองทุกปี แล้วรายงานข้อมูลมายังที่ส่วนกลางเพื่อใช้  
พิจารณางานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง เนื่องจากมีงบประมาณการซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงที่  
จำกัด ส่วนกลางจึงทำการจัดลำดับความสำคัญของทางหลวงที่จำเป็นต้องได้รับการซ่อม  
บำรุงรักษา โดยทางหลวงที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นทาง  
หลวงในชนบท ทางหลวงแผ่นดินสายรองประธานที่เชื่อมระหว่างจังหวัดกับอำเภอ เป็นต้น ทาง  
หลวงเหล่านี้ไม่ค่อยได้รับการซ่อมบำรุงรักษาเมื่อถึงสภาพที่ต้องได้รับการบำรุงรักษา เพราะลำดับ  
ความสำคัญของทางหลวงที่จำเป็นต้องได้รับการซ่อมบำรุงรักษาอยู่ท้ายๆ จึงไม่ได้รับความสนใจ  
ยกเว้นแต่ว่ามีสภาพความเสียหายและปริมาณความเสียหายของทางหลวงมาก ด้วยสาเหตุนี้ทำ  
ให้ทางหลวงที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีต่ำส่วนใหญ่มีสภาพความเสียหายเพิ่มขึ้นทุก  
ปี ความเสียหายอาจจะลุกลามมากขึ้นจนเกินกว่าที่จะซ่อมบำรุงรักษาได้ ถึงขั้นที่จะต้องทำการ  
บูรณะก่อสร้างใหม่ในบางสายทาง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ส่วนขั้นตอน  
การจัดสรรงบประมาณในการซ่อมบำรุงทางให้แต่ละพื้นที่จะพิจารณาจากข้อมูลสภาพและ  
ปริมาณความเสียหายของทางที่สำรวจและประเมินสภาพทางทุกๆปีเป็นหลัก ดังนั้นระบบวาง  
แผนการจัดสรรงบประมาณที่ได้รับในแต่ละพื้นที่จะเป็นปีต่อปี ขึ้นกับข้อมูลสภาพและปริมาณ  
ความเสียหายของทางหลวงในปีนั้นๆ ไป ทำให้ไม่สามารถพยากรณ์สภาพความเสียหาย และ  
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางหลวงได้ล่วงหน้า เพื่อใช้ในการวางแผนค่าใช้จ่ายการซ่อม  
บำรุงรักษาทางหลวงในอนาคต

ดังนั้น ในขั้นตอนการพิจารณางานซ่อมบำรุงทางหลวงและขั้นตอนการวางแผนงาน  
บำรุงรักษาของระบบการบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง ความสำคัญส่วนหนึ่งอยู่ที่การ  
สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมความเสียหายของทางหลวงและพยากรณ์สภาพความเสียหายของ  
ทางหลวงในอนาคตได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งจะต้องอาศัยการสร้างแบบจำลองการ  
เสื่อมสภาพของทางหลวงขึ้นมาเพื่อที่จะสามารถพยากรณ์สภาพความเสียหายของทางหลวง  
ภายใต้ลักษณะสภาพแวดล้อมต่างๆที่เปลี่ยนแปลงได้และใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของทาง  
หลวงสำหรับพิจารณาค่าใช้จ่ายงานซ่อมบำรุงรักษาทาง ทำให้สามารถกำหนดช่วงเวลา  
งบประมาณการซ่อมบำรุงทางหลวง การจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงได้อย่างมี  
ประสิทธิภาพ



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สร้างแบบจำลองในการหาการเสื่อมสภาพของทางชนิดผิวทางลาดยางในประเทศไทย (Pavement Deterioration Model) โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทาง

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาเฉพาะทางลาดยางในความควบคุมดูแลของกรมทางหลวง ที่มีการจัดเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายของผิวทาง (ค่าดัชนีความเรียบสากล) และมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน มาศึกษาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยต่างๆที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมความเสียหายของผิวทาง

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการศึกษาวิจัยได้กำหนดเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง เช่น อายุของทาง ปริมาณการจราจร เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก ปริมาณน้ำฝน ความลาดชันของภูมิประเทศ เป็นต้น
2. ศึกษารูปแบบ ข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง ที่มีอยู่ในประเทศไทยและต่างประเทศ
3. รวบรวมข้อมูล โดยจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ
  - 3.1 ค่าดัชนีความเรียบสากล ที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทาง โดยนำข้อมูลที่สำรวจและเก็บรวบรวมอยู่ในสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ซึ่งมีการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ.2533 เป็นต้นมา
  - 3.2 ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง เช่น อายุของทาง ปริมาณการจราจร เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก ปริมาณน้ำฝน ความลาดชันของภูมิประเทศ และสถานที่ตั้งของสายทาง โดยนำข้อมูลที่รวบรวมอยู่จากหลายหน่วยงาน ได้แก่ แขวงทางหลวง กรมทางหลวง และกรมอุตุฯนิยมวิทยา

4. การคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล เป็นขั้นตอนการคัดเลือกสายทางหลวงชนิดผิวทางลาดยางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน และตรวจสอบข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล โดยพิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลที่คงที่หรือเพิ่มขึ้นตามอายุสายทางหลวง ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลที่ลดลงแสดงว่าสายทางหลวงนั้นได้รับการซ่อมบำรุงรักษาแล้วจะไม่นำมาพัฒนาแบบจำลองงานวิจัยนี้จะพิจารณาอายุของสายทางหลวงนับจากเมื่อเริ่มทำการเสริมผิวทางใหม่จนถึงการเสริมผิวทางครั้งต่อไป โดยมีสมมุติฐานว่าการซ่อมบำรุงด้วยการเสริมผิวทาง (Overlay) จะทำให้ผิวทางกลับมามีสภาพและความเรียบเหมือนกับทางที่เพิ่งสร้างใหม่อีกครั้ง

5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับอายุของทางและปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี โดยใช้หลักการทางสถิติเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation:  $r$ ) และการวิเคราะห์ความถดถอย เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยทางด้านอายุของทางและปริมาณการจราจรมีผลกระทบกับการเสื่อมสภาพของผิวทาง ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางต่อไป

6. สร้างแบบจำลองโดยใช้วิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ซึ่งจะนำค่าดัชนีความเรียบสากลมาพิจารณาร่วมกับปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบกับความเสียหายของผิวทาง ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2 โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

- 6.1 กำหนดสถานะสภาพแสดงพฤติกรรมของค่าดัชนีความเรียบสากล
- 6.2 จัดกลุ่มสายทางของค่าดัชนีความเรียบสากลตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง
- 6.3 คำนวณหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
- 6.4 สร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะเป็นการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ

7. ทดสอบแบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมากับแบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยและข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลที่เป็นข้อมูลจริงที่สำรวจและรวบรวมข้อมูลในปี พ.ศ.2545 โดยจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

8. การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อการบริหารบำรุงทาง เป็นการเสนอแนวทางเพื่อนำแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทาง เช่น การวิเคราะห์ความสำคัญของโครงการที่จำเป็นในการซ่อมบำรุงในกรณีที่มีงบประมาณจำกัด และการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางในอนาคต

9. สรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

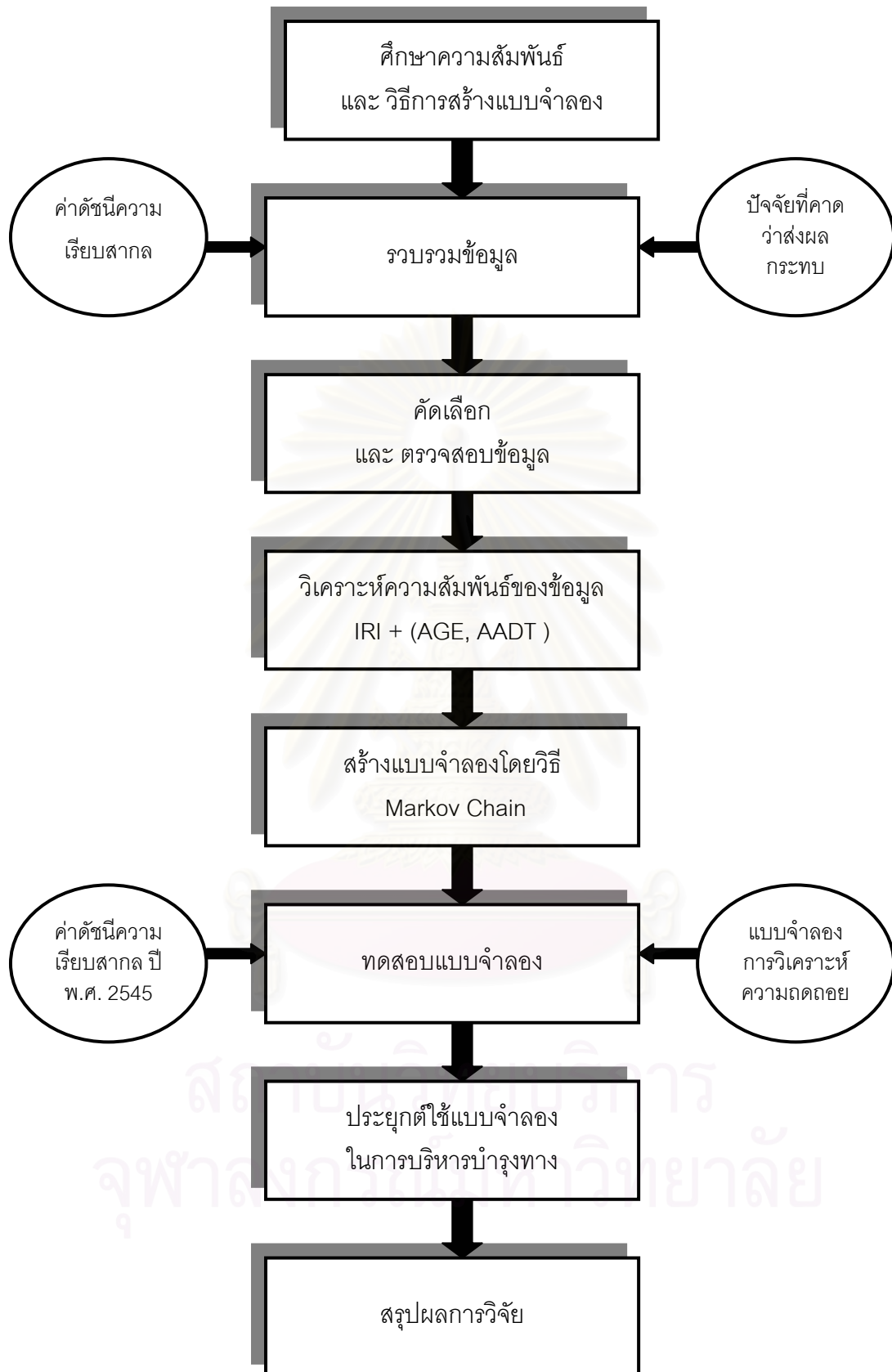
ซึ่งวิธีการศึกษานี้แสดงขั้นตอน ดังรูปที่ 1.1

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างแบบจำลองแสดงพฤติกรรมของทางและนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้พยากรณ์สภาพความเสียหายของผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. สามารถนำแบบจำลองไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงเพื่อที่จะนำสายทางที่มีความสำคัญลำดับแรกๆ มาดำเนินการก่อน ซึ่งจะทำได้ใช้งบประมาณ ทรัพยากร และเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการศึกษา

## บทที่ 2

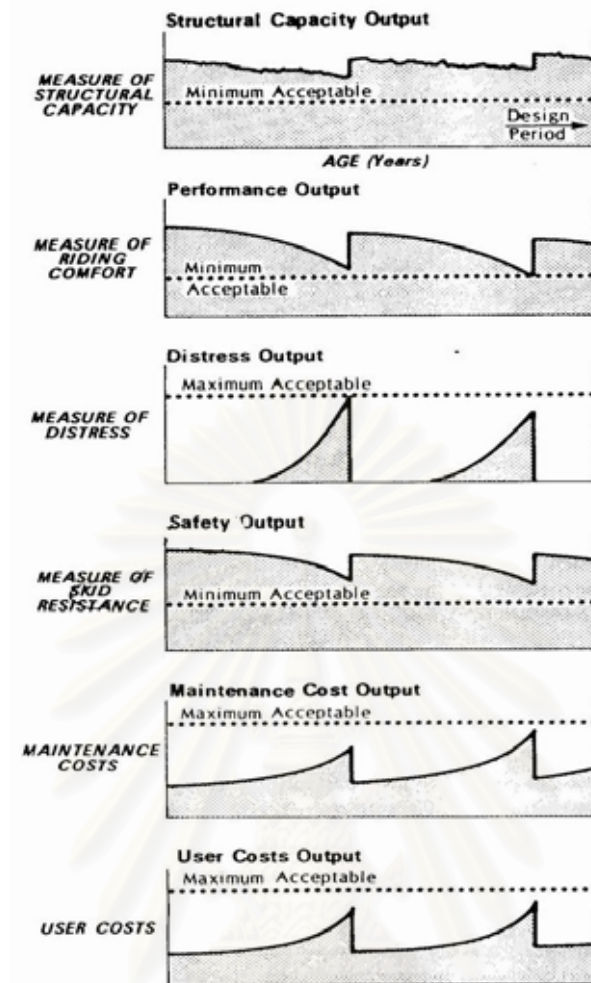
### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพยากรณ์การเสื่อมสภาพของผิวทางในอนาคตได้อย่างแม่นยำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบริหารงานซ่อมบำรุงทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ ดังนั้นก่อนที่จะพัฒนาแบบจำลองต้องเข้าใจถึงลักษณะของทาง พฤติกรรมของทางและรูปแบบของแบบจำลองต่างๆ ซึ่งในบทนี้ได้อธิบายเกี่ยวกับ พฤติกรรมของทาง ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของผิวทาง รูปแบบและวิธีการสร้างแบบจำลอง เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของทาง ข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลองต่างๆในการพัฒนาแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมของทาง

พฤติกรรมของทางขึ้นกับปัจจัยภายในและภายนอก ปัจจัยภายในหมายถึง คุณสมบัติภายในของทาง เช่น โครงสร้างทาง ซึ่งจะมีค่าแปรผันไปตามส่วนประกอบต่างๆของชั้นโครงสร้าง ทั้งการจัดเรียงลำดับ ความหนา และความแข็งแรงทนทานของชั้นโครงสร้าง สำหรับปัจจัยภายนอกหมายถึง สิ่งต่างๆที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อความเสียหายของทาง เช่น น้ำหนัก การจราจร และสิ่งแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น

เมื่อทางถูกใช้งานในระยะเวลาหนึ่งพฤติกรรมของทางจะเริ่มเปลี่ยนไป โดยปัจจัยที่ทำให้ทางเสื่อมสภาพลงมีทั้งคุณสมบัติภายในและปัจจัยภายนอกของทาง เช่น กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง คุณภาพการขบขี้ ความเสียหายของผิวทาง และระดับความปลอดภัย จะมีค่าลดลง แต่ในส่วนของค่าบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจากการศึกษาของธนาคารโลก (Haas,1978) พบว่าการชะลอหรือลดงบประมาณการบำรุงรักษาทางลงทุก 1 หน่วย จะทำให้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถเพิ่มขึ้น 2 - 3 หน่วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงรักษาทางให้สามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่องและอย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายทั้งในส่วนของผู้ใช้ทางและหน่วยงานที่รับผิดชอบการซ่อมบำรุงรักษาทาง



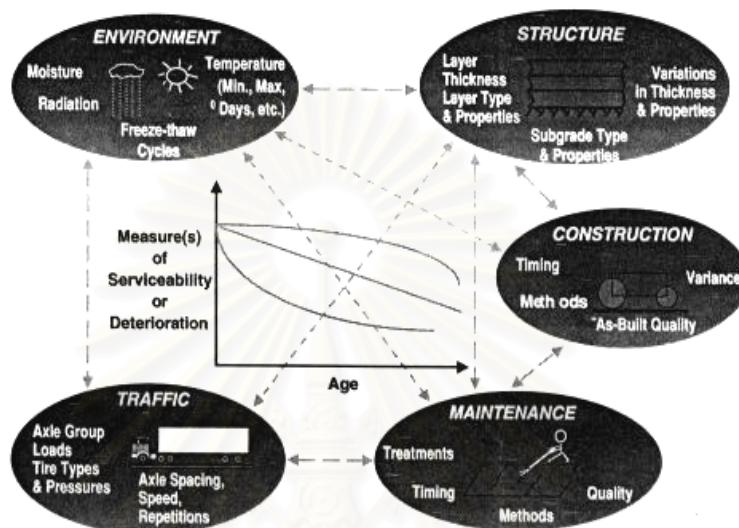
รูปที่ 2.1 พฤติกรรมของทางและค่าใช้จ่ายเมื่อระยะเวลาต่างๆ (Haas, 1978)

### 2.1.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของทาง

เมื่อทางถูกใช้งานในระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการเสื่อมสภาพของทาง โดยจะแปรผันไปตามอายุการใช้งานถ้าไม่มีวิธีการซ่อมบำรุงรักษาที่ดีการเสื่อมสภาพก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของทาง แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งสามารถแบ่งได้ 5 กลุ่ม ด้วยกันได้แก่

1. ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ
2. ปัจจัยทางด้านโครงสร้าง เช่น ความหนาของชั้นทาง คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้
3. ปัจจัยทางด้านการก่อสร้าง เช่น วิธีการก่อสร้าง เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง และคุณภาพการก่อสร้าง

4. ปัจจัยทางด้านการจราจร เช่น ปริมาณการจราจร ปริมาณรถหนัก
5. ปัจจัยทางด้านการบำรุงรักษา เช่น วิธีการบำรุงรักษา เวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษา และคุณภาพการบำรุงรักษา



รูปที่ 2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของทาง (Haas et al., 2001)

การเลือกปัจจัยมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางนั้น จะพิจารณาจากปัจจัยนั้นว่าส่งผลต่อความเสียหายของทางอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และเมื่อนำปัจจัยนั้นเป็นตัวแปรในแบบจำลองแล้วจะทำให้ได้แบบจำลองที่พยากรณ์ได้ดีกว่าเดิมหรือไม่ โดยงานวิจัยนี้ได้พิจารณาปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม ด้านโครงสร้าง และด้านการจราจร ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

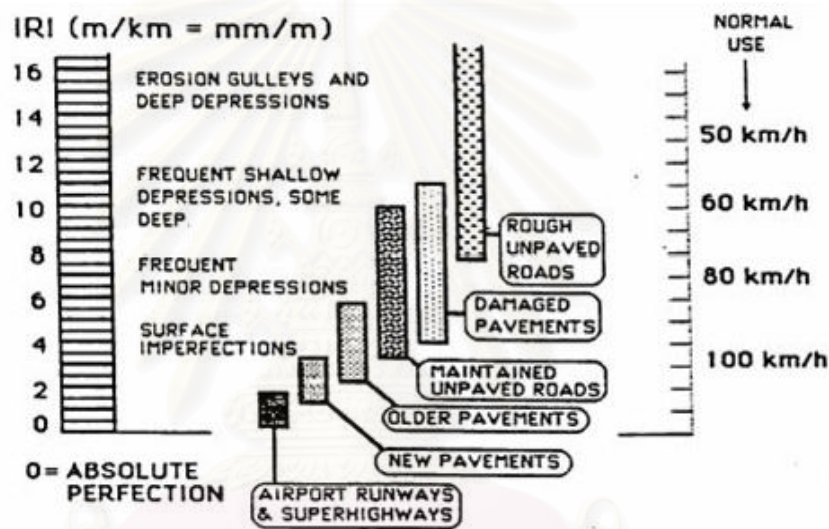
### 2.1.2 ดัชนีวัดพฤติกรรมของทาง (Pavement Performance Index)

#### 1. ค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI)

ค่าดัชนีความเรียบสากล (Paterson, 1987) ถูกเริ่มนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1982 เมื่อธนาคารโลก (World Bank) ได้รับความร่วมมือจากประเทศอังกฤษ ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา และบราซิล ทดลองวัดค่าความเรียบของทางโดยใช้เครื่องมือหลายชนิดทั่วโลก บนทางหลวงทั่วประเทศบราซิล ภายใต้โครงการ International Road Roughness Experiment: IRRE เพื่อที่จะรวบรวมแนวทางในการวัดค่าความเรียบของทาง ซึ่งแตกต่าง

กันในแต่ละประเทศ แล้วหาความสัมพันธ์ของค่าความเรียบของทางที่วัดได้จากเครื่องมือแต่ละชนิด โดยได้ตั้งค่ามาตรฐานความเรียบเป็นสากลขึ้นเรียกว่า ค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) มีหน่วยเป็น ม./กม.หรือ มม./ม.

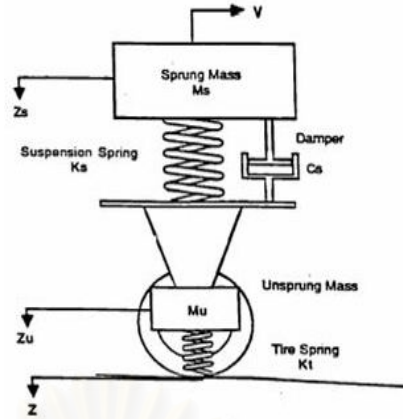
ความเรียบของผิวทางมีความสำคัญโดยตรงที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางและความปลอดภัย จากผลการศึกษาของ AASHO Road Test พบว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของการให้บริการทางขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวทาง ค่าความเรียบของผิวทางจะเป็นตัวที่บ่งบอกว่าทางมีการบิดเบี้ยวของผิวทาง ความไม่สบายของผู้ใช้ทาง และคุณภาพการขับขี่ ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความเรียบสากลกับสภาพทาง แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับสภาพทาง (Paterson, 1987)

การใช้ค่าดัชนีความเรียบสากล แสดงสภาพความเสียหายของทางนั้นมีข้อดีคือสามารถเก็บข้อมูลสภาพของทางได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการวัดค่าดัชนีความเรียบสากลจะอาศัยเครื่องมือ Bump Integrator ที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์ที่เรียกว่า Quarter – car แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยค่าความเรียบของผิวทางสามารถคำนวณได้จากการสั้นสะเทือนขึ้น-ลงทั้งหมดของเพลาล้อรถต่อระยะทางที่เคลื่อนที่ไป ความเร็วที่ใช้ในการวัดอยู่ที่ประมาณ 80 กม./ชม. และแปลงมาเป็นค่าดัชนีความเรียบสากล แต่ข้อจำกัดของค่าดัชนีความเรียบสากลคือ จะไม่แสดงชนิดหรือประเภทของความเสียหายทั้งหมด ซึ่งการตัดสินใจเลือกวิธีการซ่อมบำรุงนั้นจำเป็นต้องรู้ชนิดหรือประเภทความเสียหายเป็นแบบใดด้วย





รูปที่ 2.4 อุปกรณ์วัดค่าดัชนีความเรียบสากล (Paterson, 1987)

## 2. สภาพบริการของทาง (Present Serviceability Rating: PSR)

สภาพบริการของทาง พัฒนาโดย AASHO Road Test (Haas, 1978) เป็นการประเมินสภาพของผิวทางโดยใช้คณะทำงานออกไปสำรวจแล้วให้คะแนนตามทฤษฎีที่กำหนดออกมา มีคะแนนอยู่ 5 ระดับ คือ 0 ถึง 5 ระดับที่ 5 เป็นระดับผิวทางที่ดีที่สุด ซึ่งการใช้วิธีที่ให้คณะทำงานออกไปทำการประเมินเช่นนี้มีข้อจำกัดอยู่คือ การทำได้ช้าและมีความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคล (Subjective Measurement) ต่อมา AASHO Road Test ได้มีการพัฒนานำเครื่องมือในการตรวจวัดสภาพทาง โดยเปรียบเทียบกับค่า PSR เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากผู้ประเมินเรียกว่า ดัชนีสภาพบริการของทาง (Present Serviceability Index: PSI) การคำนวณหาค่าดัชนีสภาพบริการของทางบนผิวทางลาดยาง ตามสมการที่ 2.1 ดังนี้

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

โดยที่ PSI = Present Serviceability Index

SV = Slope Variance by Slope Profilometer

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

C = Major Cracking (ft<sup>2</sup> / 1000 ft<sup>2</sup> of area)

P = Patching (ft<sup>2</sup> / 1000 ft<sup>2</sup> of area)

### 3. ค่าดัชนีสภาพทาง (Pavement Condition Index: PCI)

ค่าดัชนีสภาพทาง พัฒนาโดยหน่วยงาน U.S. Army Construction Engineering Research (Haas et al., 2001) มีค่าระดับอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ที่ระดับ 100 คือ ระดับผิวทางที่ดีที่สุด ค่าดัชนีสภาพทางเป็นการประเมินปริมาณความเสียหายแต่ละประเภทของสายทางที่พิจารณาจากจำนวน 19 ประเภทของความเสียหาย ยกตัวอย่างเช่น รอยแตกหนึ่งจระเข้ รอยแตกตามยาว การเอื่อมของผิวทาง หลุมบ่อ เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทความเสียหายจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ต่ำ กลาง และสูง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าดัชนีสภาพทาง ตามสมการที่ 2.2 ดังนี้

$$PCI = 100 - CDV \quad (2.2)$$

โดยที่ PCI = ค่าดัชนีสภาพทาง

CDV = Corrected Deduct Value

### 4. ค่าระดับสภาพของทาง (Pavement Condition Rating: PCR)

ค่าระดับสภาพของทาง (Haas et al., 2001) คล้ายกับค่าดัชนีสภาพทางคือ มีระดับอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 โดยที่ระดับ 100 เป็นระดับของผิวทางที่มีสภาพที่ดีที่สุด ค่าระดับสภาพของทางเป็นการนำค่าระดับความเรียบ (Roughness Rating) มาพิจารณาร่วมกับค่าระดับความเสียหาย (Distress Rating) ตามสมการที่ 2.3 ดังนี้

$$PCR = RR^{0.6} DR^{0.4} \quad (2.3)$$

โดยที่ PCR = ค่าระดับสภาพของทาง

RR = ระดับความเรียบ

DR = ระดับความเสียหาย

## 2.2 การสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของทาง

ทางเมื่อเปิดใช้งานมาไประยะเวลาหนึ่ง ย่อมต้องเกิดสภาพความเสียหายขึ้นของทาง เช่น รอยแตกที่ผิวทาง หลุมบ่อ ผิวทางหลุดร่อน ผิวทางปูดเป็นแอ่ง ร่องล้อ เป็นต้น การสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของทางจึงเป็นสิ่งจำเป็น ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจถึงวิธีการซ่อมบำรุงรักษาทาง การจัดลำดับความสำคัญของโครงการงานซ่อมบำรุงทาง เพื่อให้ทางสามารถ

กลับมาอยู่ในสภาพที่ดีและใช้งานได้ตามปกติ ปัจจุบันหน่วยงานที่ทำการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของทางจะมีวิธีการสำรวจที่แตกต่างกันไป โดยหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการของ The Asphalt Institute, Transport and Road Research Laboratory, กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท

### 2.2.1 The Asphalt Institute

The Asphalt Institute เป็นหน่วยงานในประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ก่อตั้งเมื่อปี ค.ศ.1983 ทำหน้าที่ศึกษาวิจัยและพัฒนาทางด้านงานทางได้กำหนดวิธีการประเมินสภาพทางเพื่อตรวจสอบสภาพทางว่าเป็นที่น่าพอใจต่อผู้ใช้รถมากน้อยเพียงใด โดยได้แนะนำว่าต้องประกอบด้วย การตรวจวัดความฝืดของผิวทาง (Skid Resistance) คุณภาพการขับขี่ (Ride Quality) ความสามารถรับกำลังของโครงสร้างทาง (Structural Capacity) และความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ซึ่งผลที่ได้จากการวัดทั้ง 4 ด้านข้างต้นจะนำมาประเมินสภาพทางในปัจจุบันและเพื่อใช้พยากรณ์สภาพทางในอนาคตหรือช่วยพยากรณ์ว่าเมื่อไรสภาพทางจะถึงจุดวิกฤติต้องดำเนินการซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา ซึ่งในการตรวจวัดข้อมูลความเสียหายของผิวทางนั้นสามารถวัดตรวจสอบปริมาณแยกตามประเภทความเสียหายจากสนามได้ชัดเจน ส่วนอีก 3 ด้านมีวิธีการตรวจวัดดังนี้

1. การตรวจวัดความฝืดของผิวทาง ความฝืดของผิวทางเป็นตัวช่วยให้อานพาหนะที่วิ่งผ่านมีการยึดเกาะที่ดีทำให้เกิดความปลอดภัยในการขับขี่ แต่ในทางกลับกันความฝืดของผิวทางเป็นตัวทำให้ความเร็วของยานพาหนะลดลงหรือวิ่งได้ช้ากว่าทางที่ผิวทางเรียบ ดังนั้นจึงมีหลายหน่วยงานบันทึกค่าความฝืดของผิวทางเพื่อพิจารณาในส่วนของความปลอดภัยของทางเท่านั้น เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความฝืดของผิวทางมีอยู่หลายชนิด เช่น เครื่องมือ Lock – Wheel Skid Trailer ตาม ASTM – E274 เป็นต้น

2. คุณภาพการขับขี่ การประเมินคุณภาพการขับขี่เริ่มต้นมีวิธีการประเมินโดยให้กลุ่มผู้ใช้เส้นทางขับขี่ไปบนทางเพื่อให้คะแนนความสะดวกสบายในการขับขี่ อันเป็นแนวความคิดของ Carey และ Irick (1960) ที่เสนอว่าทางดีมกน้อยอย่างไรต้องมาจากความคิดเห็นของผู้ใช้ทาง ต่อมา AASHTO Road Test พัฒนาระบบการให้คะแนนจากแนวความคิดดังกล่าวกำหนดช่วงคะแนนจาก 1 - 5 โดยคะแนนที่ 1 หมายความว่าสภาพทางอยู่ในระดับคุณภาพไม่ดี และคะแนนที่ 5 หมายถึง สภาพทางดีมาก จากกระบวนการนี้ผลที่ได้เรียกว่าเป็นการประเมินสภาพบริการของทาง (PSR) ซึ่งมีบางหน่วยงานนำหลักการไปใช้โดยปรับเพิ่มช่วงคะแนนให้เป็นคะแนน 0 – 100 เพื่อให้มีตัวเลือกคะแนนมากขึ้นและสะดวกในการจัดลำดับผลการประเมินสภาพทางด้วย

สภาพบริการของทาง ซึ่งวิศวกรบำรุงทางจะใช้เป็นองค์ประกอบหนึ่งในกระบวนการตัดสินใจดำเนินการหรือชะลอโครงการบำรุงทาง แต่การประเมินด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับตัวบุคคล (Subjective Measurement) ทำให้มีการคลาดเคลื่อนได้ ต่อมาจึงมีการพัฒนานำเครื่องมือในการตรวจวัดโดยเปรียบเทียบกับค่าสภาพบริการของทาง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากผู้ประเมินเรียกว่า ค่าดัชนีสภาพบริการของทาง (PSI)

3. โครงสร้างทาง สาเหตุที่ทำให้โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกได้ไม่เพียงพอหรือเสียหายเร็วกว่าอายุการให้บริการมีหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น ปริมาณจราจรหรือน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากเกินไปที่ออกแบบไว้ หรือคุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างทางเปลี่ยนแปลงไปโดยที่น้ำหนักบรรทุกปกติทำให้อายุการให้บริการสั้นลง ดังนั้นการประเมินสภาพโครงสร้างทาง (Structural Evaluation) เพื่อตรวจวัดกำลังรับน้ำหนักบรรทุก มีวิธีการประเมิน 2 วิธีคือ วัดความแอ่นตัว (Deflection) ของทางเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกวิ่งผ่านซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือหลายชนิด เช่น Benkelman Beam, Dynaflect Road Rater, Falling Weight Deflectometer และวิธีที่ 2 ประเมินค่าความหนาประสิทธิผล (Effective Thickness) จากความสัมพันธ์ของ Subgrade Strength, Pavement Structure และ Traffic Loading

## 2.2.2 Transport and Road Research Laboratory

Transport and Road Research Laboratory: TRRL (ESCAP, 1987) เป็นหน่วยงานวิเคราะห์วิจัยเกี่ยวกับงานทางที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายและมีการนำหลักการมาใช้ปฏิบัติในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทยด้วย TRRL ได้มีการศึกษาวิจัยและกล่าวถึงปัญหาของงานบำรุงทางในประเทศที่กำลังพัฒนาว่าปัญหาใหญ่เกิดจากทางเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับความต้องการในการคมนาคมและมีการบรรทุกน้ำหนักเกินกว่าที่ออกแบบ ขณะที่ขาดการบำรุงรักษาทางที่สอดคล้องกับสภาพทางหรือการบำรุงทางไม่ดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพราะงบประมาณจำกัดรวมไปถึงหน่วยงานบำรุงทางขาดการบริหารที่มีประสิทธิภาพ บุคลากรมีประสบการณ์ความชำนาญน้อยหรือไม่ลึกซึ้งถึงพื้นฐานงานบำรุงทาง ตามหลักการที่ว่า การป้องกันและลดความเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถยืดอายุการใช้งานทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานน้อยสุด และสามารถเปิดการจราจรบนเส้นทางได้อย่างต่อเนื่อง โดย TRRL ได้เสนอวิธีการแก้ไขและปรับปรุงงานบำรุงทางของประเทศที่กำลังพัฒนาเกี่ยวกับการประเมินสภาพไว้ ดังนี้

1. การประเมินด้วยสายตา (Visual Assessment) ต้องอาศัยวิศวกรผู้ชำนาญการด้านบำรุงทางเป็นผู้ประเมินการให้บริการของสายทาง ในรูปของคะแนนสภาพบริการของทาง (PSR) คะแนนที่ได้จากกลุ่มผู้ประเมินนำมาจัดลำดับความสำคัญของสายทาง เป็นองค์ประกอบ

หนึ่งในการตัดสินใจบำรุงทางและวิธีการประเมินยังมีความแตกต่างของสภาพเมืองและพื้นที่ จำเป็นต้องมีการประเมินให้เป็นรูปธรรม

2. การวัดค่าแฉ่นตัว (Use of Deflections) การวัดค่าความแฉ่นตัวของทางเป็นดัชนีชี้บอถึงสภาพทาง โดยค่าความแฉ่นตัวสูงที่วัดจากสนามต้องจัดลำดับให้มีความสำคัญกว่าเส้นทางที่มีค่าความแฉ่นตัวน้อยกว่า ในบางครั้งจะนำผลการประเมินด้วยสายตาร่วมกับค่าความแฉ่นตัวใช้ตัดสินใจบำรุงทาง

3. การวัดค่าความเรียบ (Roughness Measurement) ซึ่งจากผลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาความเรียบของทางเป็นวิธีการจัดลำดับที่เหมาะสมสอดคล้องแนวความคิดที่ว่าสภาพทางจะดีหรือแย่มากน้อยเพียงใดต้องมาจากความคิดเห็นและเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ทาง (Serviceability) แล้วผลของ Slope Variance มีค่า 90% ของค่าดัชนีสภาพบริการของทาง (PSI) แสดงให้เห็นว่าดัชนีสภาพบริการของทางอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจหรือไม่ขึ้นกับความเรียบของผิวทาง ซึ่งเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเรียบ TRRL ได้เสนอให้ใช้ Vehicle Mounted Roughness Measuring Equipment ที่ตรวจวัดด้วยความเร็ว 32 กม./ชม.

### 2.2.3 กรมทางหลวง

กรมทางหลวง เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านทางหลวงให้มีโครงข่ายสมบูรณ์ครอบคลุมทั่วประเทศและเชื่อมโยงกับต่างประเทศ ควบคุมและดำเนินการก่อสร้างบูรณะและบำรุงรักษาทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดิน และทางหลวงสัมปทาน ได้นำระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงที่เรียกว่า Thailand Pavement Management System: TPMS โดยการช่วยเหลือของธนาคารโลกตั้งแต่ปี พ.ศ.2527 ในระบบ TPMS ได้กำหนดวิธีการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของทางหลวงออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายโดยใช้เครื่องมือง่ายๆ และการสำรวจด้วยตาเปล่า โดยหน่วยสำรวจสนาม (Field Survey Team: FST) ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ของหมวดการทางแต่ละหมวดการทางสำรวจเส้นทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของตน โดยทางหลวงจะถูกแบ่งย่อยเป็นช่วง ช่วงละ 1 กิโลเมตร ใช้ตามหลักกิโลเมตรเดิมที่มีอยู่แล้วและแต่ละช่วงจะแบ่งออกเป็นช่วงย่อย ช่วงละประมาณ 200 เมตร สำรวจข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางด้านวิศวกรรม สภาพความเสียหาย และปริมาณการจราจรของแต่ละช่วงย่อย เช่น ความยาวของช่วงย่อย ความกว้างผิวทาง ไหล่ทาง ชนิดของพื้นทาง ปริมาณการจราจร ความเสียหายหนัก ความเสียหายเบา ร่องล้อ ความเสียหายที่ขอบผิวทาง เป็นต้น จากนั้นส่งข้อมูลสภาพทางที่

สำรวจได้ให้แขวงทางหลวงรวมและตรวจสอบข้อมูลในขั้นแรกก่อน แล้วส่งต่อให้เขตการทางเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและนำวิธีการซ่อมบำรุงทางสำหรับช่วงย่อยที่เสียหายเกินระดับมาตรฐานที่ตั้งไว้ในระบบ TPMS ได้แบ่งประเภทความเสียหายออกเป็น 6 ชนิด ดังนี้

- ความเสียหายหนัก (Major Carriageway Deterioration) เป็นความเสียหายที่ผิวจราจรลึกลงไปถึงชั้นโครงสร้าง เช่น หลุมบ่อ รอยแตกต่อเนื่อง การยุบตัวหรือบวมตัว เป็นต้น วัดพื้นที่ของความเสียหายเป็น ตารางเมตร

- ความเสียหายเบา (Minor Carriageway Deterioration) เป็นความเสียหายที่ผิวจราจรเกิดขึ้นเพียงบนผิวจราจรไม่ลึกลงไปถึงชั้นโครงสร้าง เช่น ยางซึมขึ้นบนผิวทาง รอยแตกแบบไม่ต่อเนื่องทั้งตามยาวและตามขวาง การหลุดล่อนของหิน เป็นต้น วัดพื้นที่ของความเสียหายเป็น ตารางเมตร

- ความเสียหายร่องล้อ (Wheel Track Rutting) เป็นร่องล้อที่ลึกตั้งแต่ 2.5 เซนติเมตร ขึ้นไป หน่วยความเสียหายเป็นความยาวตามร่องล้อ

- ความเสียหายขอบผิวทาง (Edge Carriageway Deterioration) เป็นความเสียหายของเส้นขอบผิวจราจรสึกกร่อนจากเส้นขอบผิวจราจรเดิมเกินกว่า 15 เซนติเมตร โดยวัดความยาวของความเสียหายเป็น เมตร

- ความเสียหายไหล่ทาง (Shoulder Deterioration) เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณไหล่ทาง โดยวัดพื้นที่ของความเสียหายเป็น ตารางเมตร

- ความเสียหายไหล่ทางต่ำกว่าผิวทาง (Shoulder Edge Step) เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นจากไหล่ทางที่ติดกับผิวทางมีระดับต่ำกว่าผิวทาง 5 เซนติเมตร วัดเป็นจำนวนครั้งของความเสียหายซึ่งทำการวัดทุกระยะ 25 เมตร

2. การสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายโดยวิธีการที่ละเอียดและใช้เครื่องมือต่างๆ เข้าช่วยหลังจากได้ผลการวิเคราะห์ของมูลของหน่วย FST แล้วก็จะทำการสำรวจซ้ำสำหรับช่วงย่อยที่มีความเสียหายมาก (ลำดับความสำคัญแรกๆ) เพื่อให้แน่ใจอีกทีก่อนจะดำเนินการซ่อมบำรุง ในส่วนนี้จะทำการสำรวจโดยหน่วยประเมินผลสภาพทาง (Field Evaluation Unit: FEU) สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทางเป็นหน่วยสำรวจส่วนกลาง ซึ่งจะสำรวจซ้ำโดยวิธีการเดิมเหมือนหน่วย FST และสำรวจเพิ่มเติมโดยการใช้เครื่องมือต่างๆ ที่วัดความเสียหายอย่างละเอียด ได้แก่

— Benkelman Beam และ Falling Weight Deflectometer (FWD) ใช้วัดค่าการแอ่นตัว (Deflection) ของโครงสร้างทางในแต่ละชั้น โดยจะแสดงความสามารถของทางในการรับน้ำหนักบรรทุก ค่าการแอ่นตัวของผิวทางในแต่ละช่วงย่อยที่ตรวจสอบจะนำไปเปรียบเทียบกับ SCF17-24 ถ้าค่าที่วัดได้ต่ำกว่า Lower Trigger Level ก็จะมีแนวโน้มให้ซ่อมบำรุงโดยการก่อสร้างใหม่ เป็นต้น

— Pendulum Tester ใช้วัดค่าความฝืดของผิวทาง (Skidding Resistance) โดยจะเป็นค่าความต้านทานต่อการลื่นไถลระหว่างล้อรถกับพื้นผิวทางคือ ค่า SRV ถ้าค่า SRV ยิ่งสูงหมายความว่า มีค่าความต้านทานต่อการลื่นไถลมาก ค่าความฝืดของผิวทางในแต่ละช่วงย่อยที่ตรวจสอบจะนำไปเปรียบเทียบกับ SCF17-24 ถ้าค่าที่วัดได้ต่ำกว่า Lower Trigger Level ก็จะมีแนวโน้มให้ซ่อมบำรุงโดยการฉาบผิวทาง เป็นต้น

— Bump Integrator ใช้วัดค่าความเรียบของผิวทาง (Roughness) หรือ Riding Quality ค่าความเรียบของผิวทางในแต่ละช่วงย่อยที่ตรวจสอบจะนำไปเปรียบเทียบกับ SCF17-24 ถ้าค่าที่วัดได้สูงกว่า Lower Trigger Level ก็จะมีแนวโน้มให้ซ่อมบำรุงโดยการเสริมผิวทาง เป็นต้น

#### 2.2.4 กรมทางหลวงชนบท

กรมทางหลวงชนบท เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านทางหลวงควบคุมและดำเนินการก่อสร้างบูรณะและบำรุงรักษาทางหลวงชนบททั่วประเทศ ขั้นตอนการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของทางหลวง โดยเจ้าหน้าที่ภาคสนามของศูนย์บำรุงรักษาทางตรวจสอบสภาพทางตามที่มองเห็น (Visual Measurement) และใช้เทปวัดระยะทางคำนวณพื้นที่ความเสียหายของทางออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ความเสียหาย แล้วมอบให้หัวหน้าศูนย์บำรุงรักษาทางอาศัยประสบการณ์ตัดสินใจเลือกวิธีซ่อมบำรุง รวมถึงการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงเบื้องต้นส่งผลให้ฝ่ายแผนงานของกองบูรณะและบำรุงรักษาตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง โดยแยกประเภทความเสียหายตามวิธีการซ่อมบำรุง ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. วิธีการซ่อมบำรุงแบบ Deep Patch เป็นความเสียหายของทางที่ลึกไปถึงชั้นโครงสร้างของทาง เช่น หลุมบ่อ การยุบตัวหรือบวมตัว รอยแตกตามยาวและรอยแตกตามขวางที่ลึกถึงชั้นโครงสร้าง เป็นต้น

2. วิธีการซ่อมบำรุงแบบ Skin Patch เป็นความเสียหายของทางที่เกิดบนชั้น ผิวทาง เช่น การหลุดร่อนของหิน รอยแตกหนังจระเข้ รอยแตกเป็นส่วนโค้งองวงกลม ผิวทางยางเี่ยม เป็นต้น

### 2.3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

การบริหารงานซ่อมบำรุงทาง เป็นการบริหารจัดการด้านงานทางไม่ว่าจะเป็นการสำรวจ และเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพทาง การวางแผนการจัดการงานซ่อมบำรุง การวางแผนจัดการด้านการเงิน เป็นต้น ดังนั้นการบริหารงานซ่อมบำรุงทางที่มีประสิทธิภาพจะส่งผลให้ทางมีสภาพที่ดี และยืดอายุการใช้งาน ซึ่งการบริหารงานซ่อมบำรุงทางประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก (Shahin, 1994) ดังนี้

- การนิยามสภาพความเสียหายของทาง
- การตรวจสอบและวัดสภาพความเสียหายของทาง
- การพยากรณ์สภาพความเสียหายของทาง
- การบริหารจัดการงานทางระดับโครงข่าย
- การบริหารจัดการงานทางระดับโครงการ

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง เป็นส่วนหนึ่งของการการพยากรณ์สภาพความเสียหายของทาง โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในระดับโครงการ (Project Level) และระดับโครงข่าย (Network Level) โดยในระดับโครงการแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถใช้เลือกชนิดและวิธีซ่อมบำรุงทาง ส่วนในระดับโครงข่ายแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถใช้การวางแผนงบประมาณการซ่อมบำรุง การกำหนดตารางเวลาการตรวจสอบ และการวางแผนการปฏิบัติ ขั้นตอนการบริหารงานซ่อมบำรุงทาง แสดงดังรูปที่ 2.5

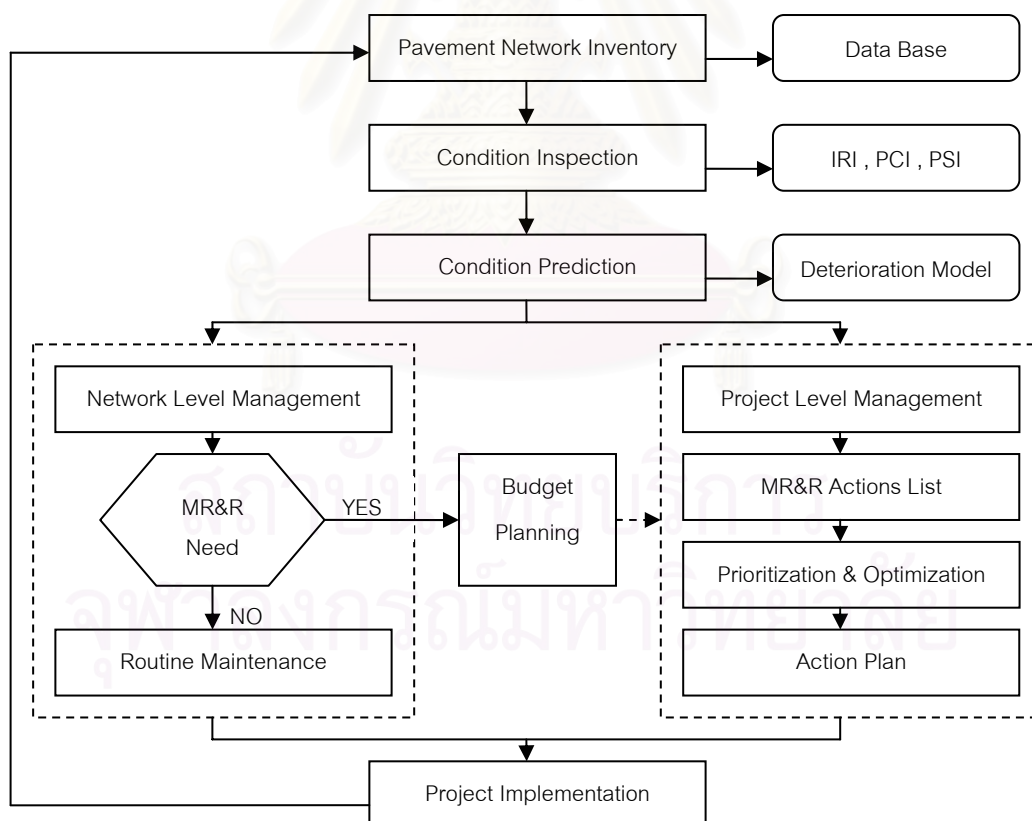
ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางจำเป็นต้องประกอบด้วยหลายปัจจัยเข้าด้วยกัน เช่น ข้อมูลที่เพียงพอ ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของทาง การเลือกรูปแบบของสมการทางสถิติและความน่าจะเป็นที่เหมาะสม วิธีการตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง และผลการพยากรณ์ โดยสามารถแบ่งชนิดของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางได้ 3 ประเภท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



1. Empirical เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองที่พัฒนาจากประสบการณ์และผลของการทดสอบของทางรวมทั้งผลการวิเคราะห์ในห้องทดลอง โดยวิธีนี้จะมีผลดีถ้าข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ เช่น วัสดุ สภาพแวดล้อม น้ำหนักรถ ตลอดจนปริมาณจราจร ใกล้เคียงกับองค์ประกอบต่างๆ ของผลของการทดสอบของทางที่นำมาสร้างแบบจำลอง

2. Mechanistic เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองที่เน้นไปที่การทำวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาของผิวทางภายใต้น้ำหนักที่กระทำและสนใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของวัสดุกับพฤติกรรมของทางว่าเมื่อนำไปทำเป็นผิวทางจะทำให้ผิวทางมีลักษณะอย่างไรและพฤติกรรมอย่างไรภายใต้น้ำหนักที่กระทำ เช่น ความเค้น ความเครียด การแอ่นตัวของโครงสร้าง เป็นต้น

3. Probabilistic เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยทฤษฎีสถิติและความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของตัวแปรที่การศึกษา เหมาะกับการสร้างแบบจำลองที่มีข้อมูลน้อยกว่า 2 วิธีแรก เช่น แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ และ Survivor Curve



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนบริหารงานซ่อมบำรุงทาง (Shahin,1994)

Shahin et al. (1983) ทำการศึกษาลักษณะพฤติกรรมของทาง ที่รัฐเวอร์จิเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ค่าดัชนีสภาพทาง (PCI) เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายและใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences: SPSS วิเคราะห์วิธีการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) หาสมการที่เหมาะสม ผลการศึกษาสามารถจัดกลุ่มตัวแปรที่มีผลกระทบกับทาง แบ่งได้ 6 กลุ่ม ได้แก่ ชนิดของทาง ข้อมูลสภาพความเสียหาย ข้อมูลผลการทดสอบทางแบบไม่ทำลายโดยใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) อายุของทาง ปริมาณการจราจร และความหนาของชั้นทาง

George et al. (1989) ทำการศึกษาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทาง ที่รัฐมิสซิสซิปปี ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยรวบรวมข้อมูลสภาพความเสียหายของทางจำนวน 2,000 ไมล์ ในระยะเวลา 2 ปี ซึ่งเป็นทางลาดยางที่ไม่เสริมผิวทาง ทางลาดยางที่เสริมผิวทาง และทางผสม (ผิวทางลาดยางทับพื้นคอนกรีต) แบบจำลองใช้วิธี Mechanistic–Empirical Models และใช้ค่าระดับสภาพของทาง (PCR) เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายที่กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) หาสมการที่เหมาะสม ตัวแปรทางด้านอายุของทาง ปริมาณการจราจร และค่าความแข็งแรงของทาง (Structural Number) เป็นตัวแปรอิสระ ตัวอย่างแบบจำลองของทางลาดยางที่ไม่เสริมผิวทาง ตามสมการที่ 2.4 ดังนี้

$$PCR(t) = 90 - a [\exp(\text{Age}^b) - 1] \text{Log}[\text{ESAL} / \text{SNC}^c] \quad (2.4)$$

โดยที่ PCR(t) = ค่าระดับสภาพของทางที่เวลาใด

Age = อายุของทางตั้งแต่เริ่มใช้งานหรือเสริมผิวทางครั้งสุดท้าย (ปี)

ESAL = Equivalent Single Axle Load

SNC = ค่าความแข็งแรงของทาง

a, b, c = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง

Kheder et al. (1992) ทำการศึกษาแบบจำลองพฤติกรรมของทาง ที่ประเทศจอร์แดน สำหรับทางชนบทในทางสายประธานและสายรองประธาน ของทางลาดยางจำนวน 275 สายทาง ซึ่งมีงบประมาณและอุปกรณ์การซ่อมบำรุงรักษาทางจำกัด แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ใช้ค่าดัชนีสภาพทาง (PCI) เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายที่กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม และน้ำหนักการจราจร ปริมาณน้ำฝน อายุทาง เป็นตัวแปรอิสระ โดยน้ำหนักการจราจรจะคำนวณเป็นค่า Equivalent Single Axle Load (ESAL) และปริมาณน้ำฝนมีการแบ่ง

ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (1)ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 400 มิลลิเมตร (2)ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 240-290 มิลลิเมตร (3)ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 50-130 มิลลิเมตร ตัวอย่างแบบจำลองพฤติกรรมของทาง ตามสมการที่ 2.5 ดังนี้

$$PCI = 100 - 1.03 \times (\text{Age})^{1.39} \times 10^{0.0441} \times (\Sigma\text{ESAL}) \quad (2.5)$$

โดยที่ PCI = ดัชนีสภาพทาง

Age = อายุของทางตั้งแต่เริ่มใช้งานหรือเสริมผิวทางครั้งสุดท้าย (ปี)

$\Sigma\text{ESAL}$  = Accumulated Equivalent Single Axle Load (Millions)

AL-Masaeid et al. (1992) ทำการศึกษาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทาง ที่ประเทศจอร์แดน ในทางสนามบินที่เป็นผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยใช้ค่าดัชนีสภาพทาง (PCI) ที่เก็บโดยระบบ PAVER เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายที่กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม ผลการศึกษานี้บ่งชี้ว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสภาพของทาง ได้แก่ อายุการใช้งานและปริมาณการจราจร

Sharma et al. (1994) ทำการศึกษาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทาง ที่ประเทศอินเดีย ในทางลาดยางและทางคอนกรีต จำนวน 113 สายทาง ในการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ศึกษาทางที่ให้อยู่ในปัจจุบันและศึกษาทางที่ก่อสร้างใหม่โดยใช้ข้อมูลจากช่วงแรกมาวิเคราะห์ ตัวแปรในการศึกษานี้ประกอบด้วยสถานะของทาง ปริมาณการจราจร ภูมิอากาศ สภาพทาง ชนิดผิวทาง และระดับการบำรุงรักษา แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ตัวอย่างแบบจำลองสภาพเสียหายของผิวทางลาดยาง ตามสมการที่ 2.6 ดังนี้

$$CR_t = [0.55 \text{CSAL} \times \text{MSN}^{-5} \times e^{(m \times \text{PAGE})}] + (m \times CR_i \times t) \quad (2.6)$$

โดยที่  $CR_t$  = Change in Cracking (%) over a time t year

$CR_i$  = Initial Cracking (%)

CSAL = Change in Cumulative Standard Axles (msa)

MSN = Modified Structural Number

PAGE = Pavement Age since last Renewal (years)

m = Environmental Factor

t = Time Interval (years)

AL-Omari และ Darter (1994) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับสภาพบริการของทาง (PSR) ที่รัฐหลุยเซียนา มิชิแกน นิวแม็กซิโก นิวเจอร์ซีย์ โอไฮโอ และอินเดียนา ประเทศสหรัฐอเมริกา ในทางลาดยาง ทางคอนกรีต และทางผสม (ผิวทางลาดยางทับพื้นคอนกรีต) จำนวน 18 ทาง ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีทั้งสองใช้โปรแกรม Statistical Analysis System โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.76 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of Estimate: SEE) เท่ากับ 0.383 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของผิวทางลาดยาง ตามสมการที่ 2.7 ดังนี้

$$PSR = 5 \times e^{(-0.24 \times IRI)} \quad (2.7)$$

โดยที่ PSR = สภาพบริการของทาง

IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากล (มม./ม.)

Anderson et al. (1994) พิจารณาแบบจำลองของ AL-Omari และ Darter ว่าไม่น่าเชื่อถือเท่าที่ควร เนื่องจากถ้าค่าดัชนีความเรียบสากลเท่ากับศูนย์แล้วค่าสภาพบริการของทางจะเท่ากับห้า ซึ่งค่าสภาพบริการของทางจะพิจารณาจากปัจจัยอย่างอื่นด้วย จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสภาพบริการของทาง (PSI) กับค่าดัชนีความเรียบสากล โดยศึกษาจากหน่วยงาน Indiana Department of Transportation (INDOT) ประเทศสหรัฐอเมริกา ในทางลาดยาง 9 สายทางและทางคอนกรีต 11 สายทาง ค่าดัชนีสภาพบริการของทางเป็นตัวแปรสำคัญที่พิจารณาการเลือกงานซ่อมบำรุงรักษา โดยแบ่งระดับความเรียบเป็น 3 ระดับ คือ ต่ำ กลาง และสูง ในการศึกษาจะวัดค่าดัชนีสภาพบริการของทางและค่าดัชนีความเรียบสากล พร้อมกันค่าดัชนีความเรียบสากลจะวัดจากเครื่องมือ Laser-based Profilometer ผลการศึกษาความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันเส้นตรงและฟังก์ชัน Exponential มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจระหว่าง 0.8 - 0.95

AL-Omari และ Darter (1995) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่าสภาพบริการของทาง (PSR) และความเสียหายของทาง ในทางลาดยางและทางคอนกรีต ขั้นตอนการศึกษาได้แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

1. การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่อยู่ใน Strategic Highway Research Program's Long Term Pavement Performance (SHRP LTPP) โดยใช้ข้อมูลความเสียหายที่มีอยู่มีเพียงชนิดเดียวคือ ร่องล้อ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ผลการศึกษาความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันเส้นตรง ตัวอย่างความสัมพันธ์ของทางลาดยาง ตามสมการที่ 2.8 ดังนี้

$$IRI = (57.56 \times RD) - 334.28 \quad (2.8)$$

โดยที่ IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม./กม.)

RD = ความลึกของร่องล้อ (มม.)

2. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PROFILE ในการคำนวณหาค่าดัชนีความเรียบสากลจากสภาพผิวทางต่างๆ เนื่องจากมีข้อมูลความเสียหายที่มีอยู่มีเพียงชนิดเดียวคือ ร่องล้อ ในขั้นตอนนี้ต้องมีการวิเคราะห์สภาพความเสียหายชนิดอื่นของทาง เช่น รอยแตก หลุมบ่อ การหดและขยายตัวของผิวทาง โดยสภาพความเสียหายทั้ง 3 นี้จะเป็นจำนวนต่อระยะทาง 50 เมตร และร่องล้อ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ตัวอย่างความสัมพันธ์ของทางลาดยาง ตามสมการที่ 2.9 ดังนี้

$$PCR = 4.95 - 0.685D - 0.334P - 0.051C - 0.211RD \quad (2.9)$$

โดยที่ PCR = สภาพบริการของทาง

D = การหดและขยายตัวของผิวทาง (จำนวน/50 ม.)

P = หลุมบ่อ (จำนวน/50 ม.)

C = รอยแตก (จำนวน/50 ม.)

RD = ความลึกของร่องล้อ (มม.)

Sadek et al. (1996) ทำการศึกษาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทาง ที่รัฐเวอร์จิเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ในทาง 4 ประเภท ได้แก่ ทางลาดยางที่ไม่มีการเสริมผิวทางใหม่ ทางลาดยางที่มีการเสริมผิวทางใหม่ ทางผสม (ผิวทางลาดยางทับพื้นคอนกรีต) ที่มีการเสริมผิวทางใหม่ 1 ครั้ง และทางผสมที่มีการเสริมผิวทางใหม่มากกว่า 1 ครั้ง ผลศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทางแต่ละประเภทจะมีปัจจัยแตกต่างกันออกไป เช่น ในทางแบบทางลาดยางที่มีการเสริมผิวทางใหม่มีปัจจัย ได้แก่ อายุของผิวทางตั้งแต่เสริมผิวทาง ความหนาของทาง ค่าความแข็งแรงของ

โครงสร้าง และปริมาณการจราจร แต่ในทางแบบทางลาดยางที่ไม่มีการเสริมผิวทางใหม่จะไม่มีปัจจัยของความหนาผิวทางมาเกี่ยวข้อง การพัฒนาแบบจำลองมีการสร้างทั้ง Sigmoidal Model และ Power Curve นำมาเปรียบเทียบกัน โดยแบบจำลอง Sigmoidal Model จะใช้ได้ดีกับทางลาดยางที่ไม่มีการเสริมผิวทางใหม่และแบบจำลอง Power Curve จะใช้ได้ดีกับทางลาดยางที่มีการเสริมผิวทางใหม่ ทางที่มีการเสริมผิวทางใหม่ 1 ครั้ง และทางผสมที่มีการเสริมผิวทางใหม่มากกว่า 1 ครั้ง

Suebpong (2002) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทาง เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูล HDM-III ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทาง ได้แก่ การพังทลายแบบหนัก การพังทลายแบบเบา และปริมาณการจราจร เป็นต้น แบบจำลองที่พัฒนามีด้วยกัน 2 กลุ่ม คือ Post Maintenance และ Pre maintenance โดยจะขึ้นอยู่กับการรวบรวมข้อมูลและแต่ละกลุ่มจะมี 2 แบบจำลองการเสื่อมสภาพคือ แบบจำลองการพังทลายแบบหนักและแบบจำลองการพังทลายแบบเบา ตัวอย่างแบบจำลองการเสื่อมสภาพแบบหนักของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามสมการที่ 2.10 ดังนี้

$$Y = 0.00165 (A^{0.39766}) (B^{0.39601}) \quad (2.10)$$

โดยที่  $Y =$  พื้นที่ความเสียหาย (%)

$A =$  Changes of time Service

$B =$  Changes of Cumulative Equivalent Single Axle Load

วิศณุ และคณะ (2543) ทำการศึกษากฎการเสื่อมสภาพของทางลาดยางในประเทศไทยเพื่อพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยาง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุผิวทางหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ ปริมาณการจราจร สัดส่วนรถหนัก ปริมาณน้ำฝนต่อปี และความลาดชันของภูมิประเทศ โดยลักษณะภูมิประเทศที่นำวิเคราะห์เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ กำหนดจากลักษณะความลาดชันของพื้นที่ (%Gradient) ไว้ 3 กลุ่มดังนี้ ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ (Gradient 0–3%) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน (Gradient 3–5%) และลักษณะภูมิประเทศเป็นที่เนินสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง (Gradient >5%) ผลการศึกษาสรุปว่าลักษณะความสัมพันธ์ของแบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุดเป็นฟังก์ชัน Exponential โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ อยู่ระหว่าง 0.6–0.8 ตามสมการที่ 2.11 ดังนี้

$$IRI = a \times e^{[(b_1 \times \text{Age}) + (b_2 \times \text{AVG.AADT}) + (b_3 \times \%HV)]} \quad (2.11)$$

โดยที่ IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม./กม.)

Age = อายุผิวทางหลังการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลท์ (ปี)

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

%HV = สัดส่วนรถหนัก (%)

$a, b_1, b_2, b_3$  = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

พิธาน และคณะ (2544) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่าระดับความเสียหาย (DRV) ในทางลาดยางจำนวน 422 สายทาง พื้นที่สำนักทางหลวงที่ 12 ชลบุรี การศึกษาแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับค่า DRV ค่า IRI กับค่าระดับความเสียหายหนัก ค่า IRI กับค่าระดับความเสียหายเบา และค่า IRI กับค่าระดับความเสียหายที่รวมทั้งความเสียหายหนักและความเสียหายเบา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.345 0.502 0.057 และ 0.393 ตามลำดับ

2. ทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลแต่ละปีกับค่าการเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเสียหายแต่ละปี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.844 แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

3. สร้างแบบจำลองทำนายค่าดัชนีความเรียบสากล โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยและทำการทดสอบแบบจำลอง ปรากฏว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตามสมการที่ 2.12 ดังนี้

$$IRI_{i+1} = IRI_i + 0.06201 \Delta DRV \quad (2.12)$$

โดยที่  $IRI_{i+1}$  = ค่าดัชนีความเรียบสากล ของปีถัดไป (ปีที่  $i + 1$ )

$IRI_i$  = ค่าดัชนีความเรียบสากล ของปีที่  $i$

$\Delta DRV$  = ค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับความเสียหาย รอบปีที่  $i$

Baladi et al. (2002) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของสภาพความเสียหาย คุณภาพในการขับขี่ และน้ำหนัก ที่รัฐมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา ในผิวทางลาดยาง คอนกรีต และทางผสม (ผิวทางลาดยางทับพื้นคอนกรีต) จำนวน 462 สายทาง เพื่อใช้การวางแผนป้องกันความเสียหาย คุณภาพในการขับขี่จะเป็นตัวที่บอกถึงค่าความเรียบ โดยใช้เครื่องมือ Psychometric จะมีการเก็บเป็นค่าระดับคุณภาพในการขับขี่ (Ride Quality Index: RQI) และสภาพความเสียหายที่ใช้วิธีโอบเทปเก็บข้อมูลแล้ววัดเป็นระดับความเสียหาย (Distress Index: DI) โดยการวิเคราะห์การถดถอย ผลการศึกษาพบว่าทั้ง 3 มีความสัมพันธ์กันโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงถึง 0.739 ในทางคอนกรีต

Butt et al. (1987) ทำการพัฒนาแบบจำลองพฤติกรรมของทาง โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ในแบบจำลองใช้ค่าดัชนีสภาพทาง (PCI) เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายที่กำหนดให้เป็นตัวแปรตามและอายุทางเป็นตัวแปรอิสระ โดยได้มีการแบ่งค่าดัชนีสภาพทางออกเป็น 10 ส่วน แต่ละส่วนมีค่าเท่ากับ 10 เช่น 1-10 11-20 21-30 เป็นต้น ผลการพัฒนาได้มีการเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้วิธีลูกโซ่มาร์คอฟและแบบจำลองที่ใช้วิธี Constrained Least-Squares โดยแบบจำลองที่ใช้วิธีลูกโซ่มาร์คอฟ สามารถอธิบายพฤติกรรมของทางได้ดีกว่าแบบจำลองที่ใช้วิธี Constrained Least-Squares

Hawk (1995) ใช้วิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ในการพัฒนาโปรแกรมระบบบำรุงรักษาสะพานชื่อว่า BRIDGIT BMS ในแบบจำลองเป็นการพยากรณ์ค่าช่วงเวลาที่ต้องทำการซ่อมแซมและปรับปรุง โดยพิจารณาผลกระทบของสิ่งแวดล้อม ปริมาณการจราจร และการซ่อมแซมครั้งอดีต

Attoh-Okine (1994) ทำการศึกษาการพยากรณ์ความเรียบของผิวทาง โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) ในผิวทางลาดยาง วิธีโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองกระบวนการคิดแก้ไขปัญหาตามแบบอย่างของสมองมนุษย์ โดยการสร้างระบบของหน่วยประมวลผล (Artificial Neurons) จำลองระบบของเซลล์ประสาทของสมองมนุษย์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการเรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความซับซ้อน โดยใช้ข้อมูล HDM-III จำนวน 1,274 ข้อมูล ประกอบด้วย ค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง ปริมาณจราจร อายุทาง พื้นที่สภาพความเสียหายต่างๆ ดัชนีความเรียบสากล เป็นต้น ใช้รูปแบบ Back Propagation Neural Networks: BNN แสดงความสัมพันธ์ โดยผลการศึกษาพยากรณ์ได้ไม่ค่อยแม่นยำเท่าที่ควรแต่ก็เป็นการเสนอแนวความคิดในการสร้างแบบจำลองสภาพทางวิธีหนึ่ง

Delton et al. (1996) ทำการศึกษาการเลือกเส้นทางที่จะทำการบำรุงรักษา โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม ที่รัฐอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา วิธีการใช้การเลือกเส้นทางที่จะทำการ



บำรุงรักษาโดยให้คะแนนจากค่าน้ำหนัก ตามสมการที่ 2.13 ซึ่งมีความยุ่งยากในการใช้งาน จึงได้มีการศึกษาวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ข้อมูลที่เก็บในระยะเวลา 5 ปี ปัจจัยที่นำมาพิจารณา เช่น ค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง ปริมาณการจราจร ค่าบำรุงรักษา ร่องล้อ ความลื่น รอยแตก เป็นต้น

$$\text{Rate} = Cr + (RG/5) + (Rut \times 2) + [0.0015 \times (MC)] \quad (2.13)$$

โดยที่  $Cr$  = รอยแตก (%)

$RG$  = ความเรียบ (หน่วยของเครื่องมือ Maysmeter)

$Rut$  = ร่องล้อ

$MC$  = ค่าเฉลี่ยค่าบำรุงรักษาใน 3 ปีหลัง

## 2.4 สรุป

การเสื่อมสภาพของผิวทางเป็นเรื่องที่ทุกองค์กรให้ความสนใจเนื่องจากการเลือกการซ่อมบำรุงจะต้องอ้างอิงจากค่าเสื่อมสภาพของผิวทาง นอกจากนี้การเสื่อมสภาพผิวทางยังสะท้อนถึงคุณภาพการก่อสร้าง ระดับการให้บริการ และความแปรปรวนของสภาพอากาศ ดังนั้นการวางแผนและจัดการการบำรุงรักษาทางได้อย่างมีประสิทธิภาพความสำคัญส่วนหนึ่งอยู่ที่ความสามารถวิเคราะห์และคาดการณ์หรือทำนายสภาพความเสียหายของทางในอนาคตและสามารถรู้พฤติกรรมความเสียหายของทางได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจากงานศึกษาวิจัยต่างๆ พบว่าแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางมีความสำคัญอย่างมากในระบบบริหารบำรุงรักษาทาง ซึ่งช่วยการวางแผนการซ่อมบำรุงทาง ในระดับโครงข่าย (Network Level) และระดับโครงการ (Project Level) โดยในระดับโครงการแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถใช้เลือกชนิดและวิธีซ่อมบำรุงทาง ส่วนในระดับโครงข่ายแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถใช้การวางแผนงบประมาณการซ่อมบำรุง การกำหนดตารางเวลาการตรวจสอบและการวางแผนการปฏิบัติ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อทางก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ทางเสื่อมสภาพ เช่น อายุของทาง ปริมาณการจราจร สิ่งแวดล้อม การบำรุงรักษา และโครงสร้าง เป็นต้น โดยในแต่ละพื้นที่แต่ละประเทศก็จะมีปัจจัยแตกต่างกัน แบบจำลองจะมีความน่าเชื่อถือและสามารถทำนายผลได้ดีขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลและความเที่ยงตรงของข้อมูล ความเกี่ยวข้องระหว่างปัจจัยต่างๆ การกระจายของข้อมูลในกลุ่มสภาพแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น

แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟเป็นการประยุกต์ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์และความน่าจะเป็นของตัวแปรที่สนใจในปัจจุบันเพื่อพยากรณ์ตัวแปรนั้นในอนาคต ซึ่งข้อดีของแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟนั้นคือ อาศัยข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันช่วงระยะเวลาหนึ่งโดยไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลในระยะยาวและต่อเนื่องกัน เพื่อคำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะไว้เป็นพื้นฐานในการพยากรณ์พฤติกรรมของตัวแปรที่สนใจที่จะเกิดขึ้นและมีความต่อเนื่องกันในอนาคต วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์การเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางของทางหลวงในประเทศไทย โดยใช้ค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยางพยากรณ์พฤติกรรมของทางหลวงในอนาคต ซึ่งข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมไว้ในสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง มีไม่ต่อเนื่องกันทุกปีทำให้มีความเหมาะสมที่จะนำวิธีลูกโซ่มาร์คอฟมาพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยาง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พยายามรวบรวมข้อดีและหาแนวทางในการปรับปรุงข้อจำกัดของแต่ละรูปแบบเพื่อพัฒนาแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่งถ้าข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ครบถ้วนและมีความถูกต้องก็จะส่งผลให้แบบจำลองที่พัฒนาได้มีความน่าเชื่อถือด้วยเช่นกัน

#### 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

โดยทั่วไปแล้วปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวทางนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. ลักษณะผิวทาง (Pavement Characteristics)
2. ประวัติของผิวทาง (Pavement History)
3. ลักษณะการจราจร (Traffic Characteristics)
4. ลักษณะสภาพแวดล้อม (Environmental Characteristics)

ซึ่งในงานวิจัยนี้ส่วนหนึ่งเป็นการศึกษาผลของตัวแปรอิสระต่างๆที่มีต่อค่าดัชนีความเรียบสากลซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตาม โดยตัวแปรอิสระที่จะนำมาใช้ ได้แก่ ชนิดผิวทางแทนตัวแปรในกลุ่มลักษณะผิวทาง ค่าอายุของทางแทนตัวแปรกลุ่มประวัติของผิวทาง ค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีกับเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนักแทนตัวแปรในกลุ่มลักษณะการจราจร และค่าปริมาณน้ำฝนต่อปีกับค่าความชื้นของภูมิภาคแทนตัวแปรในกลุ่มลักษณะสภาพแวดล้อม

1. ข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index: IRI) เป็นค่าดัชนีวัดความเรียบของผิวทางใช้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายที่กรมทางหลวงใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณางานซ่อมบำรุงทาง โดยข้อมูลดังกล่าวได้รวบรวมจากฐานข้อมูลของสำนักวิศวกรรมจราจรและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง ซึ่งข้อมูลจัดเก็บอยู่ในรูปของฐานข้อมูลแบบ Foxpro ข้อมูลที่จัดเก็บเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ.2533 จนถึงปัจจุบัน สำหรับค่าดัชนีความเรียบสากลที่กรมทางหลวงได้ทำการบันทึกนั้นจะแบ่งออกเป็นกลุ่มแยกตามภาคได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

- IRI\_3 เป็นค่าดัชนีความเรียบสากลของทาง ภาคใต้
- IRI\_4 เป็นค่าดัชนีความเรียบสากลของทาง ภาคกลาง ภาคตะวันออก และ ภาคตะวันตก
- IRI\_5 เป็นค่าดัชนีความเรียบสากลของทาง ภาคเหนือ
- IRI\_6 เป็นค่าดัชนีความเรียบสากลของทาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ซึ่งโดยปกติแล้วกรมทางหลวงจะทำการบันทึกค่าดัชนีความเรียบสากลของทางที่อยู่ในความรับผิดชอบทุกๆปี แต่เนื่องจากทางทั่วประเทศมีปริมาณมากพร้อมทั้งมีข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือและบุคลากรทำให้บางปีไม่สามารถบันทึกค่าดัชนีความเรียบสากลได้เสร็จในปีเดียว แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ช่วงเวลาและระยะทางสำรวจค่าดัชนีความเรียบสากลของกรมทางหลวงในแต่ละปี

ปี พ.ศ.	ปริมาณงานที่สำรวจ (กม.)				รวมระยะทาง (กม.)
	ภาคใต้	ภาคกลาง	ภาคเหนือ	ภาคอีสาน	
2533	-	-	-	-	33,777
2534	-	-	-	-	35,628
2535	6,471	8,823	11,563	10,398	37,257
2537	7,606	10,631	11,352	12,905	42,494
2539	8,632	11,471	11,648	14,120	45,871
2540	8,634	11,253	11,317	14,448	45,652
2542	9,163	12,281	12,154	14,058	47,656
2543	9,721	12,728	13,797	15,108	51,354
2545	900	4,085	13,740	14,111	32,836

ที่มา: สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง

โดยข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลที่รวบรวมมาได้พิจารณาถึงการซ่อมบำรุงปกติ (Routine Maintenance) ของกรมทางหลวงที่ได้ปฏิบัติทุกปี

2. ข้อมูลชนิดผิวทาง สายทางที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองนี้ทั้งหมดเป็นสายทางที่มีผิวทางชนิดลาดยางทั้งสิ้น โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามชนิดของวัสดุและวิธีการก่อสร้าง ดังนี้

- ผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ (Surface Treatment: ST) เป็นผิวทางที่ใช้งบประมาณในการก่อสร้างไม่สูงมากมีความหนา 20 - 25 มิลลิเมตร โดยอาจก่อสร้างเป็นเซอร์เฟสทรีตเมนต์ชั้นเดียวหรือเซอร์เฟสทรีตเมนต์สองชั้นก็ได้ ผิวทางประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้กับทางสายรองประธานที่มีปริมาณการจราจรต่ำ
- ผิวทางพีเนเตรชันแมคคาเดม (Penetration Macadam: PM) ใช้ก่อสร้างชั้นผิวทางและพื้นทางวิธีการก่อสร้างนำหินขนาดเหมาะสมตามที่ออกแบบไว้มาเกลี่ยเป็นชั้นๆรวมสามชั้น ชั้นแรกใช้หินขนาด 1 - 2 นิ้ว ชั้นที่สองใช้หินขนาด 1/2 - 3/4 นิ้ว และชั้นที่สามใช้หินขนาด 3/8 - 1/2 นิ้ว ตามลำดับ หลังจากลงหินแต่หินแต่ละชั้นจะต้องบดอัดให้แน่นและพ่นทับด้วยยางมะตอย AC 60 - 70 ในชั้นสุดท้ายจะต้องพ่นทับด้วย Seal Coat และโรยทับด้วยหินขนาด No.10 - 1/4 นิ้ว ผิวทางประเภทนี้ใช้ได้กับทางที่มีการจราจรสูง
- ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต (Asphalt Concrete: AC) เป็นทางประเภทที่มีปริมาณการจราจรสูงมีความแข็งแรงทนทาน ผิวเรียบแน่นรับน้ำหนักรถได้สูง การก่อสร้างใช้หินที่สะอาดปราศจากดินและฝุ่น มีขนาดและคุณสมบัติตามที่ออกแบบไว้ในเตาที่อุณหภูมิ  $325^{\circ} \pm 15^{\circ}$  ฟ และพ่นยางมะตอยเกรด AC 60 - 70 ที่อุณหภูมิ  $300^{\circ} \pm 15^{\circ}$  ฟ ลงไปผสมกันให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วบรรทุกไปเกลี่ยลงบนพื้นที่พ่น Prime Coat ไว้แล้วด้วยเครื่องปูลาดในขณะที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า  $270^{\circ} - 340^{\circ}$  ฟ และบดอัดให้แน่นครั้งแรกด้วยรถบดล้อเหล็กขนาดตามด้วยรถบดล้อยางหนัก 10 - 12 ตัน ตามลำดับ ในชั้นสุดท้ายใช้รถบดล้อเหล็กชนิด 2 ล้อ นวดปรับแต่งผิวให้เรียบอีกครั้งหนึ่ง

3. ข้อมูลอายุของทาง จะเป็นอายุของทางนับจากเมื่อเริ่มทำการเสริมผิวทางใหม่ (Overlay) จนถึงการเสริมผิวทางครั้งต่อไป โดยมีการสมมุติฐานว่าการบูรณะด้วยวิธีการเสริมผิวทางจะทำให้ผิวทางกลับมามีความเรียบเหมือนกับทางที่เพิ่งสร้างใหม่อีกครั้ง

4. ข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic: AADT) เป็นข้อมูลที่ฝ่ายสถิติและสนเทศข้อมูล สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง ได้ทำการ

สำรวจปริมาณการจราจรบนทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงจังหวัด ซึ่งเป็นทางบำรุงโดยกำหนดให้มีสถานีนับปริมาณจราจร 2 ประเภท คือ สถานีหลักและสถานีย่อย

- สถานีหลัก (Control Station) ทำการสำรวจบนทางหลวงแผ่นดินปีละ 4 งวด ในเดือนมกราคม เมษายน กรกฎาคม และตุลาคม แต่ละงวดสำรวจ 17 วันๆละ 8 ชั่วโมง โดยเริ่มสำรวจตั้งแต่วันอาทิตย์แรกของเดือนและกำหนดช่วงเวลาสำรวจในวันอาทิตย์ พุธ เสาร์ ครบ 24 ชั่วโมง (ระหว่าง 0.00 น. – 24.00 น.) วันจันทร์ อังคาร พฤหัสบดี และวันศุกร์ ครบ 16 ชั่วโมง (ระหว่าง 0.00 น. – 16.00 น.) แล้วนำมาคำนวณหาค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic: ADT) เมื่อได้ตัวเลขครบทั้ง 4 งวด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณจราจรต่อวันตลอดปี
- สถานีย่อย (Coverage Station) ทำการสำรวจบนผิวทางหลวงแผ่นดินและจังหวัดปีละ 2 งวด ในเดือนเมษายน และกรกฎาคม แต่ละงวดสำรวจ 5 วัน วันละ 8 ชั่วโมง (ระหว่าง 8.00 น. - 16.00 น.) เริ่มสำรวจวันจันทร์แรกของเดือนแล้วนำผลการสำรวจมาเฉลี่ยต่อวัน คูณด้วยตัวคูณขยายซึ่งหาได้จากเครื่องจักรวัดอัตโนมัติ เพื่อขยายเป็น 24 ชั่วโมง จึงเป็นปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันเมื่อได้ครบทั้ง 2 งวด จึงนำมาเฉลี่ยเป็นปริมาณจราจรต่อวันตลอดปี

โดยกำหนดประเภทยานพาหนะทั้ง 8 ประเภท ที่สำรวจ ดังนี้

1. รถยนต์นั่ง
2. รถยนต์โดยสาร 4 ล้อ
3. รถยนต์โดยสารตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไป
4. รถยนต์บรรทุก 4 ล้อ
5. รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ
6. รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รวมถึงรถพ่วง
7. รถจักรยาน 2 ล้อ และ 3 ล้อ
8. รถจักรยานยนต์ และสามล้อเครื่อง

ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันหมายถึง ปริมาณการจราจรทั้งหมดในช่วงใดช่วงหนึ่งที่ทำกรสำรวจหารด้วยจำนวนวันที่ทำการสำรวจ

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

ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีหมายถึง ผลรวมของปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน ที่สำรวจใน 1 ปีหารด้วยจำนวนครั้งที่สำรวจ

$$AADT = \frac{\text{ผลรวมของปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน ที่สำรวจใน 1 ปี}}{\text{จำนวนครั้งที่สำรวจ}}$$

สำหรับผลรวมปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีไม่ได้รวมจำนวนรถจักรยานยนต์จักรยานยนต์และสามล้อเครื่อง การแบ่งช่วงของค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีตามมาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศที่กำหนดโดยกรมทางหลวง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีตามมาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวง

มาตรฐานชั้นทาง	ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (คัน/วัน)
3	1,000 – 2,000
4	300 – 1,000
5	< 300

5. ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก (% HV) เป็นข้อมูลที่ฝ่ายสถิติและสนเทศข้อมูล สำนักอำนวยความสะดวก กรมทางหลวง สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งเป็นการหาเปอร์เซ็นต์ของยานยนต์ที่มีน้ำหนักมากจากปริมาณการจราจรทั้งหมด โดยการกำหนดลักษณะของเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนักออกเป็น 3 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 3.3

เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนักหมายถึง ผลรวมของรถหนักหารด้วยปริมาณการจราจรทั้งหมด

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

ตารางที่ 3.3 สภาพลักษณะของข้อมูลเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก

ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก	ลักษณะ
$\% HV \leq 15$	น้อย
$15 < \% HV \leq 30$	ปานกลาง
$\% HV > 30$	มาก

6. ข้อมูลปริมาณน้ำฝน เป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยกรมอุตุนิยมวิทยาสำรวจและเก็บรวบรวม ซึ่งมีสถานีตรวจอากาศกระจายอยู่ทั่วประเทศจำนวน 86 สถานี โดยข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีของปีต่างๆ โดยลักษณะของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีออกเป็น 3 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สภาพลักษณะของข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี (มม./ปี)	ลักษณะ
0 – 1,000	น้อย
1,000 – 2,000	ปานกลาง
> 2,000	มาก

7. ข้อมูลความชันของภูมิประเทศ เป็นค่าความชันของสายทางที่ใช้ในการก่อสร้างสายทางเริ่มแรกซึ่งเป็นข้อมูลที่เกิดรวบรวมมาจากแขวงการทางต่างๆ ของกรมทางหลวง โดยมีการกำหนดลักษณะของความชันของภูมิประเทศออกเป็น 4 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 3.5

8. ข้อมูลสถานที่ เป็นข้อมูลสถานที่ตั้งของสายทาง โดยแบ่งตามระบบหมายเลขทางหลวงของภูมิภาคในประเทศ ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

- ทางหลวงขึ้นต้นหมายเลข 1 เป็นตัวแทนภาคเหนือ



- ทางหลวงขึ้นต้นหมายเลข 2 เป็นตัวแทนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- ทางหลวงขึ้นต้นหมายเลข 3 เป็นตัวแทนภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก
- ทางหลวงขึ้นต้นหมายเลข 4 เป็นตัวแทนภาคใต้

ตารางที่ 3.5 สภาพลักษณะของข้อมูลความชื้นของภูมิภาค

ข้อมูลความชื้นของภูมิภาค (%)	ลักษณะ
0 – 3	ความชื้นน้อย ลักษณะภูมิภาคส่วนใหญ่เป็นที่ราบ
3 – 5	ความชื้นปานกลาง ลักษณะภูมิภาคส่วนใหญ่เป็นที่ราบสลับเนิน
5 – 7	ความชื้นสูง ลักษณะภูมิภาคส่วนใหญ่เป็นที่เนินสลับภูเขา
> 7	ความชื้นสูงมาก ลักษณะภูมิภาคส่วนใหญ่เป็นที่ภูเขาสูง

### 3.2 การคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล

เป็นขั้นตอนการคัดเลือกสายทางและตรวจสอบค่าดัชนีความเรียบสากลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยพิจารณาสายทางที่ไม่ได้รับการซ่อมบำรุงในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา

การคัดเลือกสายทางจะเป็นทางหลวงในประเทศไทยที่รับผิดชอบโดยกรมทางหลวงที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน และเป็นผิวทางหลวงชนิดลาดยางเมื่อพิจารณาจากอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีของทุกสายทางหลวงในช่วง 5 ปีย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 - 2545 แสดงดังตารางที่ 3.6

จากตารางที่ 3.6 แสดงว่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีมีการเพิ่มขึ้นทุกปียกเว้นในปี พ.ศ.2541 ซึ่งอัตราการเพิ่มโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.22 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะใช้ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ในปี พ.ศ.2545 เป็นตัวกำหนดสายทางเริ่มต้น

ตารางที่ 3.6 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีของทุกสายทางหลวงปี พ.ศ.2540 - 2545

ปี	AADT (คัน / วัน)	เปอร์เซ็นต์เพิ่ม
2540	17,902,745	-
2541	16,870,624	- 5.76
2542	17,493,641	3.70
2543	18,369,608	5.01
2544	18,630,174	1.42
2545	18,957,754	1.76
เฉลี่ย	18,037,424	1.22

ที่มา: สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง

การตรวจสอบข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลที่นำมาพัฒนาแบบจำลองพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา โดยจะไม่นำสายทางที่มีการซ่อมบำรุงมาพัฒนาแบบจำลองตัวอย่างการพิจารณาคัดเลือก แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างการคัดเลือกค่าดัชนีความเรียบสากล

ชื่อสายทาง	ระยะทาง (กม.)	ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม./กม.)	
		2542	2543
กุดบาก - บ้านกลาง	15.57	2.32	2.80
น้ำพร - ปากคาน	23.89	4.71	2.10
ม่วงเหล็ก - กม.25+400	25.40	3.89	3.20

จากตารางที่ 3.7 ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2542 ของสายทางน้ำพร – ปากคาน และ มวกเหล็ก - กม.25+400 มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปซึ่งเกิดจากมีการซ่อมบำรุงสายทาง ไม่ว่าจะเป็นการเสริมผิวทาง การฉาบผิวทาง เป็นต้น โดยสายทางที่ได้รับการซ่อมบำรุงจะมีสภาพที่ดีขึ้นหรือมีความขรุขระน้อยลง เมื่อทำการสำรวจและเก็บรวบรวมค่าดัชนีความเรียบสากลจะทำให้มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับช่วงเวลาก่อน ซึ่งค่าดัชนีความเรียบสากลที่มีค่าลดลงจะไม่นำมาพิจารณาในการพัฒนาแบบจำลอง โดยสายทางที่นำมาพิจารณาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองจะเป็นสายทางที่ไม่ได้รับการซ่อมบำรุงรักษาในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยพิจารณาได้จากค่าดัชนีความเรียบสากลที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างสายทางกุดบาก – บ้านกลาง ที่มีค่าดัชนีความเรียบสากลที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลา 1 ปี

จากการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางได้สายทางหลวงทั้งหมด 931 สายทาง กระจายอยู่ทั่วประเทศซึ่งสายทางหลวงส่วนใหญ่จะเป็นผิวทางลาดยางชนิดเซอร์เฟสทรีตเมนต์ที่มีจำนวน 2 ช่องจราจร และเป็นทางหลวงที่มีหมายเลขสี่ตัว คือเป็นทางหลวงแผ่นดินสายรองประธานที่เชื่อมระหว่างจังหวัดกับอำเภอหรือสถานที่สำคัญของจังหวัดนั้น เช่น ทางหลวงหมายเลข 1001 เป็นทางหลวงในภาคเหนือ สายแยกทางหลวงหมายเลข 11 - อ.พร้าว ทางหลวงหมายเลข 4006 เป็นทางหลวงในภาคใต้ สายแยก ทางหลวงหมายเลข 4 (ราชกรูด) - หลังสวน เป็นต้น ระบบการแบ่งหมายเลขทางหลวง แสดงดังภาคผนวก ก ซึ่งสอดคล้องกับสายทางที่ได้คัดเลือกเนื่องจากสายทางที่นำมาใช้งานวิจัยนี้มีค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ซึ่งเป็นมาตรฐานขั้นต่ำของข้อกำหนดทางหลวงทั่วประเทศชั้นที่ 3 หรือมากกว่าและมีผิวทางที่เสนอแนะในลักษณะชั้นกลาง-สูง สรุปการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดได้สายทางหลวง แสดงดังตารางที่ 3.8

### 3.3 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง ขั้นตอนแรกเป็นการรวบรวมข้อมูล โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทาง คือค่าดัชนีความเรียบสากลและปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสภาพเสื่อมสภาพของผิวทาง คือ อายุของทาง ชนิดผิวทาง ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก ปริมาณน้ำฝนต่อปี ค่าความชื้นของภูมิภาค และสถานที่ตั้งของสายทาง ขั้นตอนที่สองเป็นการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา โดยการคัดเลือกสายทางจะเป็นผิวทางชนิดลาดยางและมีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง โดยพิจารณาสายทางจากอัตราการเพิ่ม – ลด

ตารางที่ 3.8 สรุปผลการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล

ข้อมูล	ภาค				รวม (จำนวน สายทาง)	เปอร์เซ็นต์
	เหนือ	อีสาน	กลาง	ใต้		
ผิวทาง เซอร์เฟสทรีตเมนต์	158	240	139	85	622	66.81
ผิวทาง พินิเตอร์ชั้นแมคคาดีม	13	19	10	13	55	5.91
ผิวทาง แอสฟัลท์คอนกรีต	89	63	53	49	254	27.28
จำนวน 2 ช่องจราจร	239	321	200	145	925	99.35
จำนวน 4 ช่องจราจร	1	1	2	2	6	0.65
หมายเลข ทางหลวง 1 ตั้ว	10	0	1	2	13	1.40
หมายเลข ทางหลวง 2 ตั้ว	4	3	1	2	10	1.07
หมายเลข ทางหลวง 3 ตั้ว	15	19	12	6	52	5.59
หมายเลข ทางหลวง 4 ตั้ว	231	300	188	137	856	91.94
จำนวนสายทาง	260	322	202	147	931	100.00
ระยะทาง (กม.)	4,948.9	6,239.1	2,815.1	2,268.5	16,271.6	-

ของปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในระยะเวลา 5 ปีย้อนหลัง ซึ่งสรุปได้ว่าอัตราการเพิ่มของปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีมีอัตราที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.22 ต่อปี ดังนั้นจึงใช้ค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ในปี พ.ศ.2545 เป็นตัวกำหนดสายทางเริ่มต้น ส่วนการตรวจสอบข้อมูลจะตรวจสอบสายทางของข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล โดยจะคัดเลือกสายทางที่ไม่มีการซ่อมบำรุงในระยะเวลาหนึ่งซึ่งพิจารณาจากค่าดัชนีความเรียบสากลที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป ส่วนสายทางที่มีค่าดัชนีความเรียบสากลลดลงเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าสายทางนั้นได้รับการซ่อมบำรุงรักษาซึ่งจะไม่นำมาพิจารณาในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง



สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงข้อมูลที่น่ามาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยาง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการนำข้อมูลอายุของทางและปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนของสภาพความเสียหายของผิวทาง เพื่อที่จะพิสูจน์ว่าปัจจัยทางด้านอายุของทางและปริมาณการจราจรมีผลกระทบต่อสมรรถนะการเสื่อมสภาพของผิวทาง ซึ่งจะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป

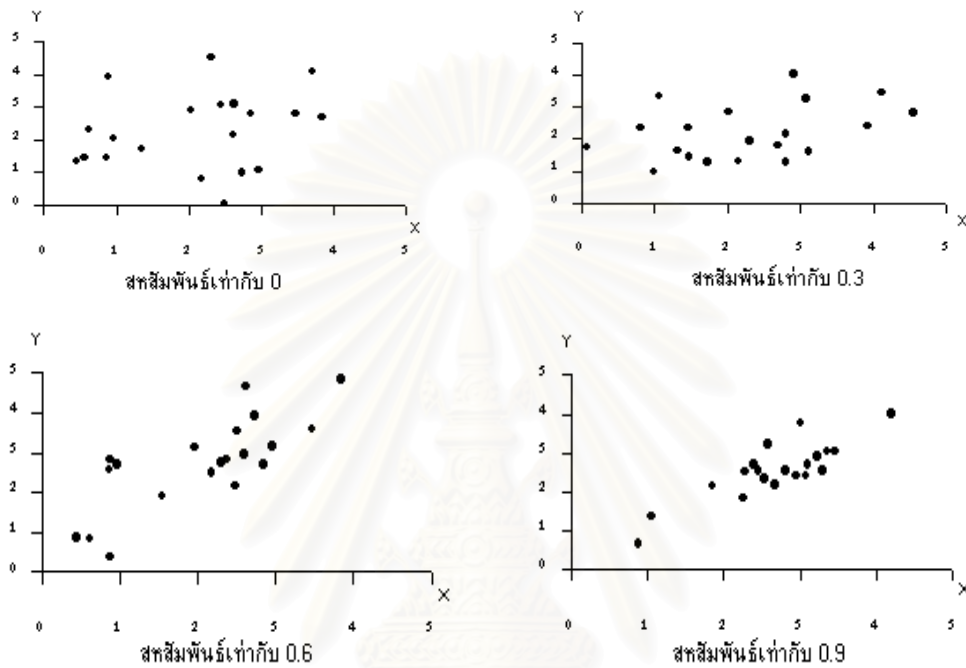
#### 4.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นตัววัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในเชิงเส้นตรง ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บอกถึงระดับความสัมพันธ์ว่ามากหรือน้อย ซึ่งคือการเกาะกลุ่มของจุดรอบๆ แนวเส้นตรงว่าใกล้ชิดหรือกระจายห่างจากเส้น เช่น

1. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0 จุดกระจายตัวไม่เกาะกลุ่มรอบเส้นตรง แม้ทราบค่าตัวแปร  $x$  ก็ไม่ช่วยให้ทราบเกี่ยวกับค่าตัวแปร  $y$  ดีขึ้น เพราะตัวแปรไม่เกี่ยวข้องกันในรูปแบบเส้นตรง
2. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.3 จุดเกาะกลุ่ม เริ่มเห็นรูปแบบของเส้นตรงบ้างเล็กน้อย ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างอ่อน ๆ
3. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.6 มองเห็นรูปแบบเส้นตรงชัดเจน ตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความเกี่ยวข้องกันมากขึ้น
4. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้ 1 จุดเกาะกลุ่มกันแนบแน่นขึ้นมากในแนวเส้นตรง ยิ่งค่าใกล้ 1 มากขึ้นเท่าใดความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรก็ยิ่งมากขึ้น

สหสัมพันธ์มีค่าไม่เกิน 1 ค่าสหสัมพันธ์ที่เท่ากับ 1 เรียกว่า สหสัมพันธ์อย่างสมบูรณ์ โดยจุดทั้งหมดจะตกบนแนวเส้นตรงพอดี ตัวแปรจึงมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงอย่างแท้จริงนั่นคือ ถ้าทราบค่าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งก็จะสามารถทำนายค่าตัวแปรอีกตัวได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างการกระจายข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่กล่าวมาเป็นค่าที่บอกระดับความสัมพันธ์ในทางบวก เมื่อค่าตัวแปร  $x$  เพิ่มขึ้นตัวแปร  $y$  จะเพิ่มขึ้นและเมื่อค่าตัวแปร  $x$  ลดลง

ตัวแปร  $y$  จะลดลง แต่ในบางครั้งตัวแปรอาจเกี่ยวข้องกันในทางลบก็ได้ กล่าวคือเมื่อค่าตัวแปร  $x$  เพิ่มขึ้นตัวแปร  $y$  จะลดลง และเมื่อค่าตัวแปร  $x$  ลดลงตัวแปร  $y$  จะเพิ่มขึ้น เช่น รถยนต์ที่มีขนาดเครื่องยนต์มากจะกินน้ำมันมาก ดังนั้นระยะทางที่รถวิ่งได้ต่อน้ำมัน 1 ลิตร มีความสัมพันธ์ทางลบกับขนาดเครื่องยนต์

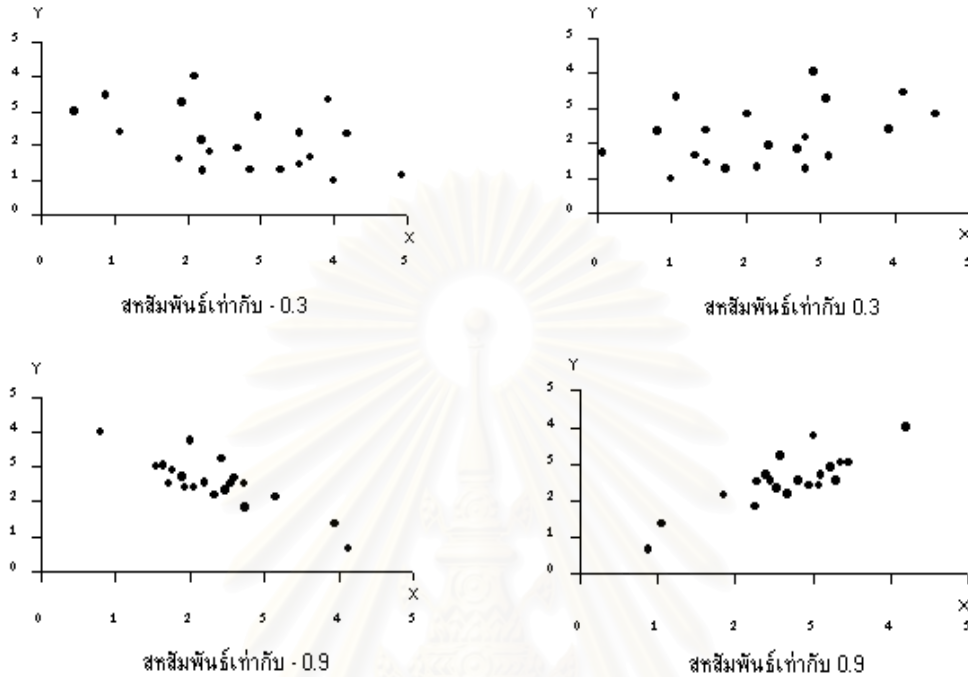


รูปที่ 4.1 การกระจายของข้อมูล 4 ชุดที่มีค่ากลางและการกระจายเหมือนกันแต่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน

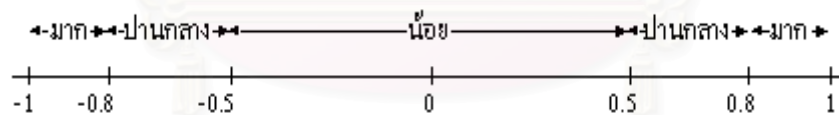
ความสัมพันธ์ในทางลบจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เป็นลบ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใกล้  $-1$  จุดจะเกาะกลุ่มแน่นเป็นแนวเส้นตรงในแผนภาพการกระจาย โดยเส้นตรงนั้นเป็นเส้นที่ลาดลงจากมุมบนซ้ายไปยังมุมล่างขวา นั่นคือถ้าเส้นตรงชันสูงขึ้นไปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเป็นบวกและถ้าเส้นตรงลาดลงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเป็นลบ หากจุดทุกจุดตกบนเส้นตรงที่ลาดลง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น  $-1$  นั่นคือ ตัวแปรมีสหสัมพันธ์เป็นลบอย่างสมบูรณ์ สำหรับสหสัมพันธ์เล็กน้อยทางลบ ก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใกล้ศูนย์ทางลบ เช่น  $-0.3$  แสดงดังรูปที่ 4.2

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง  $-1$  และ  $1$  เสมอ เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ขนาดของค่าบอกถึงระดับความสัมพันธ์ว่าสูงต่ำเพียงใด โดยที่ขนาดของค่าไม่ขึ้นกับหน่วยวัดของตัวแปร รูปที่ 4.3 แสดงการแบ่งช่วงของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่บอกความสัมพันธ์ระดับต่างๆ ในส่วนเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บอทิศทางการความสัมพันธ์ว่าสองตัวแปรมีการแปรผันค่า

ตามกันอย่างไร ค่าจะเป็นบวกเมื่อตัวแปรหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอีกตัวแปรก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยและค่าเป็นลบเมื่อตัวแปรหนึ่งค่าเพิ่มขึ้นอีกตัวแปรค่าลดลง



รูปที่ 4.2 แผนภาพการกระจายของข้อมูลที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวกและลบ



รูปที่ 4.3 ระดับความสัมพันธ์สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สัญลักษณ์แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ r เมื่อรวบรวมข้อมูลของตัวแปร x และ y มาจำนวน n คู่ คือ  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  ก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ตามสมการที่ 4.1

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \tag{4.1}$$



## 4.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำคือ มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ดังนั้นควรทำการตรวจสอบก่อนว่าปัจจัยด้านปริมาณการจราจรในสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีต่ำมีผลกระทบกับการเสื่อมสภาพของผิวทางหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทาง ส่วนปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบกับความเสียหายของผิวทางอื่นๆ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี ชนิดผิวทาง ความชันของภูมิประเทศ และสถานที่ตั้ง จะไม่นำมาวิเคราะห์ในส่วนแรก ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางในบทต่อไป

การตรวจสอบว่าปัจจัยด้านปริมาณการจราจรมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของผิวทางหรือไม่ ต้องทำการตรวจสอบก่อนว่าปัจจัยด้านอายุของทางมีผลกระทบกับการเสื่อมสภาพของผิวทางก่อน โดยการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทางคือ ค่าดัชนีความเรียบสากล กับปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบกับความเสียหายของผิวทางคือ อายุของทาง

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences: SPSS ซึ่งเป็นที่นิยมใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใช้วิธี Pearson Correlation

Pearson Correlation เป็นการแสดงความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นของตัวแปร 2 ตัว ที่ไม่คำนึงถึงตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องเลย โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์วิธี Pearson Correlation นั้นต้องมีการแจกแจงแบบปกติ การตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ สามารถตรวจสอบได้ 2 วิธี ได้แก่ การใช้กราฟ เช่น ฮิสโตแกรม แผนภาพลำต้นและใบ และ Normal Probability Plot กับการใช้สถิติทดสอบ เช่น Kolmogorov - Smirnov Test และ Levene's Test โดยงานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบทั้ง 2 วิธี ได้แก่ การตรวจสอบทางสถิติทดสอบใช้ Kolmogorov - Smirnov Test และการตรวจสอบโดยใช้กราฟใช้ ฮิสโตแกรม (Histogram)

Kolmogorov - Smirnov Test เป็นการเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันการแจกแจงของข้อมูลตัวอย่างกับค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของข้อมูล ภายใต้สมมติฐานว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบ

ปกติ แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยถ้าค่าความแตกต่างต่ำแสดงว่าการแจกแจงเป็นแบบปกติ การตรวจสอบโดยต้องตั้งสมมติฐานว่าข้อมูลที่นำมาตรวจสอบมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ขึ้นมาก่อน ผลการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.2 ส่วนผลการตรวจสอบโดยใช้กราฟฮิสโตแกรม แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

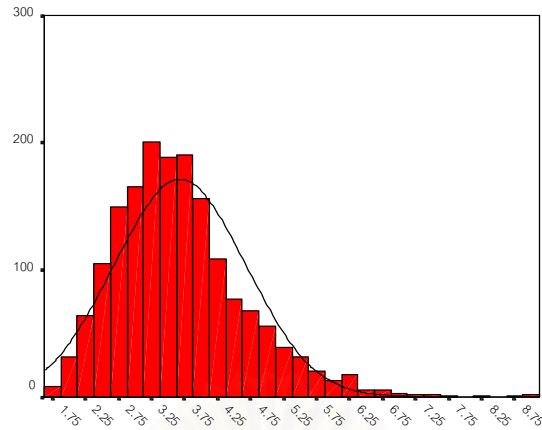
ตารางที่ 4.1 สมมติฐานของข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	สมมติฐาน
ค่าดัชนีความเรียงสากล	$H_0$ : ค่าดัชนีความเรียงสากลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ $H_1$ : ค่าดัชนีความเรียงสากลมีการแจกแจงแบบปกติ
อายุของทาง	$H_0$ : อายุของทางไม่มีการแจกแจงแบบปกติ $H_1$ : อายุของทางมีการแจกแจงแบบปกติ

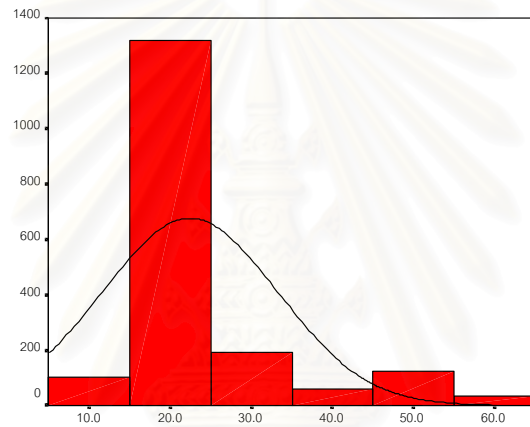
ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติโดยใช้สถิติทดสอบ

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	Kolmogorov - Smirnov	
	Statistic	Sig.
ค่าดัชนีความเรียงสากล	0.070	0.000
อายุของทาง	0.400	0.000

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่นำมาตรวจสอบทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นค่าดัชนีความเรียงสากลและอายุของทางมีค่า Sig. เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน  $H_1$  ของทั้งข้อมูลค่าดัชนีความเรียงสากลและอายุของทางคือ ข้อมูลที่ตรวจสอบมีการแจกแจงแบบปกติ และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 และ 4.5 กราฟฮิสโตแกรมของข้อมูลค่าดัชนีความเรียงสากลและอายุของทางมีการแจกแจงที่มีในลักษณะค่อนข้างสมมาตรกัน แสดงว่าข้อมูลค่าดัชนีความเรียงสากลและอายุของทางที่นำมาวิเคราะห์มีการแจกแจงแบบปกติทั้งสิ้น



รูปที่ 4.4 แผนภาพการกระจายของข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล



รูปที่ 4.5 แผนภาพการกระจายของข้อมูลอายุของทาง

เมื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีการแจกแจงแบบปกติแล้ว ขั้นตอนต่อไป ทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทาง ( $\Delta IRI$  กับ  $\Delta AGE$ ) มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเส้นตรงหรือไม่ สามารถตรวจสอบทางสถิติโดยการกำหนดสมมติฐานขึ้นมา ก่อน ผลการวิเคราะห์สมมติฐานและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แสดงดังตารางที่ 4.3

สมมติฐาน

$H_0$  : ค่า  $\Delta IRI$  กับค่า  $\Delta AGE$  ไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเส้นตรง

$H_1$  : ค่า  $\Delta IRI$  กับค่า  $\Delta AGE$  มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเส้นตรง

ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\Delta$ IRI กับ  $\Delta$ AGE

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	N
$\Delta$ IRI กับ $\Delta$ AGE	0.738	0.000	1,834

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากล ( $\Delta$ IRI) กับค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทาง ( $\Delta$ AGE) มีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.738 ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 และค่า Sig. เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.01 แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน  $H_1$  คือค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทาง มีความสัมพันธ์ในรูปเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน สรุปได้ว่าเมื่ออายุของทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าดัชนีความเรียบสากลเพิ่มขึ้นตามด้วย

#### 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับการเสื่อมสภาพของผิวทาง

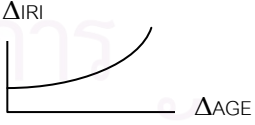

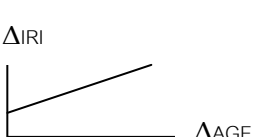
จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แสดงว่าปัจจัยทางด้านอายุของทางมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของผิวทาง การตรวจสอบว่าปัจจัยทางด้านปริมาณการจราจรมีผลกับการเสื่อมสภาพของผิวทางหรือไม่นั้น จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับอายุของทาง โดยการวิเคราะห์ความถดถอยที่แบ่งข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณให้กลายเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม ตามตารางที่ 3.2

การวิเคราะห์ความถดถอย เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัวหนึ่งเรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependent variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่เรียกว่า ตัวแปรอิสระ (Independent variable) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ที่เป็นการทดสอบว่าความถดถอยสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีเพียงใดนั้น ซึ่งการวิเคราะห์ความถดถอยควรจะทำการศึกษาหาค่าของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination) ใช้สัญลักษณ์  $R^2$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตามจะเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระมากน้อยเพียงใด ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

- ถ้า  $R^2$  มีค่าสูง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามจากตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในสมการความถดถอยนั้นได้ดี เพราะตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก
- ถ้า  $R^2$  มีค่าต่ำ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามจะไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในสมการความถดถอยนั้น เพราะตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก
- ถ้า  $R^2$  มีค่าเป็น 0 แสดงว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กัน

แบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยที่พัฒนาขึ้นจะเป็นการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) จากค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทาง ( $\Delta AGE$ ) ที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งกำหนดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลเป็นตัวแปรตาม และค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทางเป็นตัวแปรอิสระ โดยใช้โปรแกรม SPSS เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ความถดถอย ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาสมการแสดงความสัมพันธ์เพื่อดูแนวโน้มของข้อมูลระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทางที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้รูปแบบสมการได้แก่ Linear, Cubic, Power, Compound, Exponential, S, Logistic, Inverse และ Growth ผลวิเคราะห์รูปแบบสมการแสดงความสัมพันธ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด 3 สมการ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและลักษณะกราฟของสมการต่างๆ

รูปแบบสมการ	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )	ลักษณะกราฟ
Exponential	0.342	
Power	0.358	
Linear	0.544	

พบว่าสมการในรูปเชิงเส้นตรง (Linear) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด เท่ากับ 0.544 ดังนั้นจะเลือกใช้ฟังก์ชันเชิงเส้นตรง ในการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองต่อไป ส่วนวิธีทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ สมการถดถอยรอบจุดศูนย์ (แบบไม่มีค่าคงที่ในสมการ) ผลการวิเคราะห์ความถดถอย แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากล กับค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทาง ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

AADT (คัน/วัน)	$\Delta IRI = B \Delta AGE$		Sig. B	N
	R <sup>2</sup>	B		
0 - 300	0.741	0.329	0.000	167
300 - 1,000	0.729	0.342	0.000	745
1,000 - 2,000	0.770	0.356	0.000	713
รวม	0.753	0.340	0.000	1,625

จากตารางที่ 4.5 ค่า B คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอย ในสมการถดถอยของค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทางของสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 0 - 300 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 300 - 1,000 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 1,000 - 2,000 คัน/วัน และปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีทั้งหมดในช่วง 0 - 2,000 คัน/วัน มีค่าเท่ากับ 0.329 0.342 0.356 และ 0.340 ตามลำดับ โดยมีค่า Sig. เท่ากับ 0.000 ของทุกช่วงปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่า มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ตัวอย่างสมการวิเคราะห์ความถดถอยของค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทางของสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีทั้งหมดในช่วง 0 - 2,000 แสดงดังสมการที่ 4.2

$$\Delta IRI = 0.340 \Delta AGE \quad (4.2)$$

โดยที่  $\Delta IRI$  = ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากล (ม./กม.)

$\Delta AGE$  = ค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทาง (ปี)

โดยทั่วไปแล้วค่าดัชนีความเรียบสากจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเพิ่มขึ้นของอายุของทาง ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบของสมการการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากในช่วงระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงได้ ดังสมการที่ 4.3

$$IRI_{i+1} = IRI_i + \Delta IRI \quad (4.3)$$

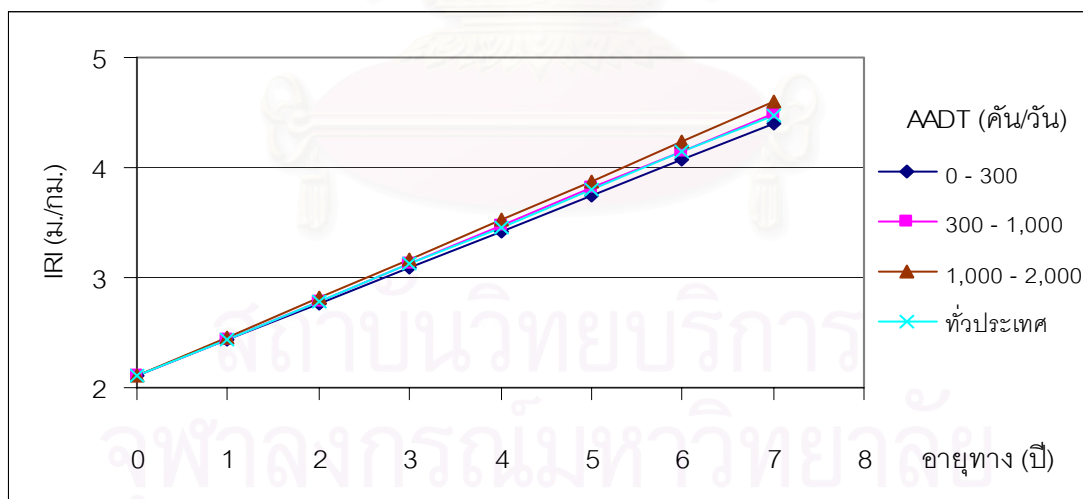
จากสมการที่ 4.3 สามารถนำไปประยุกต์ในการพัฒนาแบบจำลอง โดยนำสมการความถดถอยที่ได้ จากสมการที่ 4.2 โดยแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่ได้โดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย ดังสมการที่ 4.4

$$IRI_{i+1} = IRI_i + 0.340 \Delta AGE \quad (4.4)$$

โดยที่  $IRI_{i+1}$  = ค่าพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากของปีถัดไป (ม./กม.)

$IRI_i$  = ค่าดัชนีความเรียบสากของปีที่  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

จากสมการที่ 4.4 เมื่อค่าดัชนีความเรียบสากเริ่มต้นเท่ากับ 2.10 ค่าดัชนีความเรียบสากที่ระยะเวลาต่างๆ ที่แบ่งตามค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าดัชนีความเรียบสากที่เวลาต่างๆ แบ่งตามปริมาณการจราจร

จากรูปที่ 4.6 ค่าดัชนีความเรียบสากที่ระยะเวลาต่างๆ ที่แบ่งตามค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี มีการเพิ่มขึ้นทุกปีและค่าดัชนีความเรียบสากที่ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันในช่วง 1,000 – 2,000 คัน/วัน มีการเพิ่มสูงที่สุด ตามด้วยค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันในช่วง

300 – 1,000 คัน/วัน และค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันในช่วง 0 – 300 คัน/วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางด้านปริมาณการจราจรมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหาย โดยปัจจัยทางด้านอายุของทางและปริมาณการจราจรจะนำไปพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางต่อไป

#### 4.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงและเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทางคือ ค่าดัชนีความเรียบสากล กับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผิวทางคือ ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดและอายุของทาง ขั้นตอนแรก เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยใช้ 2 วิธีในการตรวจสอบ ได้แก่ วิธีใช้กราฟคือ กราฟฮิสโตแกรม และวิธีการใช้สถิติทดสอบคือ Kolmogorov - Smirnov Test ผลการตรวจสอบปรากฏว่าข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทั้งหมดมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ขั้นตอนที่สอง เป็นการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และวิเคราะห์สมมติฐานว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ในรูปเส้นตรงหรือไม่ ควบคู่กันไป ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากล ( $\Delta IRI$ ) กับค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทาง ( $\Delta AGE$ ) มีความสัมพันธ์กัน คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.738 และยอมรับสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ในรูปเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญ ขั้นตอนที่สาม วิเคราะห์ว่าข้อมูลค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของผิวทางหรือไม่ โดยการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่าการเปลี่ยนแปลงค่าอายุของทางมาสร้างกราฟที่ระยะเวลาต่างๆ โดยแบ่งกลุ่มข้อมูลค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีออกเป็น 3 กลุ่ม ตามมาตรฐานชั้นทางหลวง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านปริมาณการจราจรมีผลกระทบต่อค่าการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยที่ค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 1,000 – 2,000 คัน/วัน มีการเสื่อมสภาพของผิวทางสูงกว่าค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 300 - 1,000 คัน/วัน และค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 0 – 300 ตามลำดับ ดังนั้นปัจจัยทางด้านอายุของทางและปริมาณการจราจร จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง ในขั้นตอนต่อไป



## บทที่ 5

### การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยใช้ค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทาง ร่วมกับปัจจัยทางด้านอายุของทางและปริมาณการจราจรที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของผิวทาง

#### 5.1 แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain Model)

แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ เป็นวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรที่สนใจในปัจจุบัน เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมของตัวแปรนั้นในอนาคต โดยอาศัยข้อมูลในปัจจุบันเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นและมีความต่อเนื่องกัน แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟถูกพัฒนาขึ้นโดยนักคณิตศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ Andrei A. Markov เพื่ออธิบายและพยากรณ์พฤติกรรมของก๊าซในถังปิด ต่อมาได้มีผู้นำแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟมาประยุกต์ใช้การอธิบายปัญหาต่างๆ เช่น เศรษฐศาสตร์ ประชากรศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เป็นต้น สำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมทางได้ประยุกต์ใช้ในระบบบริหารการซ่อมบำรุงทาง (Haas, 1978) ระบบบริหารการซ่อมบำรุงสะพาน (Hawk, 1995) การวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมของทางต่างๆ เป็นต้น แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ มีสมมุติฐานที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

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

ให้  $X_n$  เป็นกระบวนการสุ่ม จะกล่าวว่า  $X_n$  มีคุณสมบัติของมาร์คอฟ ตามสมการที่ 5.1

$$P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_1 = i_1, X_2 = i_2, \dots, X_n = i_n) = P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n) \quad (5.1)$$

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

เนื่องจากข้อมูลค่าดัชนีความเรียบร้อยสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมมีไม่ต่อเนื่องกันทุกปี จึงเป็นข้อดีของแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่ใช้ข้อมูลค่าดัชนีความเรียบร้อยสากลปัจจุบันเท่านั้นในการพิจารณาซึ่งทำให้ง่ายต่อการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟจะใช้ข้อมูลค่าดัชนีความเรียบร้อยสากลในช่วงระยะเวลา 2 ปีที่ต่อเนื่องกัน เพื่อทำการหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของแบบจำลอง โดยมีสมมติฐานว่าเป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Markov Chain) คือเป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่มีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟให้ความสนใจกับโอกาสในการเปลี่ยนสถานะของระบบที่กำลังศึกษาว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรในแต่ละช่วงเวลา โดยสามารถที่จะแจกแจงสถานะของระบบที่ทำการศึกษาจากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันและอาศัยหลักสถิติและความน่าจะเป็นมาประยุกต์ ในการบ่งบอกถึงสถานะภาพว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เพื่อทำการพยากรณ์ถึงอนาคตที่จะเกิดให้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผู้พยากรณ์สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟจะมีใช้แบบจำลองสำหรับการตัดสินใจโดยตรงแต่เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อประกอบการวางแผนรองรับต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

### 5.1.1 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

เพื่อให้เข้าใจถึงขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟนั้นต้องเข้าใจถึงความหมายของเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ เวกเตอร์สถานะสภาพ เวกเตอร์สถานะเริ่มต้น เวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง และสถานะสภาพของผิวทาง ดังนี้

- เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ (Transition Matrix) เป็นจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจากสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่งในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยแสดงเป็นตารางเมทริกซ์ ดังรูปที่ 5.1

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

รูปที่ 5.1 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ

โดยที่  $n_{ij}$  เป็นจำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจาก  $i$  ไป  $j$  ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

— ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability) เป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่ง โดยวิธีคำนวณความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะสภาพ ใช้สมการของ Maximum Likelihood Estimator (Hawk, 1995) แสดงตามสมการที่ 5.2

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_i n_{ij}} \quad (5.2)$$

โดยที่  $P_{ij}$  = ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจาก  $i$  ไป  $j$

$n_{ij}$  = จำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะจาก  $i$  ไป  $j$

$\sum_i n_{ij}$  = ผลรวมข้อมูลทั้งหมดที่เปลี่ยนจากสถานะ  $i$

— เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability Matrix) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะสภาพ ของตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ ตัวอย่างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ แสดงดังรูปที่ 5.2

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

รูปที่ 5.2 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ

โดยที่  $P_{ij}$  เป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจาก  $i$  ไป  $j$  ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

- เวกเตอร์สถานะสภาพ (Condition State Vector: CSV) เป็นเวกเตอร์ที่แสดงสถานะสภาพของผิวทางต่างๆ มีขนาดเท่ากับ  $1 \times n$  เมทริกซ์ โดยที่  $n$  คือ จำนวนสถานะสภาพของผิวทาง เช่น [1 2 3 4 5] เมื่อ  $n$  เท่ากับ 5
- เวกเตอร์สถานะเริ่มต้น (Initial State Vector: ISV) เป็นเวกเตอร์ที่แสดงสถานะสภาพของผิวทางที่ระยะเวลาเริ่มต้น มีขนาดเท่ากับ  $1 \times n$  เมทริกซ์ โดยที่  $n$  คือ จำนวนสถานะสภาพของผิวทาง เช่น [1 0 0 0 0] เมื่อ  $n$  เท่ากับ 5
- เวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State Vector at Time  $t$ : PCSV) เป็นเวกเตอร์ที่แสดงความน่าจะเป็นของสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ โดยผลรวมของแถวในเวกเตอร์จะเท่ากับ 1 เสมอ การคำนวณเวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทางใช้สมการของ Chapman - Kolmogorov Equation (Hawk, 1995) ตามสมการที่ 5.3

$$PCSV(t) = ISV(0) \times P^t \quad (5.3)$$

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

ISV(0) = เวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง ณ เวลาเริ่มต้น

$P$  = เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ

$t$  = อายุของผิวทาง (ปี)

— สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State: PCS) เป็นค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ โดยการหาพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถคำนวณ ตามสมการที่ 5.4

$$PCS(t) = PCSV \times CSV^t \quad (5.4)$$

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

$CSV^t$  = เวคเตอร์สถานะสภาพผกผัน

การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. จัดกลุ่มข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางในลักษณะต่างๆ
2. กำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ
3. คำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
4. คำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
5. คำนวณค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาต่างๆ
6. คำนวณค่าดัชนีความเรียบสากลที่เวลาต่างๆ

### 5.1.2 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทางในการพยากรณ์การเสื่อมสภาพของผิวทางในอนาคต แต่เนื่องจากค่าดัชนีความเรียบสากลที่รวบรวมมาเป็นข้อมูลตัวแปรเชิงปริมาณ ทำให้ขั้นตอนการกำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะทำได้ยาก ดังนั้นต้องทำให้ค่าดัชนีความเรียบสากลเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มโดยการจัดกลุ่มลักษณะสภาพของผิวทาง ซึ่งจากลักษณะสภาพของผิวทางตามค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดโดยกรมทางหลวง แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ลักษณะสภาพผิวทางของค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดโดยกรมทางหลวง

ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม./กม.)	ลักษณะสภาพผิวทาง
0 – 3	เรียบ
3 – 4	ขรุขระน้อย
4 – 5	ขรุขระปานกลาง
> 5	ขรุขระมาก

เนื่องจากสภาพความเรียบของผิวทางเมื่อได้รับการบูรณะเสริมผิวทางใหม่ จากข้อมูลทั้ง 931 สายทางที่รวบรวมมามีค่าดัชนีความเรียบสากลระหว่าง 1.8 – 2.2 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.1 ซึ่งเท่ากับงานวิจัยของประพนธ์ (ประพนธ์และคณะ, 2542) ดังนั้นการกำหนดค่าดัชนีความเรียบสากลให้เป็นตัวแปรเชิงกลุ่มจะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ตามสถานะสภาพของผิวทาง โดยจะเพิ่มค่าดัชนีความเรียบสากลในช่วงที่ได้รับการบูรณะเสริมผิวทางใหม่ แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สถานะสภาพของผิวทางที่ค่าดัชนีความเรียบสากลต่างๆ

ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม./กม.)	สถานะสภาพของผิวทาง
0 – 2.2	1
2.2 – 3	2
3 – 4	3
4 – 5	4
> 5	5

ดังนั้น เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะสภาพที่แบ่งค่าดัชนีความเรียบสากลเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม แสดงดังรูปที่ 5.3

$$n_{ij} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} & n_{15} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} & n_{25} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} & n_{35} \\ n_{41} & n_{42} & n_{43} & n_{44} & n_{45} \\ n_{51} & n_{52} & n_{53} & n_{54} & n_{55} \end{bmatrix}$$

รูปที่ 5.3 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะสภาพของค่าดัชนีความเรียงสากล

จากข้อมูลค่าดัชนีความเรียงสากลของสายทางหลวงจำนวน 931 สายทาง สามารถหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะที่แบ่งค่าดัชนีความเรียงสากลได้ 1,691 ข้อมูล แสดงดังรูปที่ 5.4

จากรูปที่ 5.4 จำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจาก  $n_{21}$ ,  $n_{31}$ ,  $n_{32}$ ,  $n_{41}$ ,  $n_{42}$ ,  $n_{43}$ ,  $n_{51}$ ,  $n_{52}$ ,  $n_{53}$  และ  $n_{54}$  ไม่มี เนื่องจากข้อมูลค่าดัชนีความเรียงสากลที่นำมาพัฒนาแบบจำลองนั้นจะเป็นข้อมูลของสายทางที่ไม่มีการซ่อมบำรุงคือ ค่าดัชนีความเรียงสากลจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของทางเพิ่มขึ้น ส่วนจำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจาก  $n_{14}$  มีเท่ากับ 2 จำนวน และจำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจาก  $n_{15}$ ,  $n_{25}$  ไม่มีจำนวนข้อมูล แสดงให้เห็นว่าค่าการเปลี่ยนสถานะสภาพส่วนใหญ่จะไม่เปลี่ยนสถานะสภาพเกิน 2 ชั้น ข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพเกิน 2 ชั้น อาจเกิดจากสายทางในช่วงปีนั้นคุณภาพการบูรณะซ่อมแซมไม่ดีหรือว่าเกิดภัยธรรมชาติทำให้ทางเสื่อมสภาพเร็วกว่าที่ออกแบบไว้ เป็นต้น ทำให้ทางเกิดการเสื่อมสภาพรวดเร็ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จะไม่นำจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพเกิน 2 ชั้น ได้แก่  $n_{14}$ ,  $n_{15}$  และ  $n_{25}$  มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะที่แบ่งค่าดัชนีความเรียงสากลที่คัดเลือกข้อมูล  $n_{14}$ ,  $n_{15}$ ,  $n_{21}$ ,  $n_{25}$ ,  $n_{31}$ ,  $n_{32}$ ,  $n_{41}$ ,  $n_{42}$ ,  $n_{43}$ ,  $n_{51}$ ,  $n_{52}$ ,  $n_{53}$  และ  $n_{54}$  ออก แสดงดังรูปที่ 5.5

$$\begin{bmatrix} 8 & 42 & 8 & 2 & 0 \\ 0 & 131 & 179 & 24 & 0 \\ 0 & 0 & 407 & 266 & 33 \\ 0 & 0 & 0 & 227 & 166 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 198 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 5.4 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียงสากล จำนวน 931 สายทาง

$$n_{ij} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & 0 & 0 \\ 0 & n_{22} & n_{23} & n_{24} & 0 \\ 0 & 0 & n_{33} & n_{34} & n_{35} \\ 0 & 0 & 0 & n_{44} & n_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & n_{55} \end{bmatrix}$$

รูปที่ 5.5 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล ที่คัดเลือกข้อมูลออก

ดังนั้น การคำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะก็จะเปลี่ยนตามเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล และความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะสภาพเท่ากับ 5 ไปสถานะสภาพเท่ากับ 5 ( $P_{55}$ ) จะเท่ากับ 1 เสมอ แสดงดังรูปที่ 5.6

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & P_{24} & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & P_{34} & P_{35} \\ 0 & 0 & 0 & P_{44} & P_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 5.6 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล

เมื่อได้ค่าเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะแล้ว ขั้นตอนต่อไปทำการคำนวณหาค่าเวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (PCSV) กับค่าสถานะสภาพของผิวทาง (PCS) ที่ระยะเวลาต่างๆ จากสมการที่ 5.3 และสมการที่ 5.4 ตามลำดับ ก็จะได้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่แสดงสถานะสภาพของค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ

เนื่องจากค่าสถานะสภาพของผิวทาง (PCS) ที่ได้จะเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มของค่าดัชนีความเรียบสากล ดังนั้นจำเป็นต้องแปลงค่าสถานะสภาพของผิวทางที่ระยะเวลาต่างๆ ให้เป็นตัวแปรเชิง



ปริมาณ เพื่อที่จะแสดงค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ โดยใช้สมการคำนวณตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สมการแปลงค่าสถานะสภาพของผิวทางเป็นค่าดัชนีความเรียบสากล

ช่วงของค่าสถานะสภาพ	ค่าดัชนีความเรียบสากล
1 – 2	$2.1 + [0.5 \times (PCS(t) - 1)]$
2 – 3	$2.6 + [0.9 \times (PCS(t) - 2)]$
3 – 4	$3.5 + [1.0 \times (PCS(t) - 3)]$
4 – 5	$4.5 + [1.0 \times (PCS(t) - 4)]$

ตัวเลข 2.1 2.6 3.5 และ 4.5 จากตารางที่ 5.4 เป็นค่ากลางของสถานะสภาพของผิวทางที่ 1 2 3 และ 4 จากตารางที่ 5.2 ตามลำดับ

ตัวอย่างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ทั่วประเทศ โดยใช้ค่าดัชนีความเรียบสากลเริ่มต้นเท่ากับ 2.1 ม./กม. ดังนั้น เวกเตอร์สถานะเริ่มต้น (ISV) คือ [1 0 0 0 0] เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ แสดงดังตารางที่ 5.4 ค่าเวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (PCSV) ค่าสถานะสภาพของผิวทาง (PCS) และค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) ที่ระยะเวลาต่างๆ ผลการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 5.5

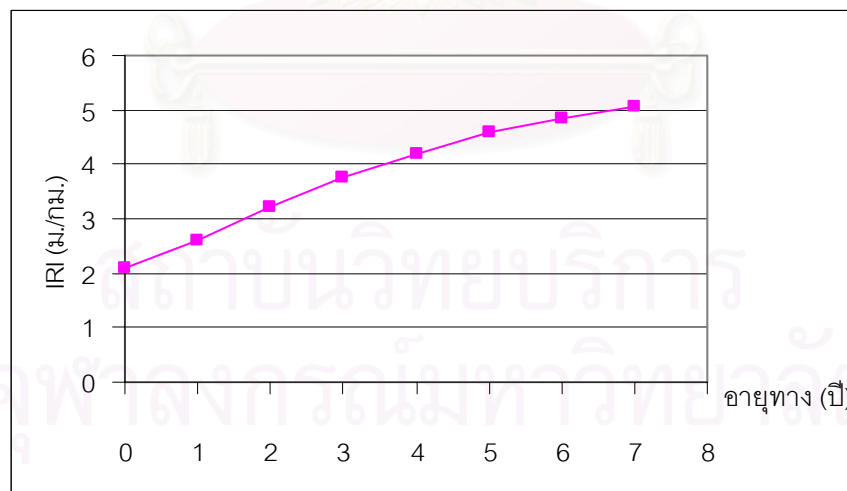
ตารางที่ 5.4 เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของสายทางทั่วประเทศ

ลักษณะ	เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ	เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
ทั่วประเทศ	$\begin{bmatrix} 8 & 42 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 131 & 179 & 24 & 0 \\ 0 & 0 & 407 & 266 & 33 \\ 0 & 0 & 0 & 227 & 166 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 198 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.138 & 0.724 & 0.138 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.392 & 0.536 & 0.072 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.576 & 0.377 & 0.047 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.578 & 0.422 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$

ตารางที่ 5.5 ค่าเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง สถานะสภาพของผิวทาง และค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ ของสายทางทั่วประเทศ

ปี	PCSV(t)	PCS(t)	IRI(t) (ม./กม.)
0	[ 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 ]	1.000	2.10
1	[ 0.138 0.724 0.138 0.000 0.000 ]	2.000	2.60
2	[ 0.019 0.384 0.487 0.104 0.006 ]	2.695	3.23
3	[ 0.003 0.164 0.489 0.271 0.073 ]	3.428	3.75
4	[ 0.000 0.066 0.370 0.353 0.210 ]	3.706	4.21
5	[ 0.000 0.026 0.249 0.348 0.377 ]	4.075	4.57
6	[ 0.000 0.010 0.158 0.297 0.535 ]	4.357	4.86
7	[ 0.000 0.004 0.096 0.232 0.668 ]	4.563	5.06

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ทั่วประเทศ แสดงดังรูปที่ 5.7



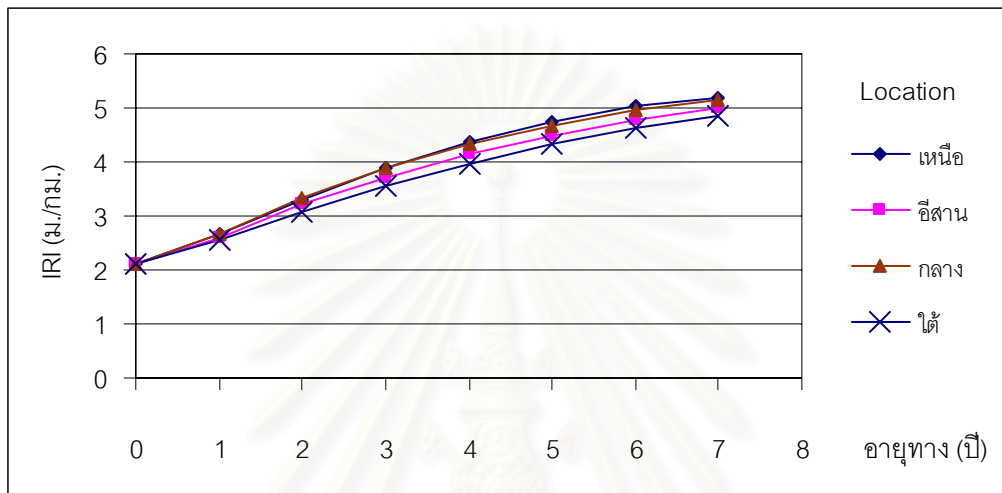
รูปที่ 5.7 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ ของสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ทั่วประเทศ

## 5.2 การทดสอบปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง

การทดสอบว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง กระทำโดยการสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่แบ่งค่าดัชนีความเรียบสากลตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางในแต่ละชนิด ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลตามปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี เพอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี ที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณทำให้เป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม ตามตารางที่ 3.2 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ กับปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อผิวทางที่เป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม ได้แก่ สถานที่ตั้งชนิดผิวทางจราจร และความชันของภูมิประเทศ ถ้าแบบจำลองที่สร้างโดยการแบ่งปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางในแต่ละชนิดมีลักษณะการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลไม่เท่ากัน แสดงว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางตัวนั้นส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง แต่ถ้าแบบจำลองที่สร้างโดยการแบ่งปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางในแต่ละชนิดมีลักษณะการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลเท่ากัน แสดงว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางตัวนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง เช่น แบบจำลองที่แบ่งข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลตามปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี สามารถสร้างแบบจำลองได้ 3 แบบจำลอง ตามกลุ่มของค่าปริมาณการจราจรที่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 0 – 300 300 -1,000 และ 1,000 – 2,000 คัน/วัน ตามลำดับ ถ้าแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง มีการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลไม่เท่ากัน เช่น แบบจำลองตามปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 1,000 – 2,000 คัน/วัน มีการเพิ่มสูงกว่าแบบจำลองตามปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 300 -1,000 และ 0 – 300 ตามลำดับ แสดงว่าปัจจัยทางด้านปริมาณการจราจรส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง แต่ถ้าการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลในแต่ละแบบจำลองมีลักษณะเท่ากันทั้งสามแบบจำลอง แสดงว่าปัจจัยทางด้านปริมาณการจราจรไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง

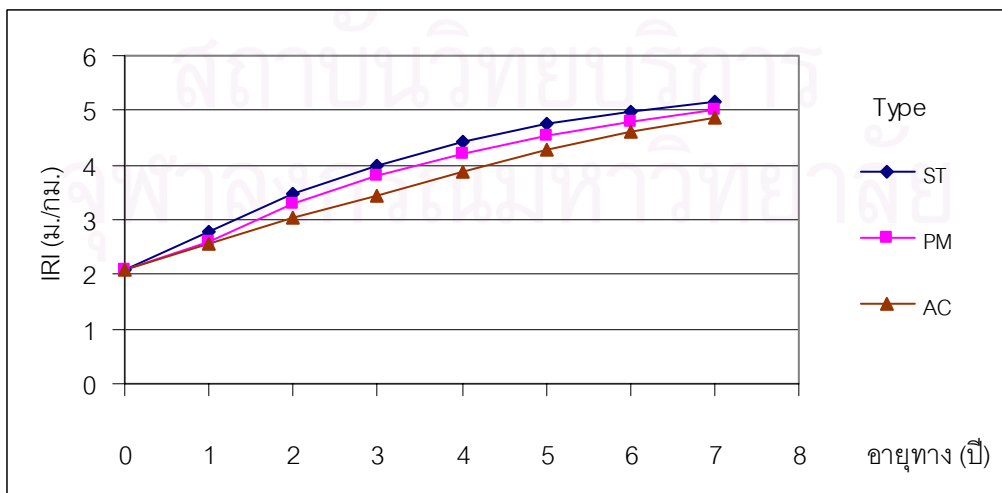
ขั้นตอนต่อไป ทำการคำนวณหาเมตริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล ที่แบ่งปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางออกเป็นกลุ่มๆ แสดงดังภาคผนวก ข. ในตารางที่ ข-1 จำนวนข้อมูลค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีและความลาดชันของภูมิประเทศที่นำมาคำนวณหาเมตริกซ์การเปลี่ยนสถานะนั้นมีไม่ครบ 1,689 ข้อมูล เนื่องจากข้อมูลค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีและความลาดชันของสายทางมีไม่ครบทุกสายทางของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์

ดังนั้น การทดสอบปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง โดยใช้แบบจำลองวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ของค่าดัชนีความเรียบสากลที่แบ่งปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางออกเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ สถานที่ตั้ง ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี และความชื้นของภูมิภาค สามารถพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.8 – 5.13



รูปที่ 5.8 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามสถานที่ตั้ง (ภาค)

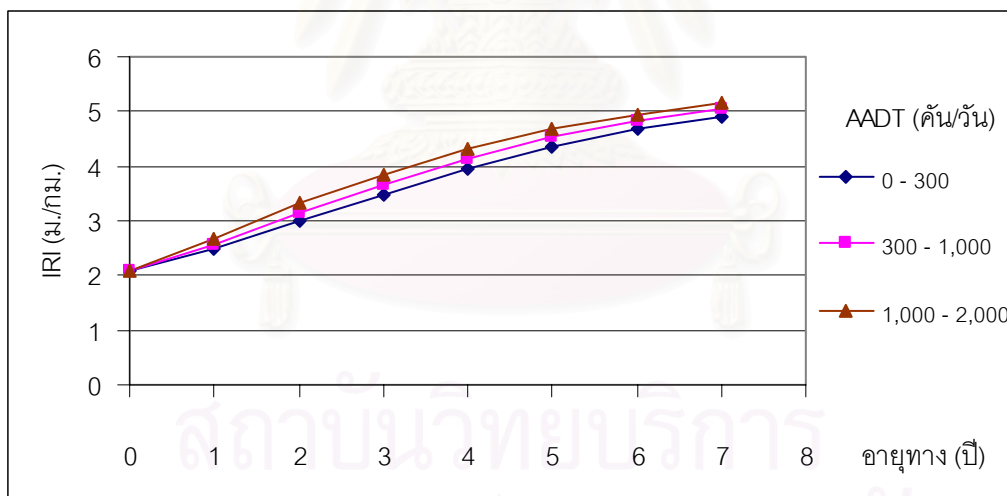
จากรูปที่ 5.8 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามภูมิภาคของสายทางหลวงทั่วประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน โดยที่ภาคเหนือมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (อีสาน) และภาคใต้ ตามลำดับ



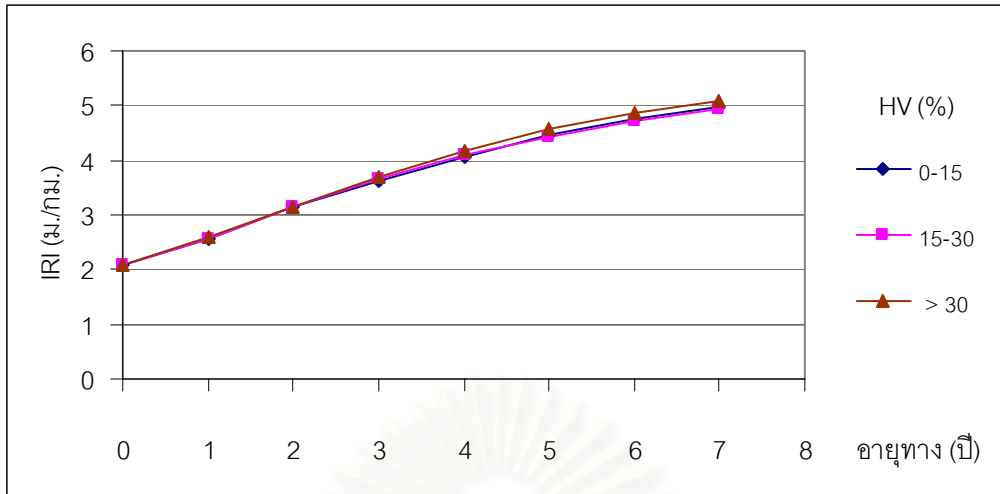
รูปที่ 5.9 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามชนิดผิวทาง

จากรูปที่ 5.9 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามชนิดผิวทางลาดยางของสายทางหลวงทั่วประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน โดยที่ผิวทางชนิดเซอร์เฟซทรีตเมนต์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ผิวทางชนิดพีนีเตรชั่นแมคคาดีม และผิวทางชนิดแอสฟัลท์คอนกรีต ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพของผิวทาง โดยที่ผิวทางชนิดแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวทางลาดยางที่แข็งแรงทนทาน รับน้ำหนักบรรทุกได้มาก เหมาะกับทางที่มีปริมาณการจราจรสูง รองลงมา ได้แก่ ผิวทางพีนีเตรชั่นแมคคาดีม และผิวทางเซอร์เฟซทรีตเมนต์ ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.10 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีของสายทางหลวงทั่วประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน โดยที่ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 1,000 – 2,000 คัน/วัน มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 300 -1,000 คัน/วัน และปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 0 – 300 คัน/วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ได้จากบทที่ 4 แสดงให้เห็นว่าสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูงจะทำให้ค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางเร็วขึ้นตามไปด้วย

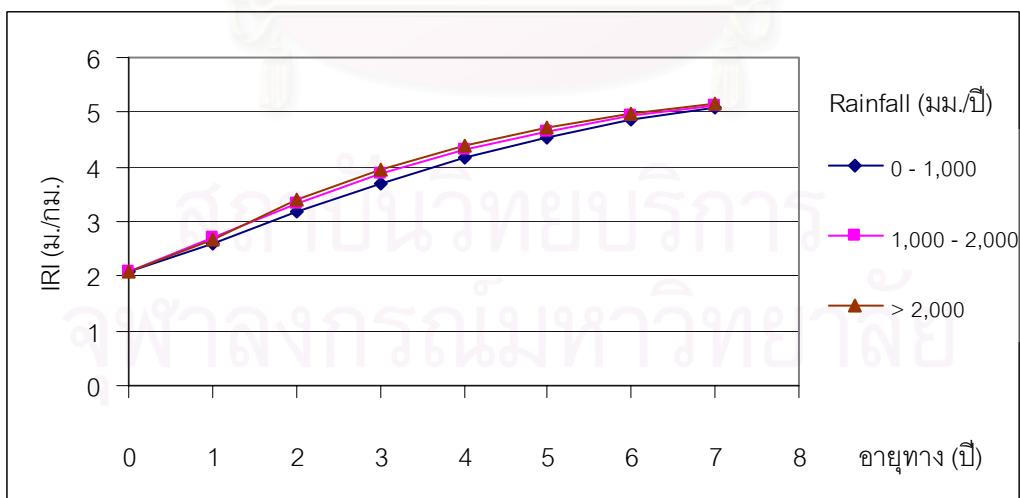


รูปที่ 5.10 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามปริมาณการจราจร



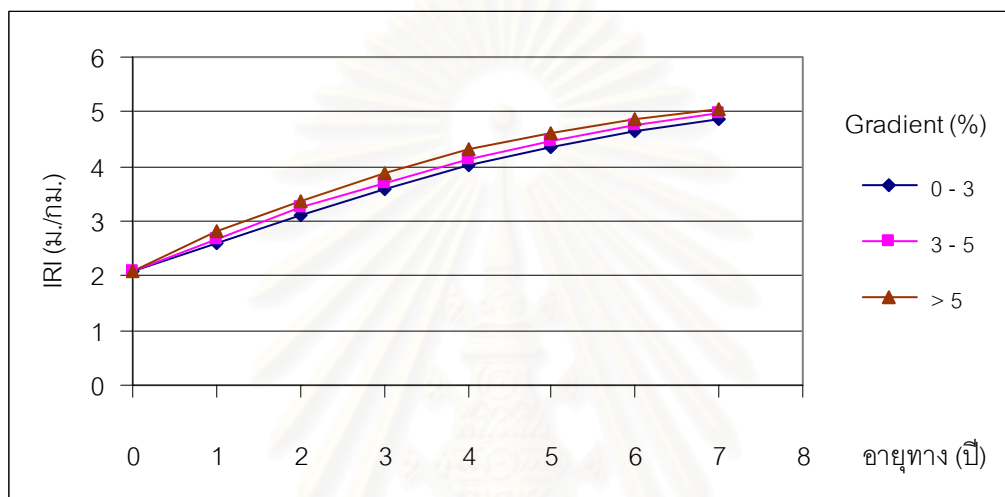
รูปที่ 5.11 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก

จากรูปที่ 5.11 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนักของสายทางหลวงทั่วประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเท่าๆ กันในช่วงระยะเวลา 0 – 3 ปี แล้วอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลจะต่างกัน โดยที่อายุ 7 ปี ค่าดัชนีความเรียบสากลที่เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนักมากกว่า 30 % จะมีค่าสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ค่าดัชนีความเรียบสากลที่เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก 0 - 15 % และค่าดัชนีความเรียบสากลที่เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก 15 - 30 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่ำ เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนักจะไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางมากนัก



รูปที่ 5.12 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี

จากรูปที่ 5.12 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีของสายทางหลวงทั่วประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน โดยที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีมากกว่า 2,000 มม./ปี มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี ในช่วง 1,000 - 2,000 มม./ปี และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีในช่วง 0 - 1,000 มม./ปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสายทางที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีสูงจะทำให้การเสื่อมสภาพของผิวทางเร็วขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 5.13 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามความชันของภูมิประเทศ

จากรูปที่ 5.13 ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ แบ่งตามลักษณะความชันของภูมิประเทศของสายทางหลวงทั่วประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน โดยที่ความชันของภูมิประเทศมากกว่า 5 % มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ความชันของภูมิประเทศในช่วง 3 - 5 % และความชันของภูมิประเทศในช่วง 0 - 3 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสายทางที่มีลักษณะความชันของภูมิประเทศสูงจะทำให้การเสื่อมสภาพของผิวทางเร็วขึ้นตามไปด้วย

สรุปได้ว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางที่รวบรวมมา ได้แก่ สถานที่ตั้ง ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี และความชันของภูมิประเทศ จะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางทั้งสิ้น ส่วนปัจจัยทางด้านเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก นั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางเท่าไร ปัจจัยที่ทำให้สถานที่ตั้งทางภาคเหนือมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลสูงกว่าภาคอื่นๆ เนื่องจากข้อมูลที่รวบรวมมาสายทางส่วนใหญ่ทางภาคเหนือมีความชันของภูมิประเทศค่อนข้างสูง และเป็นผิว

ทางชนิดเซอร์เฟสพรีตเมนต์ จึงทำให้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีความเรียบสากลสูงกว่าภาคอื่นๆ

### 5.3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

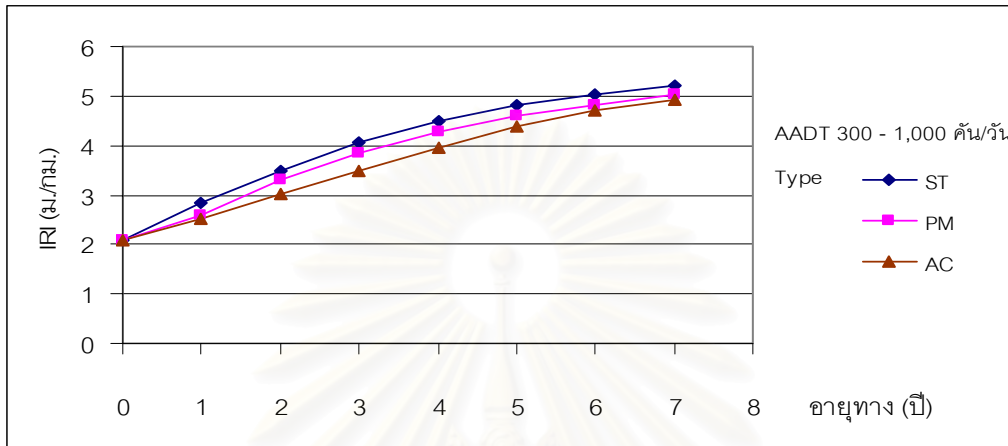
แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นจากขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่คาดว่า จะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางนั้น ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้พยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในอนาคตได้ เนื่องจากพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง ปัจจัยเดียว ซึ่งในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาใหม่เป็นการรวมปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางเข้าด้วยกัน ทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและง่ายต่อการนำไปใช้งานจริง โดยแบ่งค่าดัชนีความเรียบสากลตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางออกเป็น 10 กลุ่ม ดังนี้

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

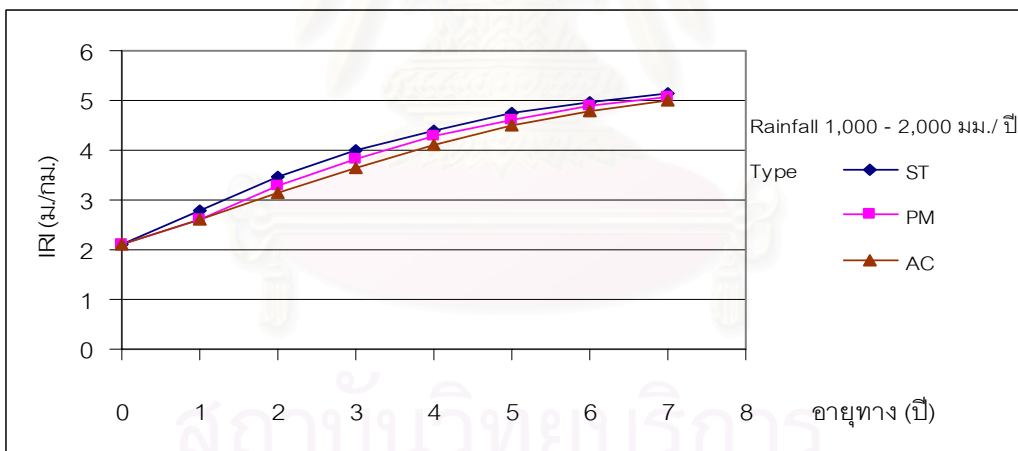
เนื่องจากข้อมูลที่นำมาพัฒนาแบบจำลองบางกลุ่มมีไม่เพียงพอ เมื่อนำมาจัดกลุ่มตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของทาง ทำให้ไม่สามารถคำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ และสร้างแบบจำลองขึ้นมาได้ เช่น กลุ่มสายทางของค่าดัชนีความเรียบสากลที่มีผิวจราจรชนิดพีเน็ตเรชั่นแมคคาดีม ความชื้นของภูมิภาค  $> 5\%$  และมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี 0 – 300 คันต่อวัน เป็นต้น



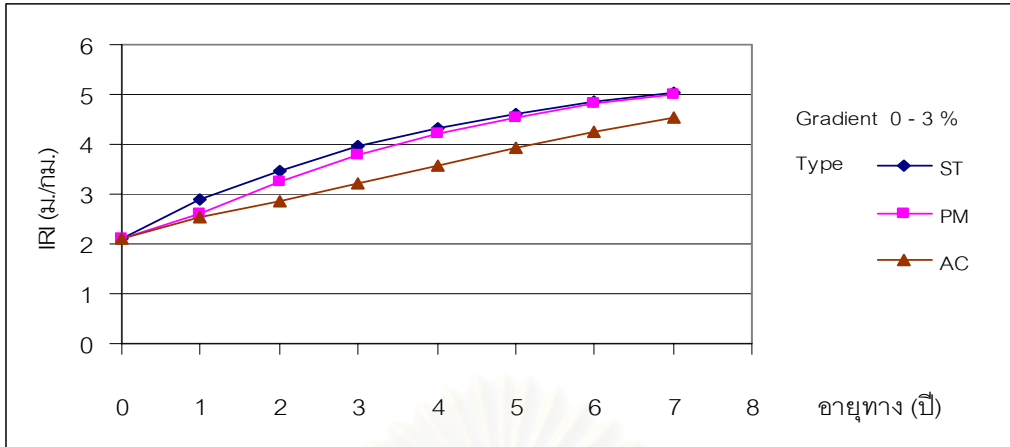
ดังนั้น แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาได้ มีจำนวนทั้งสิ้น 36 แบบจำลอง โดยเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ และแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง แสดงดังภาคผนวก ข. และ ค. ตามลำดับ ตัวอย่างแบบจำลองที่พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง แสดงดังรูปที่ 5.14 – 5.23



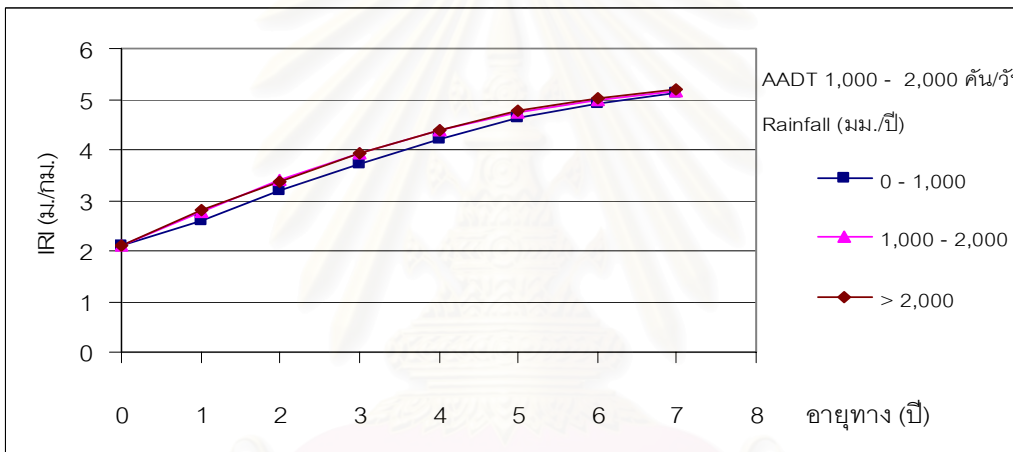
รูปที่ 5.14 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและปริมาณจราจร



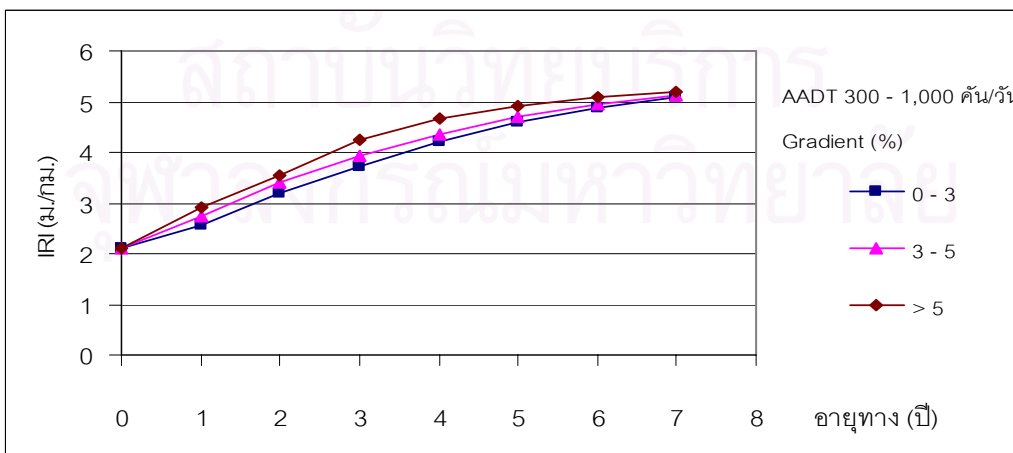
รูปที่ 5.15 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและปริมาณน้ำฝน



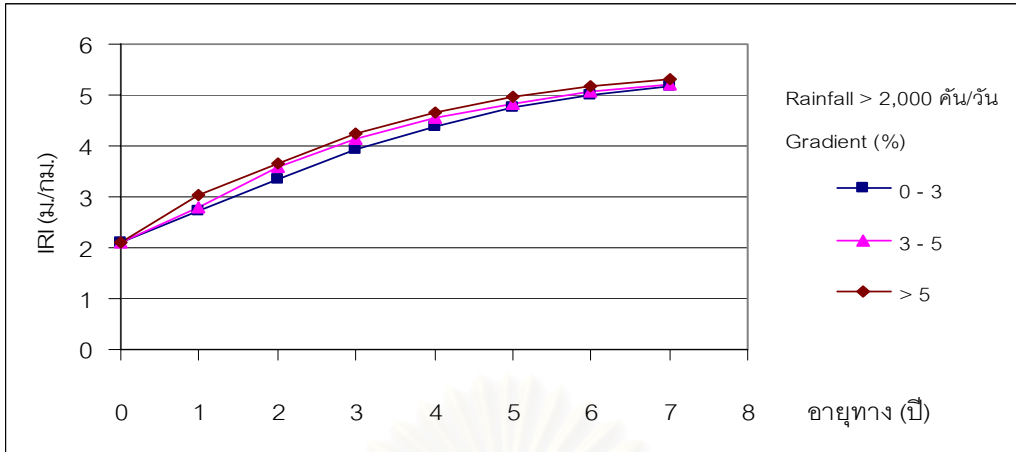
รูปที่ 5.16 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและความชันของภูมิประเทศ



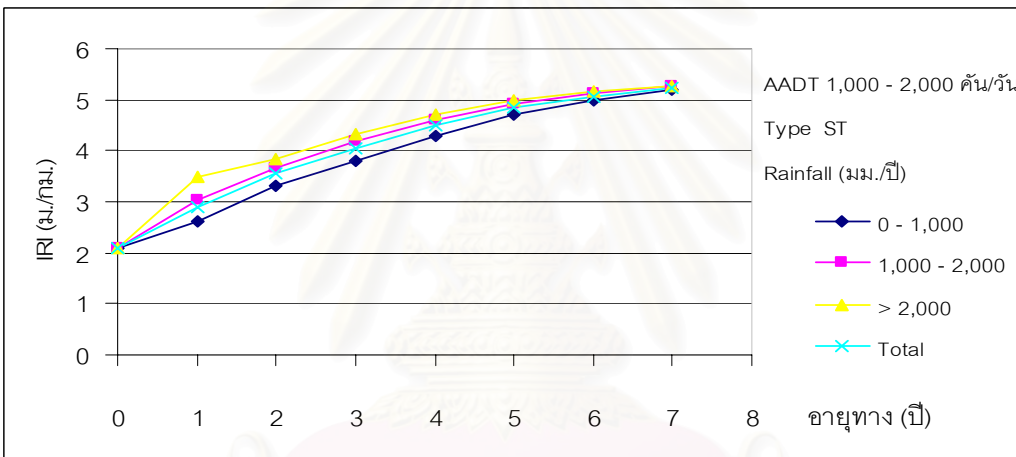
รูปที่ 5.17 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจรและปริมาณน้ำฝน



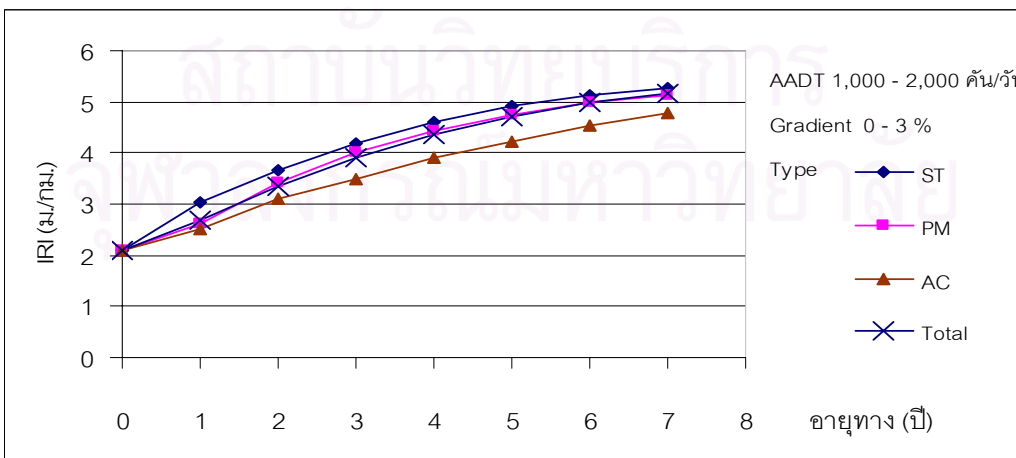
รูปที่ 5.18 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจรและความชันของภูมิประเทศ



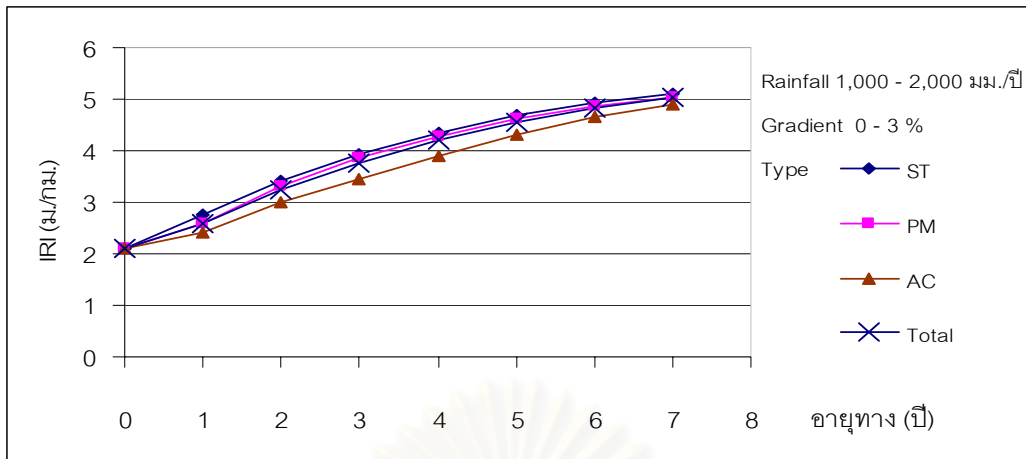
รูปที่ 5.19 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณน้ำฝนและความชันของภูมิประเทศ



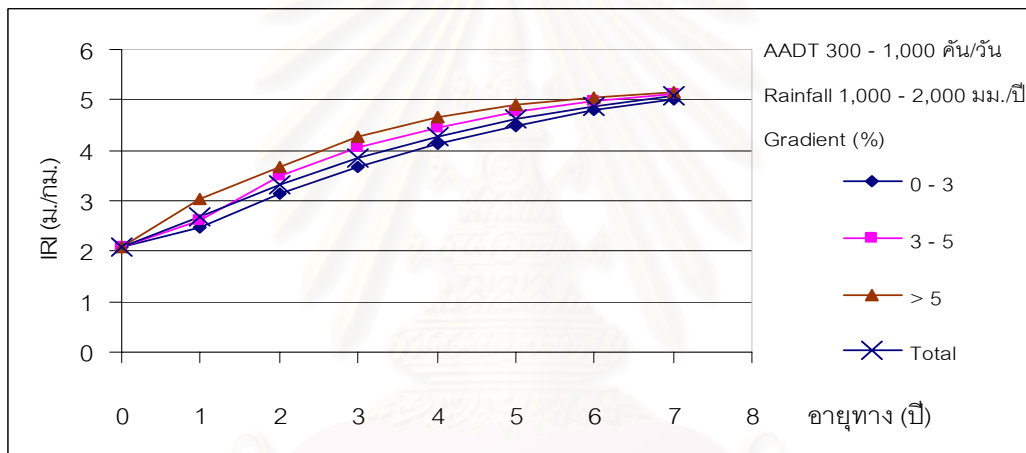
รูปที่ 5.20 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทาง ปริมาณจราจร และปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 5.21 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทาง ปริมาณจราจร และความชันของภูมิประเทศ



รูปที่ 5.22 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทาง ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ



รูปที่ 5.23 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจร ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

จากแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาได้นั้น แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกับความเสียหายของผิวทางทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี และความชันของภูมิประเทศ ล้วนส่งผลกระทบต่อแบบจำลองที่พัฒนาได้ทั้งสิ้น โดยสายทางที่มีผิวทางชนิดเทอร์เฟสทรีตเมนต์มีการเสื่อมสภาพสูงกว่าสายทางชนิดพินิเตรชั่นแมคคาดีม และผิวทางชนิดแอสฟัลท์คอนกรีต ตามลำดับ เมื่อมีปัจจัยอื่นคงที่ เช่นเดียวกันสายทางที่มีปริมาณการจราจร ความชันของภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝนสูง ก็ จะส่งผลให้การเสื่อมสภาพของผิวทางสูงขึ้นตามไปด้วย

## 5.4 สรุป

เนื้อหาในบทนี้ แสดงวิธีการสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีมาร์คอฟ ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองดังนี้ (1) จัดกลุ่มข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางในลักษณะต่างๆ (2) กำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ (3) คำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (4) คำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (5) คำนวณค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาต่างๆ และ (6) คำนวณค่าดัชนีความเรียบสากลที่เวลาต่างๆ โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 931 สายทางในการวิเคราะห์พฤติกรรมของผิวทาง ผลการทดสอบปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางที่รวบรวมมา สรุปได้ว่าปัจจัยทางด้านสถานที่ตั้ง ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี และความชันของภูมิประเทศ จะส่งผลกระทบต่อค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางทั้งสิ้น ส่วนปัจจัยทางด้านเปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนักนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางเท่าไร โดยสายทางที่อยู่ในภาคเหนือและเป็นผิวทางชนิดเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางสูงกว่าสายทางที่อยู่ในภาคอื่น และเป็นผิวทางชนิดอื่น ตามลำดับ และเมื่อสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีสูง ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีสูงหรือว่าลักษณะความชันของภูมิประเทศสูง จะทำให้ค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางเร็วขึ้นด้วย แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาเป็นการรวมปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของทางทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจร ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ เพื่อที่จะทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและง่ายต่อการนำไปใช้งานจริง โดยสามารถจัดกลุ่มแบบจำลองได้ 10 กลุ่มด้วยกัน จำนวนทั้งหมด 36 แบบจำลอง แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาจะถูกนำไปทดสอบความน่าเชื่อถือในขั้นตอนต่อไป

## บทที่ 6

### การทดสอบและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงวิธีการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยผลที่ได้เป็นแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบแบบจำลองและการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น การทดสอบแบบจำลองเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมา โดยทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่พัฒนาวิธีการอื่นและเปรียบเทียบกับค่าดัชนีความเรียบสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมในปี พ.ศ.2545 ส่วนการประยุกต์ใช้แบบจำลองเป็นการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทาง

#### 6.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

##### 6.1.1 แบบจำลองโดยวิธีวิเคราะห์ความถดถอย

โดยทั่วไปแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ตัวแปรที่สนใจ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Probabilistic และ Deterministic

แบบจำลอง Probabilistic เป็นแบบจำลองลักษณะที่เกิดขึ้นตามสภาพไม่แน่นอน ต้องใช้ความน่าจะเป็นมาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ก็เป็นวิธี Probabilistic ซึ่งต่างจากแบบจำลอง Deterministic ที่เป็นแบบจำลองลักษณะที่เกิดขึ้นตามสภาพที่แน่นอน เช่น แบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis)

วิธีการพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 เกี่ยวกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับการเสื่อมสภาพของผิวทาง จึงนำวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยนี้มาประยุกต์ เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยได้แบ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางออกเป็น 10 กลุ่ม เช่นเดียวกับแบบจำลองที่พัฒนาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ เพื่อนำมาเปรียบเทียบแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ แบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยที่พัฒนาได้ แสดงดังภาคผนวก ข. ตัวอย่างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยที่พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางกับปริมาณการจราจร แสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย

Type	AADT (คัน/วัน)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
ST	0 – 300	0.331	0.776	0.000	172
	300 – 1,000	0.354	0.745	0.000	611
	1,000 – 2,000	0.360	0.782	0.000	518
PM	0 – 300	0.457	0.860	0.000	22
	300 – 1,000	0.332	0.792	0.000	68
	1,000 – 2,000	0.325	0.697	0.000	41
AC	0 – 300	0.288	0.805	0.000	31
	300 – 1,000	0.309	0.589	0.000	219
	1,000 – 2,000	0.311	0.773	0.000	152

### 6.1.2 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ได้นำมาเปรียบเทียบกับความถูกต้องและความน่าเชื่อถือกับแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยที่พัฒนาได้จากขั้นตอนที่ 6.1 โดยการนำไปพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2545 ซึ่งใช้ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2543 เป็นค่าเริ่มต้น และใช้ค่าดัชนีความเรียบสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริงในปี พ.ศ.2545 เป็นตัวพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นทั้งสองวิธี โดยใช้สมการที่ 6.1 ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

$$\sum_{i=1}^N [(Y(i) - P(i)) \times L(i)] / \sum L \quad 6.1$$

โดยที่  $Y(i)$  = ค่าดัชนีความเรียบสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริงในปี พ.ศ.2545

$P(i)$  = ค่าดัชนีความเรียบสากลที่พยากรณ์ได้ โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมา

$N$  = จำนวนสายทางทั้งหมดที่นำมาเปรียบเทียบแบบจำลอง

$L$  = ระยะทาง (กม.)

การคัดเลือกสายทางที่นำมาเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยใช้สายทางสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2545 ที่มีข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางทั้ง 4 ประเภท ครบถ้วน ได้แก่ ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจร ปริมาณน้ำฝน และความชื้นของภูมิประเทศ ซึ่งสามารถคัดเลือกสายทางได้ทั้งหมด 300 สายทาง

ตัวอย่างการเปรียบเทียบแบบจำลองที่พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางกับปริมาณการจราจร โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟและวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยที่พัฒนาขึ้นมากับดัชนีความเรียบสากลจริงในปี พ.ศ.2545 แสดงดังตารางที่ 6.2 และตารางที่ 6.3 ตามลำดับ ส่วนสรุปการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟและแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยกับค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2545 ของแบบจำลองที่พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางทั้ง 10 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 6.4

จากตารางที่ 6.4 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางทั้ง 10 กลุ่ม แบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟสามารถพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2545 ได้แม่นยำกว่าแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย ในทุกกลุ่มแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟที่พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางกับปริมาณการจราจร มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด โดยมีผลรวมของความคลาดเคลื่อนของค่าดัชนีความเรียบสากลจริงในปี พ.ศ.2545 กับค่าที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ น้อยที่สุด เท่ากับ 0.316 ม./กม. และผลรวมของความคลาดเคลื่อนของค่าดัชนีความเรียบสากลจริงในปี พ.ศ.2545 กับค่าที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย เท่ากับ 0.441 ม./กม. ส่วนแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟที่พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณการจราจรกับปริมาณน้ำฝน มีความถูกต้องและน่าเชื่อใต้อน้อยที่สุด โดยมีผลรวมของความคลาดเคลื่อนของค่าดัชนีความเรียบสากลจริงในปี พ.ศ.2545 กับค่าที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ มากที่สุด เท่ากับ 0.345 ม./กม. และผลรวมของความคลาดเคลื่อนของค่าดัชนีความเรียบสากลจริงในปี พ.ศ.2545 กับค่าที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย เท่ากับ 0.479 ม./กม.



ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟกับค่าดัชนีความเรียบ  
สากลจริงในปี พ.ศ.2545

ลำดับที่	หมายเลข สายทาง	หมายเลข ควบคุม	IRI 2543	Y(i) ม./กม. (IRI 2545)	P(i) ม./กม. (IRI มาร์คอฟ)
1	1	2,102	3.10	3.70	4.22
2	401	200	2.34	3.34	3.57
3	1,025	100	3.27	3.79	4.30
4	2,393	100	3.11	4.39	4.22
5	3,017	202	3.12	3.77	4.10
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
300	4,240	100	2.34	3.08	3.40

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยกับค่าดัชนี  
ความเรียบสากลจริงในปี พ.ศ.2545

ลำดับที่	หมายเลข สายทาง	หมายเลข ควบคุม	IRI 2543	Y(i) ม./กม. (IRI 2545)	P(i) ม./กม. (IRI ความถดถอย)
1	1	2,102	3.10	3.70	3.81
2	401	200	2.34	3.34	3.00
3	1,025	100	3.27	3.79	3.99
4	2,393	100	3.11	4.39	3.82
5	3,017	202	3.12	3.77	3.74
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
300	4,240	100	2.34	3.08	2.96

ตารางที่ 6.4 สรุปการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟและแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยกับค่าดัชนีความเรียบสากลจริงในปี พ.ศ.2545

แบบจำลองที่พิจารณาปัจจัยที่ส่งผล กระทบกับความเสียหายของทาง	$\frac{\sum_{i=1}^N [(Y(i) - P(i)) \times L(i)]}{\sum L}$	
	IRI 2545 กับ IRI มาร์คอฟ	IRI 2545 กับ IRI ความถดถอย
1. ชนิดผิวทาง และปริมาณการจราจร	0.316	0.441
2. ชนิดผิวทาง และปริมาณน้ำฝน	0.328	0.479
3. ชนิดผิวทาง และความชันของภูมิภาค ประเทศ	0.334	0.464
4. ปริมาณการจราจร และปริมาณน้ำฝน	0.345	0.469
5. ปริมาณการจราจร และความชันของ ภูมิภาคประเทศ	0.342	0.461
6. ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิภาค ประเทศ	0.334	0.478
7. ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจร และ ปริมาณน้ำฝน	0.340	0.461
8. ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจร และ ความชันของภูมิภาคประเทศ	0.338	0.465
9. ชนิดผิวทาง ปริมาณน้ำฝน และความ ชันของภูมิภาคประเทศ	0.332	0.460
10. ปริมาณการจราจร ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิภาคประเทศ	0.334	0.467

## 6.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อการบริหารบำรุงทาง

ทางหลวงเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ด้วยสาเหตุนี้ทำให้มีการก่อสร้างทางหลวงเพิ่มขึ้นทุกปีหลังจากมีการก่อสร้างและเปิดให้บริการทางหลวงแก่ผู้ใช้แล้วงานที่สำคัญในลำดับต่อมาก็คือ การบริหารบำรุงทางเพื่อให้ทางหลวงอยู่ในสภาพการใช้งานที่ดีและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทาง ได้ทั้งในระดับโครงการหรือระดับโครงข่าย โดยในระดับโครงการแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางสามารถใช้เลือกชนิด และวิธีซ่อมบำรุงทางได้ ส่วนในระดับโครงข่ายแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางสามารถใช้ทำนายสภาพทางในอนาคต การวางแผนงบประมาณการซ่อมบำรุง การกำหนดตารางเวลาการตรวจสอบ และการวางแผนการปฏิบัติได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้เหมาะสำหรับการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในระดับโครงข่าย ดังนั้นในส่วนนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางเพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการและการวางแผนการซ่อมบำรุงทาง

### 6.2.1 การจัดลำดับความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันกรมทางหลวงได้ใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี ลักษณะความเสียหาย ปริมาณความเสียหาย ค่าดัชนีความเรียบสากล และความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นเกณฑ์ในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงทางหลวง แต่เนื่องจากกรมทางหลวงมีความยาวทางหลวงที่ต้องรับผิดชอบกว่า 64,095 กิโลเมตร (กรมทางหลวง, 2545) เป็นสาเหตุที่ทำให้มีข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์การจัดลำดับความสำคัญของโครงการมีไม่ครบถ้วน โดยเฉพาะข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลที่หน่วยงานจากส่วนกลางคือ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง เป็นผู้สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งต่างจากข้อมูล ลักษณะความเสียหาย ปริมาณความเสียหาย หมวดการทางและแขวงทางทางจังหวัดที่มีอยู่กระจายอยู่ทั่วประเทศเป็นผู้สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลนั้นกระทำโดยใช้รถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องมือวัดความเรียบของผิวทาง ปัจจุบันมีอยู่เพียง 4 คัน ทำให้การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลความเรียบของทางล้าช้าและไม่ครบทุกสายทางที่รับผิดชอบทำให้การพิจารณาการจัดความสำคัญของสายทางในปีงบประมาณการซ่อมบำรุงนั้น บางสายทางที่ไม่มีข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาด้วย

งานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในอนาคต โดยจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการจัดลำดับความสำคัญของโครงการการซ่อมบำรุงได้คือ การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในสายทางที่ไม่ได้สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลใน

ปัจจุบัน โดยใช้ข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลในอดีต ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น สายทางพระปรง – บ้านแก้ง ไม่ได้ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล ในปี พ.ศ.2546 ในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงของสายทางนี้จะไม่ใช้ข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลมาประกอบการพิจารณาด้วย ดังนั้นแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางจะสามารถนำมาประยุกต์ได้โดยการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2546 เพื่อที่จะนำมาพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางด้านปริมาณจราจร ความเสียหายของทาง และความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ตัวอย่างการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2546 ในสายทางพระปรง – บ้านแก้ง โดยใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางกับปริมาณการจราจร ซึ่งมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือมากที่สุด สายทางพระปรง – บ้านแก้ง มีค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี เท่ากับ 914 คัน/วัน และเป็นผิวทางชนิดเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ในปี พ.ศ.2545 มีค่าดัชนีความเรียบสากลเท่ากับ 3.30 ม./กม. ดังนั้น เวกเตอร์สถานะเริ่มต้น (ISV) คือ [0 0 1 0 0] เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ แสดงดังตารางที่ ข-2 ผลการคำนวณค่าเวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (PCSV) ค่าสถานะสภาพของผิวทาง (PCS) และค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) ในปี พ.ศ.2545 - 2546 โดยใช้สมการที่ 5.3 และ 5.4 แสดงดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ค่าเวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง สถานะสภาพของผิวทาง และค่าดัชนีความเรียบสากลของสายทางพระปรง – บ้านแก้ง

ปี	PCSV(t)	PCS(t)	IRI(t) (ม./กม.)
2545	[ 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 ]	3.000	3.30
2546	[ 0.000 0.000 0.542 0.358 0.100 ]	3.559	4.00

จากตารางที่ 6.5 การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2546 ของสายทางพระปรง – บ้านแก้ง ได้ค่าดัชนีความเรียบสากล เท่ากับ 4.00 ม./กม.

## 6.2.2 การวางแผนงานซ่อมบำรุงทาง

การวางแผนงานซ่อมบำรุงทาง เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของระบบบริหารงานซ่อมบำรุงทาง ซึ่งเป็นการวางแผนงานปฏิบัติในส่วนของการสำรวจและเก็บรวบรวมสภาพความเสียหายของทาง การกำหนดระยะเวลาการซ่อมบำรุงทาง การกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงทาง และการกำหนดงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุงทาง เป็นต้น

ปัจจุบัน ขั้นตอนการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางของกรมทางหลวง ส่วนหนึ่งได้กำหนดค่าดัชนีความเรียบสากลในระดับที่ควรจะทำกรซ่อมบำรุงทาง เพื่อที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา งานซ่อมบำรุงทาง โดยแบ่งตามประเภทของทางและปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี แสดง ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ระดับของค่าดัชนีความเรียบสากล ณ จุดที่ต้องซ่อมแซมแบ่งตามประเภทของทางต่างๆ มาตรฐานกรมทางหลวง

ประเภททางหลวง	ระดับของค่าดัชนีความเรียบสากล ณ จุดที่ต้องซ่อมแซม
1. ทางหลวงสายประธาน	3.80
2. ทางหลวงสายรองประธาน	3.80
3. ทางหลวงจังหวัด	
— AADT < 1,000 คัน/วัน	4.50
— AADT > 1,000 คัน/วัน	4.00

ที่มา: กองบำรุง กรมทางหลวง

โดยแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการวางแผนงานซ่อมบำรุงทางได้ ในส่วนของการพยากรณ์ระยะเวลาจนถึงจุดที่ควรทำการซ่อมบำรุงทาง ตัวอย่างการพยากรณ์ระยะเวลาจนถึงจุดที่ควรทำการซ่อมบำรุงทางของทางหลวงสายทางเข้าเมืองคอนซัยที่เป็นทางหลวงสายประธาน โดยใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางกับปริมาณการจราจร ซึ่งมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือมากที่สุด สายทางเข้าเมืองคอนซัยมีค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี เท่ากับ 1,122 คัน/วัน ในปี พ.ศ.2545 มีค่าดัชนีความเรียบสากลเท่ากับ 3.30 ม./กม. และระดับของค่าดัชนีความเรียบสากล ณ จุดที่ต้องซ่อมแซมของทางหลวงสายประธานตามมาตรฐานของกรมทางหลวง เท่ากับ 3.80 ม./กม. ดังนั้น เวคเตอร์สถานะเริ่มต้น (ISV) คือ  $[0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]$  เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ แสดงดังตารางที่ ข-2 ผลการคำนวณค่าเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (PCSV) ค่าสถานะสภาพของผิวทาง (PCS) และค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) ในปี พ.ศ.2545 - 2547 โดยใช้สมการที่ 5.3 และ 5.4 แสดงดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ค่าเวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง สถานะสภาพของผิวทาง และค่าดัชนีความเรียบสากลของสายทางเข้าเมืองดอนชัย

ปี	PCSV(t)	PCS(t)	IRI(t) (ม./กม.)
2545	[ 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 ]	3.000	3.30
2546	[ 0.000 0.000 0.615 0.367 0.018 ]	3.404	3.85
2547	[ 0.000 0.000 0.378 0.366 0.256 ]	3.878	4.37

จากตารางที่ 6.7 ค่าดัชนีความเรียบสากลของสายทางเข้าเมืองดอนชัยในปี พ.ศ.2546 เท่ากับ 3.85 ม./กม. ไกล่เคียงระดับของค่าดัชนีความเรียบสากล ณ จุดที่ต้องซ่อมแซมของทางหลวงสายประธาน เท่ากับ 3.80 ม./กม. ดังนั้น ระยะเวลาก่อนถึงจุดที่ควรทำการซ่อมบำรุงทางของสายทางเข้าเมืองดอนชัย เท่ากับ 1 ปี

ดังนั้น ถ้าแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางสามารถพยากรณ์สภาพความเสียหายของทางได้อย่างถูกต้องหรือใกล้เคียง จะนำมาประยุกต์ใช้ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 6.3 สรุป

เนื้อหาในบทนี้ แสดงวิธีการทดสอบแบบจำลองและการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมา การทดสอบแบบจำลองเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่พัฒนาโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยและเปรียบเทียบกับค่าดัชนีความเรียบสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริงในปี พ.ศ.2545

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย ได้แบ่งตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางออกเป็น 10 กลุ่ม เช่นเดียวกับแบบจำลองที่พัฒนาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ผลการทดสอบแบบจำลอง แบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟสามารถพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2545 ได้แม่นยำกว่าแบบจำลองโดยวิธีความถดถอยในทุกกลุ่มแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟที่พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางกับปริมาณการจราจรมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด ส่วนแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟที่พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณการจราจรกับปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้องและน่าเชื่อใ้ต้อยที่สุด

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทาง ได้ทั้งในระดับโครงการหรือระดับโครงข่าย โดยในระดับโครงการแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางสามารถใช้เลือกชนิดและวิธีซ่อมบำรุงทางได้ ส่วนในระดับโครงข่ายแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางสามารถใช้ทำนายสภาพทางในอนาคต การวางแผนงบประมาณการซ่อมบำรุง การกำหนดตารางเวลาการตรวจสอบ และการวางแผนการปฏิบัติได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้เหมาะสำหรับการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในระดับโครงข่าย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เป็นการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงทาง โดยการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในสายทางที่ไม่ได้สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในปีนั้น ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงทางจะพิจารณาจาก ค่าดัชนีความเรียบสากลที่มีค่ามากจะได้รับการพิจารณาความสำคัญมากกว่าค่าดัชนีความเรียบสากลน้อย แต่ต้องอาศัยปัจจัยที่มาวิเคราะห์ด้วย ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณจราจร ปริมาณ และชนิดความเสียหาย เป็นต้น ส่วนที่สอง การวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาทาง โดยใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางพยากรณ์ระยะเวลาก่อนถึงจุดที่ควรทำการซ่อมบำรุงทาง โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการตัดสินใจของการซ่อมบำรุงและกำหนดงบประมาณในการซ่อมบำรุงในอนาคตได้



สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 7.1 สรุปผลการวิจัย

ทางนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศ ซึ่งการพัฒนาทางหลวงได้เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของแผนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ โดยมีหลายหน่วยงานรับผิดชอบในงานทางหลวง เช่น กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท การทางพิเศษแห่งประเทศไทย องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น เป็นต้น ซึ่งหลังจากมีการก่อสร้างและเปิดให้บริการแก่ผู้ใช้ทางแล้ว งานที่สำคัญในลำดับต่อมาคือ งานซ่อมบำรุงรักษาทางเพื่อให้ทางอยู่ในสภาพการใช้งานได้ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่เนื่องจากมีงบประมาณที่ได้รับในการซ่อมบำรุงรักษาทางของหน่วยงานที่รับผิดชอบไม่ว่าจะเป็นกรมทางหลวงหรือกรมทางหลวงชนบทมีน้อยกว่าความต้องการในการซ่อมบำรุงรักษาทาง ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการในการซ่อมบำรุงรักษาทางให้ครอบคลุมกับปริมาณความเสียหายของทางที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นทางหลวงที่ไม่ได้รับการซ่อมบำรุงเพียงพอจึงเกิดความเสียหายลุกลามมากขึ้นจนเกินกว่าที่จะซ่อมแซมได้ถึงขั้นที่จะต้องทำการบูรณะก่อสร้างใหม่ในบางสายทาง ด้วยเหตุนี้จึงได้พัฒนาระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทาง (Pavement Management System: PMS) ขึ้นมาในระบบการบริหารงานซ่อมบำรุงทาง ขั้นตอนการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาทางหลวงให้ได้มีประสิทธิภาพ ความสำคัญส่วนหนึ่งอยู่ที่การสามารถรู้พฤติกรรมความเสียหายของทางและพยากรณ์สภาพความเสียหายของทางในอนาคตได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งต้องอาศัยการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของทางขึ้นมาเพื่อสามารถพยากรณ์สภาพความเสียหายของทางภายใต้ลักษณะสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปได้

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยาง โดยใช้วิธีลูกโซ่มาร์คอฟและเลือกสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ได้แก่ ค่าดัชนีความเรียบสากล ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี อายุของทาง ความชันของภูมิประเทศ ชนิดผิวทาง และสถานที่ตั้งของสายทาง โดยเป็นข้อมูลที่สำคัญและเก็บรวบรวมตั้งแต่ปี พ.ศ.2533 เป็นต้นมา ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้นำมาทำการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูล โดยพิจารณาสายทางที่เป็นผิวทางชนิดลาดยางที่มีการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลและมีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ส่วนการตรวจสอบข้อมูลได้ตรวจสอบ



สายทางที่จัดเก็บข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากล โดยเลือกสายทางที่ไม่มีการซ่อมบำรุงในระยะเวลาที่จัดเก็บ ซึ่งพิจารณาจากค่าดัชนีความเรียบสากลที่คงที่หรือเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป ส่วนสายทางที่มีค่าดัชนีความเรียบสากลลดลงเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าสายทางนั้นได้รับการซ่อมบำรุงรักษาแล้วไม่นำมาพิจารณาในการพัฒนาแบบจำลอง จากการคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองได้สายทางหลวงทั้งหมด 931 สายทางที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ สายทางหลวงส่วนใหญ่เป็นสายทางที่เป็นผิวทางลาดยาง ชนิดเซอร์เฟสทรีทเมนต์ มีจำนวน 2 ช่องจราจรและเป็นทางหลวงแผ่นดินสายรองประธานที่เชื่อมระหว่างจังหวัดกับอำเภอหรือสถานที่สำคัญของจังหวัด

เมื่อคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีและอายุของทาง โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์ความถดถอยในการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากล ( $\Delta IRI$ ) กับค่าการเปลี่ยนแปลงอายุผิวทาง ( $\Delta AGE$ ) มีความสัมพันธ์กันคือ มีค่าสหสัมพันธ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.738 และนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเรียบสากลกับค่าการเปลี่ยนแปลงอายุของทางไปวิเคราะห์ความถดถอย โดยแบ่งกลุ่มข้อมูลค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีออกเป็น 3 กลุ่ม ตามมาตรฐานชั้นทางหลวง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางด้านปริมาณการจราจรส่งผลกระทบต่อค่าการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยที่ค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 1,000 – 2,000 คัน/วัน มีการเสื่อมสภาพของผิวทางสูงกว่าค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 300 - 1,000 คัน/วัน และค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีในช่วง 0 – 300 คัน/วัน ตามลำดับ

ขั้นตอนต่อไปเป็นการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองดังนี้ (1) จัดกลุ่มข้อมูลค่าดัชนีความเรียบสากลตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางในลักษณะต่างๆ (2) กำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ (3) คำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (4) คำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (5) คำนวณค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาต่างๆ และ (6) คำนวณค่าดัชนีความเรียบสากลที่เวลาต่างๆ โดยใช้ข้อมูลทั้ง 931 สายทาง ซึ่งสามารถจัดข้อมูลได้จำนวน 1,689 ข้อมูล ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของผิวทาง ซึ่งการทดสอบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางที่รวบรวมมานั้น ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางหรือไม่ กระทำโดยการสร้างแบบจำลองที่แบ่งปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางแต่ละปัจจัย ผลการทดสอบสรุปได้ว่าปัจจัยทางด้านสถานที่ตั้ง

ของสายทาง ชนิดผิวทาง ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี และ ความชันของภูมิประเทศ ส่งผลกระทบกับการเสื่อมสภาพของผิวทางทั้งสิ้น ส่วนปัจจัยทางด้าน เปรอร์เซ็นต์ยานยนต์หนักนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางมากนัก โดยสายทางที่อยู่ในภาคเหนือ และเป็นผิวทางชนิดเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ค่าการเสื่อมสภาพของผิวทางสูงกว่าสายทาง ที่อยู่ในภาคอื่น และเป็นผิวทางชนิดอื่น ตามลำดับ และเมื่อสายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อ วันตลอดปีสูง ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีสูง หรือว่าลักษณะความชันของภูมิประเทศสูง ทำให้ค่า การเสื่อมสภาพของผิวทางเร็วขึ้นด้วย แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาเป็นการรวม ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของทางทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ ชนิดผิวทาง ปริมาณ การจราจร ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องและ ความน่าเชื่อถือ ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานจริง โดยสามารถจัดกลุ่มแบบจำลองได้ 10 กลุ่ม ด้วยกัน จำนวนทั้งหมด 36 แบบจำลอง

เมื่อพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟแล้ว ขั้นตอนต่อไป เป็นทดสอบแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาว่ามีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด โดย การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในปี พ.ศ.2545 กับค่าดัชนีความเรียบ สากลจริงที่สำรวจและรวบรวมในปี พ.ศ.2545 และเปรียบเทียบกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของ ผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโดยได้แบ่งตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของ ผิวทางออกเป็น 10 กลุ่ม เช่นเดียวกับแบบจำลองที่พัฒนาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ผลการทดสอบ แบบจำลองสรุปได้ว่าแบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟสามารถพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากล ในปี พ.ศ.2545 ได้แม่นยำกว่าแบบจำลองโดยวิธีความถดถอย ในทุกกลุ่มแบบจำลอง ซึ่ง แบบจำลองโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟที่พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางกับปริมาณการจราจรมีความ ถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำแบบจำลองการเสื่อมสภาพ ของผิวทางที่พัฒนาได้ไปประยุกต์ใช้กับระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทาง ซึ่งแบบจำลองการ เสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาในงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับริมาณ ข่าย มากกว่าในระดับโครงการ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรก เป็นการจัดลำดับความสำคัญของ โครงการซ่อมบำรุงทาง โดยการพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลในสายทางที่ไม่ได้สำรวจและ เก็บรวบรวมข้อมูลในปีนั้น ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุงทาง พิจารณาจาก ค่าดัชนีความเรียบสากลที่มีค่ามากจะได้รับการพิจารณาความสำคัญมากกว่าค่าดัชนีความเรียบ สากลน้อย แต่ต้องอาศัยปัจจัยอื่นมาวิเคราะห์ด้วย ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณจราจร ปริมาณ และ ชนิดความเสียหาย เป็นต้น ส่วนที่สอง การวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาทาง โดยใช้แบบจำลองการ

เสื่อมสภาพของผิวทางพยากรณ์ระยะเวลาที่ควรทำการซ่อมบำรุงทาง โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการตัดสินใจของการซ่อมบำรุงและกำหนดงบประมาณในการซ่อมบำรุงในอนาคตได้

## 7.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาพิจารณาใช้ผิวทางชนิดลาดยาง และมีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คัน/วัน ดังนั้นถ้านำแบบจำลองไปพยากรณ์ที่ไม่ใช่ผิวทางลาดยางหรือมีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีมากกว่า 2,000 คัน/วัน ค่าพยากรณ์ที่ได้ก็อาจจะมีความคลาดเคลื่อน

2. แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง มีสิ่งที่จะต้องระวังในการนำไปใช้งานเนื่องจากรูปแบบการวิเคราะห์แบบจำลองการเสื่อมสภาพที่อาศัยความน่าจะเป็นและหลักการทางคณิตศาสตร์ โดยมีสมมติฐานว่าเป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟแบบเอกพันธ์คือเป็นแบบจำลองที่มีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณาในการวิเคราะห์ ซึ่งถ้าในอนาคตเกิดเหตุการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวทาง โดยเป็นเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะเกิดขึ้น เช่น น้ำท่วม ภัยแล้ง เป็นต้น ค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ ค่าที่พยากรณ์ได้ก็อาจจะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติ

3. แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมา ไม่สามารถพยากรณ์ลักษณะความเสียหายและปริมาณความเสียหายของผิวทางที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ เนื่องจากค่าดัชนีความเรียบสากลที่กำหนดให้เป็นตัวแทนสภาพความเสียหายของผิวทางไม่สามารถบอกถึงลักษณะความเสียหายและปริมาณความเสียหายของผิวทาง ดังนั้นควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเรียบสากลกับลักษณะความเสียหายและปริมาณความเสียหายของผิวทาง เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมทางหลวง, รายงานประจำปี 2541-2545. กรุงเทพมหานคร : กรมทางหลวง, 2541-2545.
- กรมทางหลวงชนบท, รายงานประจำปี 2545. กรุงเทพมหานคร : กรมทางหลวงชนบท, 2545.
- กฤษณะ เนียมมณี. 2542. ทฤษฎีความน่าจะเป็น. ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : พิทักษ์การพิมพ์.
- บัญชา ธนวงศ์เสถียร และคณะ. 2544. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระกับค่าระดับความเสียหาย. โครงการงานทางวิศวกรรมโยธาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิศณุ ทรัพย์สมพล, ประพนธ์ ชินอุดมทรัพย์, จุมพล ผลประเสริฐ, และภูศักดิ์ ศิริอักษรกุล. 2543. การพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยางโดยวิธีใช้ค่า IRI ในประเทศไทย. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปีที่ 11 ฉบับที่ 4 หน้า 29-35.
- พรธรรณภา เหวาบัตร และ สืบพงศ์ ไพศาลวัฒนา. 2543. การทำนายสภาพผิวทางเพื่อช่วยในงานบำรุงทางของกรมทางหลวง. The First Seminar on Pavement Management for Road Maintenance, กรุงเทพมหานคร.
- สุนทร กังวานพลนิษฐ์. 2537. รายงานการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพทางของกรมทางหลวง พ.ศ. 2533. กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง.
- สรารุท ทรงศิริไฉ. 2542. เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง งานบำรุงทาง กรมทางหลวง. 1-5.

### ภาษาอังกฤษ

- Al-Masaeid, H.R., Al-Suleiman, T.I., and Shiyab, A.M. 1996. Development of Models for Prediction of Airfield Pavement Deterioration. Road and Transport Research Vol.5 No.3 : 82-95.
- Al-Omari, B., and Darter, M.I. 1994. Relationships Between International Roughness Index and Present Serviceability Rating. Transportation Research Record No.1435 : 130-136.

- Al-Omari, B., and Darter, M.I. 1995. Effect of Pavement Deterioration Types on IRI and Rehabilitation. Transportation Research Record No.1505 : 57-65.
- Anderson, V.L., and others. 1994. Correlation of Present Serviceability Ratings with International Roughness Index. Transportation Research Record No.1435 : 27-37.
- Attoh-Okine, N.O. 1994. Predicting Roughness Progression in Flexible Pavements Using Artificial Neural Networks. Third International Conference on Managing Pavement Vol.1 : 55-62.
- Baladi, G.Y., Lee, D., and Chatti, K. 2002. Use of Distress and Ride Quality Data to Determine Roughness Thresholds for Smoothing Pavements as a Preventive Maintenance Action. Transportation Research Record No.1816 : 43-55.
- Butt, A.A., et al. 1987. Pavement Performance Prediction Model Using the Markov Process. Transportation Research Record No.1123 : 12-19.
- Delton, J., Zaniewski, J.P., and Flintsch, G.W. 1996. Artificial Neural Network for Selecting Pavement Rehabilitation Project. Transportation Research Record No.1524 : 185-193.
- George, K.P., Rajagopal, A.S., and Lim, L.K. 1989. Models for Predicting Pavement Deterioration. Transportation Research Record No.1215 : 1-7.
- Haas, R. 1978. Pavement Management System. United States of America : McGraw-Hill Book company.
- Haas, R., He, Z., and Tighe, S. 2001. Environmental Deterioration Model For Flexible Pavement Design. Transportation Research Record No.1755 : 81-89.
- 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.
- Hawk, H. 1995. BRIDGIT Deterioration Models. Transportation Research Record No.1490 : 19-22.
- Paisalwattana, S. 2000. Pavement Deterioration Model Development for Thailand Department of Highways Practice. Master of Engineering School of Civil Engineering Asian Institute of Technology.

- 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.
- Sadek, A.W., Demetsky, M., and Freeman, T.E. 1996. Deterioration Prediction Modeling of Virginia's Interstate Highway System. Transportation Research Record No.1524 : 118-129.
- 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.
- Sharma, B.M., Sood, V.K. , and Sitaramanjaneyulu, K. 1994. Pavement Deterioration Model in India. Third International Conference on Managing Pavement Vol.1 : 47-54.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

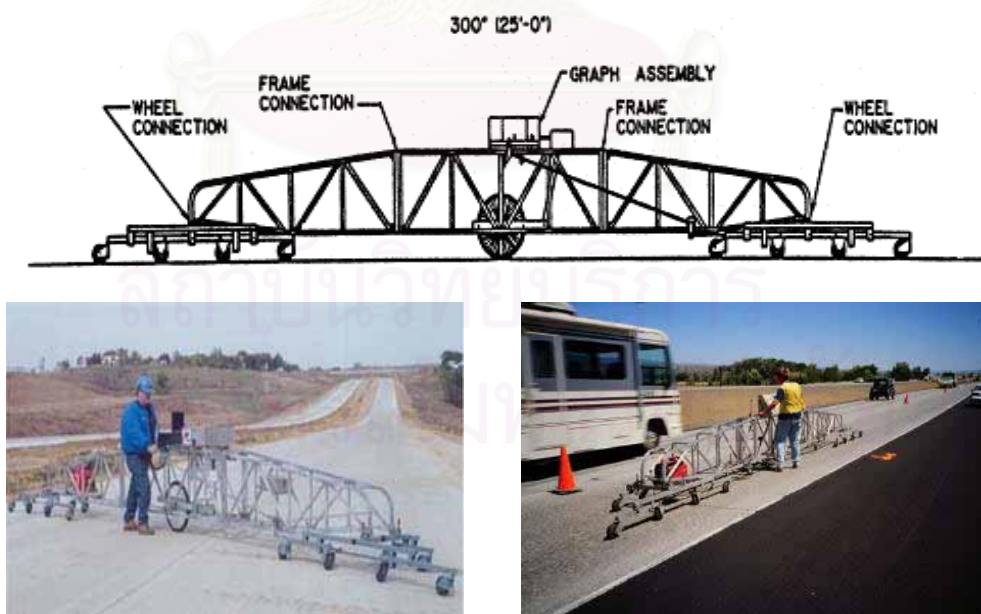


## เครื่องมือวัดความเรียบของทาง

เครื่องมือวัดความเรียบของทางมีอยู่ด้วยกันหลากหลายแบบด้วยกัน ซึ่งแต่ละประเทศก็จะคิดค้นพัฒนาเครื่องมือวัดความเรียบของทางของตนเองแตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งแยกได้ 2 ประเภท คือ Profilometer และ Road Meter

### 1. Profilometer

เป็นเครื่องมือวัดระดับ (Profile) หรือความลาดเอียง (Slope) ของทางตามแนวยาว ค่าระดับหรือความลาดเอียงก็จะนำมาคำนวณค่าทางสถิติ โดยแสดงเป็นตัวเลขค่าความเรียบ ซึ่งมีวิธีวัดและวิธีคิดคำนวณแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเครื่องมือ เครื่องมือเหล่านี้ได้แก่ AASHO Slope Profilometer, CHLOE Profilometer ทั้งสองชนิดเป็นเครื่องมือต้นแบบเดิม ขณะนี้ไม่ได้นำมาใช้แล้ว Profilograph เป็นเครื่องมือที่พัฒนาในระยะต่อมาซึ่งนอกจากจะคำนวณค่าความเรียบได้ในตัวแล้วยังสามารถวาดระดับในขณะที่ลากผ่านทางนั้นไปได้ แสดงดังรูปที่ ก-1 กล้องระดับ (Rod and Level) และ Dipstick เป็นเครื่องมือที่หาค่าระดับตามแนวยาว นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือ Abay Beam ของ TRRL ประเทศอังกฤษ



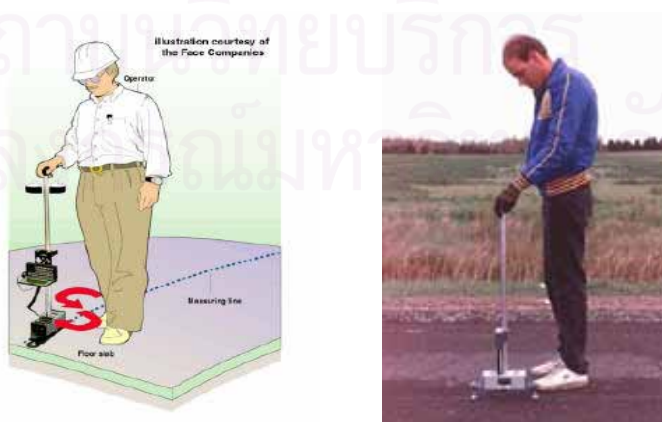
รูปที่ ก-1 เครื่องมือ Profilograph

### 1.1 Dipstick

เป็นเครื่องมือวัดค่าระดับความแตกต่างของขาตั้ง 2 ขา ซึ่งห่างกัน 30 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือจับระดับอัตโนมัติอยู่ภายใน และอ่านระดับความแตกต่างจากหน้าจอภาพทั้ง 2 ข้าง ข้างหนึ่งจะเป็นบวกอีกข้างหนึ่งจะเป็นลบสลับกันแล้วแต่ว่าข้างไหนอยู่สูงกว่ากันคือ ข้างสูงจะแสดงค่าบวก ข้างต่ำจะแสดงค่าลบ แสดงดังรูปที่ ก-2 วิธีใช้งานเมื่อได้ตั้งขาตั้งอ่านระดับจุดแรกแล้วก็หมุนตัวเครื่องมือโดยให้ขาหน้ากดอยู่ที่จุดเดิมปล่อยขาหลังสลับไปเป็นขาหน้าแล้วอ่านค่าระดับ ทำเช่นนี้เรื่อยๆ ไปก็จะได้ค่าระดับแตกต่างของจุดต่างๆอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ก็ยังสามารถใช้คอมพิวเตอร์ตัวเล็กๆ ที่ติดอยู่ด้านบนอ่านค่าระดับได้ตามปกติ แสดงดังรูปที่ ก-3 นิยมใช้เป็นเครื่องมือในการสอบเทียบ (Calibrate) ของเครื่องมือ Road Meter



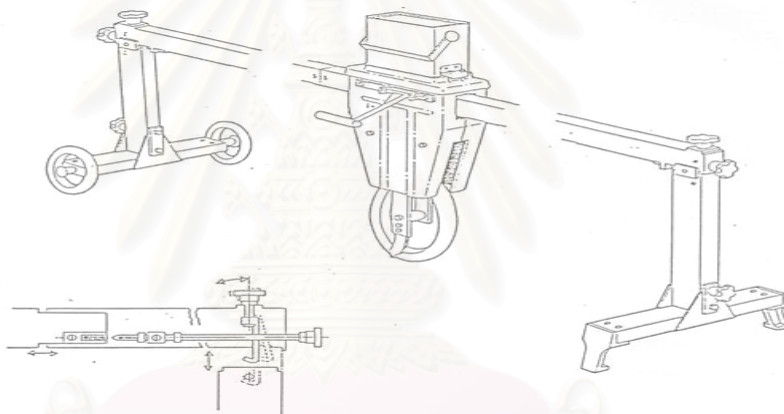
รูปที่ ก-2 เครื่องมือ Dipstick



รูปที่ ก-3 การใช้งานของเครื่องมือ Dipstick

## 1.2 Abay Beam

เป็นเครื่องมือที่ออกแบบโดย Transport and Road Research Laboratory: TRRL เนื่องจากเครื่องมือวัดค่าความเรียบต้นแบบของ TRRL คือ 5<sup>th</sup> Wheel bump Integrator เป็นเครื่องมือที่มีราคาแพง รูปร่างใหญ่ และใช้งานไม่สะดวก TRRL จึงได้ค้นคิด Abay Beam ขึ้นมาเครื่องมือนี้ประกอบด้วยคานยาว 3.60 เมตร พาดอยู่บนขาตั้ง 2 ข้าง แสดงดังรูปที่ ก-4 ขาตั้งหน้ามีอยู่ 2 ข้าง ขาหลังเป็นลูกล้อ 2 ล้อ สำหรับลากเคลื่อนไปข้างหน้า หลังจากทดสอบเสร็จแต่ละครั้งแล้ว ที่คานจะมีกล่องสวมและมีล้อสัมผัสกับผิวทางวัดค่าสูงต่ำของคานกับผิวทาง ส่วนบนของกล่องจะมีไมโครโปรเซสเซอร์อ่านค่าสูงต่ำในขณะที่เคลื่อนกล่องล้อผ่านคานไป



รูปที่ ก-4 เครื่องมือ Abay Beam

## 2. Road Meter

เนื่องจากเครื่องมือวัดความเรียบมาตรฐานชนิด Profilometer ทำงานได้ช้า เสียเวลา และอันตรายมากในทางหลวงที่มีปริมาณการจราจรสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาวัดความเรียบของทางได้ในงานตรวจสอบปกติเป็นประจำ

Road Meter เป็นเครื่องมือที่วัดความเรียบได้รวดเร็ว โดยใช้หลักการวัดระยะขึ้น – ลง ของเพลาหลังเทียบกับตัวถังรถยนต์ การคำนวณค่าตัวเลขที่ได้ก็แตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเครื่องมือแล้วใช้ตัวเลขเหล่านี้มาสอบเปรียบกับค่ามาตรฐาน เครื่องมือเหล่านี้ได้แก่ PCA Road Meter, May Meter, NAASRA Roughness Meter และ Bump Integrator เป็นต้น

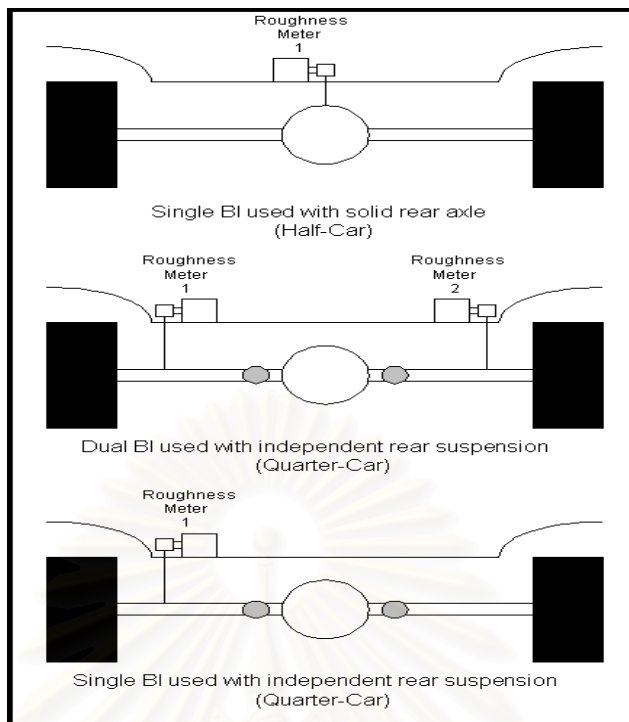
### 3. Bump Integrator

เป็นเครื่องมือวัดความเรียบของผิวทาง การทดสอบมีความคล่องตัวสูงและใช้ทดสอบหาความเรียบของผิวทางที่มีปริมาณการจราจรสูง สามารถวัดส่วนย่อยติดต่อกันโดยอัตโนมัติมีความสะดวกในการทดสอบทั้งที่มีสภาวะอากาศร้อน หนาว หรือฝนตก

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือ Bump Integrator ใช้หลักการเคลื่อนไหวของระบบกันสะเทือนของรถยนต์ สำหรับการทดสอบจะติดตั้ง Bump Integrator ยึดแน่นอยู่บนตัวถังรถยนต์ ตรงกับเพลาลังมีสายลวดสลิงพันรอกร้อยต่อผ่านรูหรือช่องที่ทำการเจาะพื้นรถยนต์ลงมาเกี่ยวกับเพลาลังของรถยนต์ทดสอบ แสดงดังรูปที่ ก-5 ลูกรอกนี้จะตั้งอยู่ตลอดเวลาโดยมีขีดลวดสปริงแบบลานนาฬิกาเหนี่ยวไว้ภายในลูกรอกจะหมุนไปกลับได้ตามการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ของเพลาลัง แสดงดังรูปที่ ก-6 ในขณะที่รถวิ่งผ่านไปมาตามทางที่ทดสอบ Bump Integrator Unit นี้จะมีเครื่องส่งสัญญาณตามสายนำสัญญาณไปยังหน่วยควบคุม (Romdas Hardware Interface ,Distance and Speed Sensor, Computer Laptop) ที่อยู่ในห้องคนขับและจะบันทึกค่าเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง สะสมของเพลาลัง เมื่อรถยนต์วิ่งไปตามทางที่ความเร็วคงที่ 35 กม./ชม. (ในย่านชุมชน) หรือความเร็วคงที่ 60 กม./ชม. (นอกเมือง) ค่าที่บันทึกเป็นค่าความเรียบที่ยังไม่ได้สอบเทียบ จากนั้นนำค่าความเรียบที่ยังไม่ได้สอบเทียบ ไปเปรียบเทียบกับค่าความเรียบมาตรฐานที่ได้ทำการสอบเทียบไว้แล้ว



รูปที่ ก-5 การติดตั้ง Bump Integrator



รูปที่ ก-6 การร้อยสายสลิงติดกับเพลารถยนต์

### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทำการวัดค่าความเรียบด้วยเครื่องมือ Bump Integrator

ในการทดสอบเครื่องมือ Bump Integrator ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งรถยนต์ที่มีโครงรองรับเครื่องยนต์ โดยแทนที่มีความยืดหยุ่นและเครื่องติดกันแน่นไม่ให้กระโดด

1. Integrator Unit (Roughness Meter) หรือ Bump Integrator (BI) แสดงดังรูปที่ ก-7
2. หน่วยควบคุม Romdas Hardware Interface ติดตั้งอยู่ภายในห้องคนขับทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ส่งมาจาก Bump Integrator ทำหน้าที่คอยบันทึกผลการวัดค่าการเคลื่อนที่ขึ้น – ลง สะสมของเพลาลัง ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเหล่านี้ จะทำการเชื่อมต่อเข้าไปเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์
3. หน่วยควบคุม Distance and Speed Sensor ทำหน้าที่เชื่อมโยงมาตรวจวัดรอบความเร็วรถและมาตรวัดระยะทางโดยให้ผ่านตัว Distance and Speed Sensor ติดตั้งอยู่ภายในห้องคนขับทำหน้าที่แปลงข้อมูลมาตรวัดความเร็วและมาตรวัดระยะทางในขณะที่ใช้งานโดยส่งผ่าน Romdas Hardware Interface แสดงดังรูปที่ ก-8

4. คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลและควบคุมการปฏิบัติงานในทุกขั้นตอนของการทำงานภาคสนามและนำค่าความเร็วยังไม่ได้ทำการสอบเทียบไปสอบเทียบกับค่าความเร็วมาตรฐาน
5. เครื่องให้กำลังไฟฟ้า
6. สายนำสัญญาณ และสายสลิง



รูปที่ ก-7 เครื่องมือ Bump Integrator



รูปที่ ก-8 เครื่องมือ Distance and Speed Sensor

### 3.2 การสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือวัดความเรียบของผิวทาง Bump Integrator

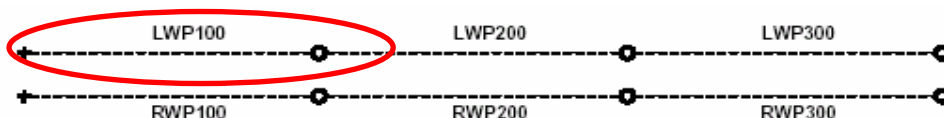
เนื่องจากรถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องมือ Bump Integrator มีสภาพที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่าง เช่น ลมยาง ความแข็งแรงของเพลลา เป็นต้น ทำให้ค่าความเรียบของผิวทางที่อ่านได้จากเครื่องมือ Bump Integrator ของแต่ละคัน มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือ Bump Integrator ทุกครั้งก่อนการปฏิบัติงานสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าความเรียบของผิวทาง โดยขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือ Bump Integrator มีดังนี้

1. คัดเลือกสายทางที่จะนำมาสอบเทียบเครื่องมือ Bump Integrator จำนวน 9 สายทาง (เฉพาะสายทางที่มีผิวทางลาดยางเท่านั้น) พิจารณาสายทางที่เป็นทางตรง สามารถใช้ความเร็วได้อย่างสม่ำเสมอตลอดการสอบเทียบ โดยครอบคลุมสภาพสายทาง ตั้งแต่ ความเรียบมาก – ความขรุขระมาก แสดงตัวอย่างดังรูปที่ ก-9

Site	Pavement Type	Average Roughness, BI (count/km)				IRI (m/km)
		Vehicle 3085	Vehicle 0887	Vehicle 3207	Vehicle 0045	
1	AC	2584	4341	4671	3583	2.79
2	CS	5414	6838	8253	7530	4.44
3	CS	6358	7832	11041	8872	5.01
4	CS	4634	6936	7292	5837	4.45
5	CS	3038	4545	4813	4148	2.47
6	CONC	Site Abandoned				3.72
7	UN	5030	7042	9593	7547	4.20
8	CS	14659	14175	22949	20609	9.17
9	CS	9889	10061	16055	13561	7.01

รูปที่ ก-9 ตัวอย่างการคัดเลือกสายทาง

2. แบ่งช่วงความยาวในแต่ละสายทางที่สอบเทียบโดยมีความยาวช่วงละ 100 เมตร จำนวน 3 ช่วง รวมเป็น 300 เมตร ของแต่ละสายทางและทำเครื่องหมายตามล้อยรถยนต์ทั้ง 2 ข้าง แสดงดังรูปที่ ก-10



รูปที่ ก-10 การแบ่งความยาวช่วงสายทาง

3. ตรวจสอบสภาพเครื่องมือทั้ง Dipstick, Bump Integrator และรถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องมือ Bump Integrator ให้พร้อมใช้งาน
4. ใช้ Dipstick วัดค่าความเรียบของผิวทางตลอดช่วงความยาวโดยวัดทั้ง 2 ร่องล้อ (ไป - กลับ)
5. คำนวณค่าดัชนีความเรียบสากล ของสายทางที่สอบเทียบทั้ง 9 สายทาง ที่วัดได้จากเครื่องมือ Dipstick
6. ใช้รถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องมือ Bump Integrator วิ่งในสายทางที่สอบเทียบด้วยความเร็ว 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง คงที่สม่ำเสมอ จำนวน 4 ครั้ง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย
7. คำนวณหาค่า Bump Integrator Reading (BI) แต่ละสายทางที่ทดสอบ แสดงดังรูปที่ ก-11

### Average Speed 40km/hr

		Raw Bump Integrator Readings						
	Disp	Pass 1	Pass 2	Pass 3	Pass 4	Average BI	Average BI /km	Average IRI
Site01	100	492	461	510	472	484	4838	3.31
	200	262	270	314	336	296	2955	2.42
	300	290	277	292	324	296	2958	2.64
Site02	100	716	702	647	730	699	6988	4.43
	200	982	728	893	870	868	8683	4.55
	300	777	594	707	690	692	6920	4.34
Site03	100	1073	1020	1050	1043	1047	10465	5.17
	200	654	640	664	723	670	6703	4.24
	300	842	977	1037	923	945	9448	5.61
Site04	100	673	680	771	678	701	7005	4.88
	200	534	507	514	478	508	5083	4.18
	300	568	612	456	533	542	5423	4.30
Site05	100	527	601	596	646	593	5925	3.24
	200	345	345	354	387	358	3578	2.22
	300	254	300	313	310	294	2943	1.95
Site06	100					#DIV/0!		
	200					#DIV/0!		
	300					#DIV/0!		
Site07	100	1072	964	970	1142	1059	10593	5.79
	200	760	671	615	702	711	7110	3.36
	300	440	488	536	553	494	4937	3.45
Site08	100	1680	1685	2027	1691	1771	17708	8.78
	200	2441	2316	2603	2044	2351	23510	9.57
	300							
Site09	100	1710	1627	1750	1754	1710	17103	7.99
	200	934	1069	1009	996	1002	10020	6.04
	300							

รูปที่ ก-11 ค่า Bump Integrator Reading ( BI )



8. หาคความสัมพันธ์ระหว่างค่า BI และ IRI แสดงดังรูปที่ ก-12 โดยได้เป็นสมการสอบเทียบดังนี้ ตามสมการ ก-1

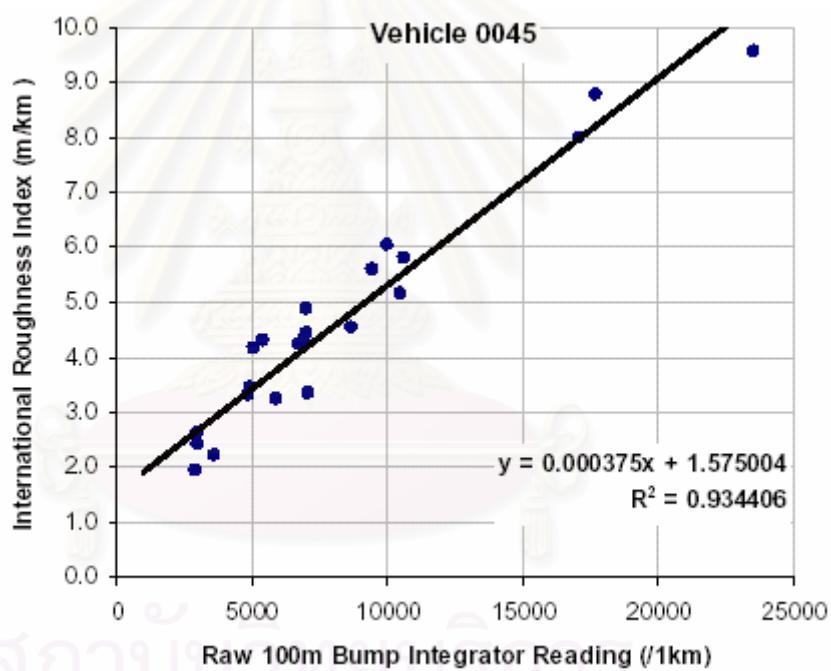
$$IRI = A + B (BI) \quad (ก-1)$$

โดยที่ IRI = International Roughness Index (m/km)

BI = Bump Integrator Reading (mm/km)

A = Constant

B = Coefficient



รูปที่ ก-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BI และ IRI

## ระบบหมายเลขทางหลวง

ในอดีตกรมทางหลวงใช้ชื่อสกุลของบุคคลที่มีความสำคัญในสายทางนั้นๆ เช่น ผู้บุกเบิก ผู้ก่อสร้างเป็นชื่อสายทาง ต่อมาได้มีการก่อสร้างทางมากสายขึ้นการใช้ชื่อก่อให้เกิดความสับสนและไม่สามารถทราบได้ว่าทางสายนั้นตั้งอยู่ ณ ที่ใด จึงได้มีการนำระบบหมายเลขทางหลวงมาใช้กำกับทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดิน และทางหลวงสัมปทาน ซึ่งอยู่ในความดูแลของกรมทางหลวงหมายเลขที่กำกับไว้มีความหมาย ดังนี้

### 1. แสดงที่ตั้งของทางหลวง

- ทางสายใดที่ขึ้นต้นด้วยหมายเลข 1 แสดงว่าทางสายนั้นอยู่ในภาคเหนือ
- ทางสายใดที่ขึ้นต้นด้วยหมายเลข 2 แสดงว่าทางสายนั้นอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- ทางสายใดที่ขึ้นต้นด้วยหมายเลข 3 แสดงว่าทางสายนั้นอยู่ในภาคกลาง และภาคตะวันออก
- ทางสายใดที่ขึ้นต้นด้วยหมายเลข 4 แสดงว่าทางสายนั้นอยู่ในภาคใต้

### 2. การจำแนกระบบหมายเลขทางหลวง

2.1 ทางหลวงที่มีหมายเลขตัวเดียว หมายถึง ทางหลวงแผ่นดินสายประธานเชื่อมการจราจรระหว่างภาคต่อภาค ในปัจจุบันมีอยู่ 4 สาย คือ

- ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1 (ถนนพหลโยธิน) จากกรุงเทพฯ - เชียงราย
- ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) จากสระบุรี - นครราชสีมา
- ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3 (ถนนสุขุมวิท) จากกรุงเทพฯ - ตรวาท
- ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 (ถนนเพชรเกษม) จากกรุงเทพฯ - อ.สะเดา จ.สงขลา

2.2 ทางหลวงที่มีหมายเลขสองตัว หมายถึง ทางหลวงแผ่นดินสายประธานตามภาคต่าง ๆ เช่นทางหลวงแผ่นดินสายประธานหมายเลข 22 เป็นทางหลวงแผ่นดินสายประธานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สายอุดรธานี - นครพนม เป็นต้น

2.3 ทางหลวงที่มีหมายเลขสามตัว หมายถึง ทางหลวงแผ่นดินสายรอง เช่น ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 202 เป็นทางหลวงแผ่นดินสายรอง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สายชัยภูมิ - เขมราฐ ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 314 เป็นทางหลวงแผ่นดินสายรอง  
ในภาคกลาง สายบางปะกง - ฉะเชิงเทรา

2.4 ทางหลวงที่มีหมายเลขสี่ตัว หมายถึง ทางหลวงแผ่นดินที่เชื่อมระหว่างจังหวัดกับ  
อำเภอ หรือสถานที่สำคัญของจังหวัดนั้น เช่น ทางหลวงหมายเลข 1001 เป็นทาง  
หลวงในภาคเหนือ สายแยกทางหลวงหมายเลข 11 - อ.พร้าว ทางหลวงหมายเลข  
4006 เป็นทางหลวงในภาคใต้ สายแยก ทางหลวงหมายเลข 4 (ราชกฤต) - หลังสวน  
เป็นต้น

สำหรับทางหลวงพิเศษและทางหลวงสัมปทานอาจจะเป็นทางสายใดตอนใดก็ได้ ซึ่งได้  
ประกาศให้เป็นทางหลวงพิเศษและทางหลวงสัมปทาน ทั้งนี้ยังคงใช้หมายเลขทางหลวงตาม  
หมายเลขเดิมหรือกำหนดหมายเลขทางหลวงขึ้นมาใหม่ เช่น ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 เป็นทาง  
หลวงพิเศษสายกรุงเทพ - ชลบุรี (สายใหม่) เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข.

ตารางประกอบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-1 สรุปเมตริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ  
ตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง

ลักษณะ	เมตริกซ์การเปลี่ยนสถานะ	เมตริกซ์ความน่าจะเป็น ของการเปลี่ยนสถานะ
ทั่วประเทศ	$\begin{bmatrix} 8 & 42 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 131 & 179 & 24 & 0 \\ 0 & 0 & 407 & 266 & 33 \\ 0 & 0 & 0 & 227 & 166 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 198 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.138 & 0.724 & 0.138 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.392 & 0.536 & 0.072 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.576 & 0.377 & 0.047 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.578 & 0.422 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
สถานที่ (ภาค)		
เหนือ	$\begin{bmatrix} 1 & 13 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 26 & 41 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 87 & 82 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 71 & 57 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 92 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.063 & 0.813 & 0.125 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.361 & 0.569 & 0.069 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.486 & 0.458 & 0.056 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.555 & 0.445 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
ตะวันออกเฉียงเหนือ	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 39 & 57 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 153 & 88 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 77 & 54 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 46 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.286 & 0.429 & 0.286 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.382 & 0.559 & 0.059 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.622 & 0.358 & 0.020 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.588 & 0.412 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
กลาง	$\begin{bmatrix} 1 & 10 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 27 & 51 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 107 & 59 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & 42 & 39 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 42 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.077 & 0.769 & 0.154 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.318 & 0.600 & 0.082 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.601 & 0.331 & 0.067 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.519 & 0.481 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
ใต้	$\begin{bmatrix} 4 & 16 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 39 & 30 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 60 & 37 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 37 & 16 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 18 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.182 & 0.727 & 0.091 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.520 & 0.400 & 0.080 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.583 & 0.359 & 0.058 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.698 & 0.302 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$

ตารางที่ ข-1 (ต่อ) สรุปเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง

ลักษณะ	เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ	เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
ชนิดผิวทางจราจร		
เซอร์เฟสทรีตเมนต์ (ST)	$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 58 & 118 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 313 & 200 & 28 \\ 0 & 0 & 0 & 176 & 131 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 156 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.071 & 0.643 & 0.286 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.296 & 0.602 & 0.102 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.579 & 0.370 & 0.052 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.573 & 0.427 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
พีนีเตรชันแมคคาดีม (PM)	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & 11 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 22 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.182 & 0.818 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.577 & 0.423 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.667 & 0.333 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
แอสฟัลท์คอนกรีต (AC)	$\begin{bmatrix} 6 & 31 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 71 & 52 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 79 & 55 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 31 & 25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.150 & 0.775 & 0.075 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.559 & 0.409 & 0.031 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.568 & 0.396 & 0.036 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.554 & 0.446 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (คัน/ปี)		
0 – 300	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 23 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 18 & 31 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 36 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.400 & 0.400 & 0.200 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.400 & 0.600 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.657 & 0.343 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.367 & 0.633 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
300 -1,000	$\begin{bmatrix} 3 & 16 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 38 & 62 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 154 & 95 & 23 \\ 0 & 0 & 0 & 111 & 73 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 81 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.150 & 0.800 & 0.050 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.369 & 0.602 & 0.029 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.566 & 0.349 & 0.085 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.603 & 0.397 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
1,000 – 2,000	$\begin{bmatrix} 1 & 17 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 42 & 80 & 11 & 0 \\ 0 & 0 & 171 & 102 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 25 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 42 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.048 & 0.810 & 0.143 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.316 & 0.602 & 0.083 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.617 & 0.368 & 0.014 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.403 & 0.597 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$

ตารางที่ ข-1 (ต่อ) สรุปเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง

ลักษณะ	เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ	เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ
เปอร์เซ็นต์ยานยนต์หนัก (%)		
0 - 15	$\begin{bmatrix} 3 & 17 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 46 & 59 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 130 & 77 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 84 & 71 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 78 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.136 & 0.773 & 0.091 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.418 & 0.536 & 0.045 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.613 & 0.363 & 0.024 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.542 & 0.458 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
15 - 30	$\begin{bmatrix} 5 & 20 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 67 & 97 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 223 & 137 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 112 & 62 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 77 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.179 & 0.714 & 0.107 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.387 & 0.561 & 0.052 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.603 & 0.370 & 0.027 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.644 & 0.356 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
> 30	$\begin{bmatrix} 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 16 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 40 & 27 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 27 & 19 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 23 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.414 & 0.552 & 0.034 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.548 & 0.370 & 0.082 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.587 & 0.413 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี (มม./ปี)		
0 – 1,000	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 14 & 10 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 31 & 21 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 19 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 18 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.286 & 0.429 & 0.286 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.538 & 0.385 & 0.077 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.585 & 0.396 & 0.019 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.345 & 0.655 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
1,000 – 2,000	$\begin{bmatrix} 2 & 22 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 72 & 126 & 17 & 0 \\ 0 & 0 & 290 & 191 & 21 \\ 0 & 0 & 0 & 174 & 130 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 158 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.069 & 0.759 & 0.172 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.335 & 0.586 & 0.079 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.578 & 0.380 & 0.042 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.572 & 0.428 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$
> 2,000	$\begin{bmatrix} 0 & 12 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 14 & 34 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 70 & 40 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 11 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.000 & 0.923 & 0.077 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.264 & 0.642 & 0.094 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.588 & 0.336 & 0.076 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.556 & 0.444 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$

ตารางที่ ข-1 (ต่อ) สรุปเมตริกซ์การเปลี่ยนสถานะและเมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง

ลักษณะ	เมตริกซ์การเปลี่ยนสถานะ	เมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ																																																		
ความชื้นของภูมิภาค (%)																																																				
0-3	<table border="1"> <tr><td>5</td><td>29</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>91</td><td>95</td><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>307</td><td>159</td><td>29</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>179</td><td>87</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>160</td></tr> </table>	5	29	4	0	0	0	91	95	8	0	0	0	307	159	29	0	0	0	179	87	0	0	0	0	160	<table border="1"> <tr><td>0.132</td><td>0.763</td><td>0.105</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.469</td><td>0.490</td><td>0.041</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.620</td><td>0.321</td><td>0.059</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.673</td><td>0.327</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.132	0.763	0.105	0.000	0.000	0.000	0.469	0.490	0.041	0.000	0.000	0.000	0.620	0.321	0.059	0.000	0.000	0.000	0.673	0.327	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
5	29	4	0	0																																																
0	91	95	8	0																																																
0	0	307	159	29																																																
0	0	0	179	87																																																
0	0	0	0	160																																																
0.132	0.763	0.105	0.000	0.000																																																
0.000	0.469	0.490	0.041	0.000																																																
0.000	0.000	0.620	0.321	0.059																																																
0.000	0.000	0.000	0.673	0.327																																																
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																
3-5	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>5</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>12</td><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>9</td><td>7</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td></tr> </table>	1	4	2	0	0	0	5	6	0	0	0	0	12	8	0	0	0	0	9	7	0	0	0	0	5	<table border="1"> <tr><td>0.143</td><td>0.571</td><td>0.286</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.455</td><td>0.545</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.600</td><td>0.400</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.563</td><td>0.438</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.143	0.571	0.286	0.000	0.000	0.000	0.455	0.545	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.563	0.438	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
1	4	2	0	0																																																
0	5	6	0	0																																																
0	0	12	8	0																																																
0	0	0	9	7																																																
0	0	0	0	5																																																
0.143	0.571	0.286	0.000	0.000																																																
0.000	0.455	0.545	0.000	0.000																																																
0.000	0.000	0.600	0.400	0.000																																																
0.000	0.000	0.000	0.563	0.438																																																
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																
> 5	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td><td>11</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>23</td><td>17</td><td>2</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>14</td><td>7</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>10</td></tr> </table>	0	3	1	0	0	0	10	11	2	0	0	0	23	17	2	0	0	0	14	7	0	0	0	0	10	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>0.750</td><td>0.250</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.435</td><td>0.478</td><td>0.087</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.548</td><td>0.405</td><td>0.048</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.667</td><td>0.333</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.435	0.478	0.087	0.000	0.000	0.000	0.548	0.405	0.048	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
0	3	1	0	0																																																
0	10	11	2	0																																																
0	0	23	17	2																																																
0	0	0	14	7																																																
0	0	0	0	10																																																
0.000	0.750	0.250	0.000	0.000																																																
0.000	0.435	0.478	0.087	0.000																																																
0.000	0.000	0.548	0.405	0.048																																																
0.000	0.000	0.000	0.667	0.333																																																
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																



ตาราง ข-2 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียงสากล พิจารณาตัวแปรระหว่างชนิดผิวทางกับปริมาณจราจร

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		AADT (คัน/วัน)														
		0 – 300					300 – 1,000					1,000 – 2,000				
Type	ST	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.125	0.500	0.375	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000
		0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.298	0.667	0.035	0.000	0.000	0.222	0.681	0.097	0.000
		0.000	0.000	0.690	0.241	0.069	0.000	0.000	0.542	0.358	0.101	0.000	0.000	0.615	0.367	0.018
		0.000	0.000	0.000	0.375	0.625	0.000	0.000	0.000	0.604	0.396	0.000	0.000	0.000	0.383	0.617
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	PM	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.200	0.600	0.200	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
		0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.250	0.667	0.083	0.000	0.000	0.357	0.429	0.214	0.000
		0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.655	0.241	0.103	0.000	0.000	0.714	0.286	0.000
		0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.636	0.364	0.000	0.000	0.000	0.200	0.800
0.000		0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	
AC	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000	0.231	0.692	0.077	0.000	0.000	0.118	0.765	0.118	0.000	0.000	
	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000	0.000	0.526	0.421	0.053	0.000	0.000	0.481	0.463	0.056	0.000	
	0.000	0.000	0.429	0.429	0.143	0.000	0.000	0.559	0.353	0.088	0.000	0.000	0.569	0.353	0.078	
	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000	0.567	0.433	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	
	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	

ตาราง ข-3 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรระหว่างชนิดผิวทางกับปริมาณน้ำฝน

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Water (มม./ปี)														
		0 – 1,000					1,000 – 2,000					> 2,000				
Type	ST	0.200	0.400	0.400	0.000	0.000	0.100	0.600	0.300	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000
		0.000	0.600	0.333	0.067	0.000	0.000	0.260	0.649	0.092	0.000	0.000	0.190	0.714	0.095	0.000
		0.000	0.000	0.575	0.400	0.025	0.000	0.000	0.586	0.373	0.041	0.000	0.000	0.571	0.352	0.077
		0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000	0.574	0.426	0.000	0.000	0.000	0.591	0.409
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	PM	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000
		0.000	0.500	0.333	0.167	0.000	0.000	0.250	0.625	0.125	0.000	0.000	0.600	0.200	0.200	0.000
		0.000	0.000	0.600	0.200	0.200	0.000	0.000	0.576	0.364	0.061	0.000	0.000	0.571	0.357	0.071
		0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.625	0.375	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	AC	0.200	0.600	0.200	0.000	0.000	0.056	0.889	0.056	0.000	0.000	0.091	0.818	0.091	0.000	0.000
		0.000	0.556	0.333	0.111	0.000	0.000	0.500	0.417	0.083	0.000	0.000	0.385	0.500	0.115	0.000
		0.000	0.000	0.571	0.429	0.000	0.000	0.000	0.539	0.422	0.039	0.000	0.000	0.684	0.158	0.158
		0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.588	0.412	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

ตาราง ข-4 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรระหว่างชนิดผิวทางกับความชันของภูมิประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)														
		0 - 3					3 - 5					> 5				
Type	ST	0.154	0.385	0.462	0.000	0.000	0.167	0.333	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000
		0.000	0.381	0.562	0.057	0.000	0.000	0.556	0.444	0.000	0.000	0.000	0.143	0.571	0.286	0.000
		0.000	0.000	0.617	0.325	0.058	0.000	0.000	0.550	0.400	0.050	0.000	0.000	0.568	0.378	0.054
		0.000	0.000	0.000	0.679	0.321	0.000	0.000	0.000	0.533	0.467	0.000	0.000	0.000	0.650	0.350
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	PM	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	N/A					N/A				
		0.000	0.333	0.600	0.067	0.000	N/A					N/A				
		0.000	0.000	0.622	0.297	0.081	N/A					N/A				
		0.000	0.000	0.000	0.647	0.353	N/A					N/A				
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	N/A					N/A				
	AC	0.154	0.846	0.000	0.000	0.000	N/A					0.000	0.500	0.500	0.000	0.000
		0.000	0.641	0.346	0.013	0.000	N/A					0.000	0.143	0.571	0.286	0.000
		0.000	0.000	0.633	0.316	0.051	N/A					0.000	0.000	0.568	0.378	0.054
		0.000	0.000	0.000	0.645	0.355	N/A					0.000	0.000	0.000	0.650	0.350
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	N/A					0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะได้

ตาราง ข-5 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรระหว่างปริมาณจราจรกับปริมาณน้ำฝน

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Water (มม./ปี)														
		0 – 1,000					1,000 – 2,000					> 2,000				
AADT (คัน/วัน)	0 - 300	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.500	0.250	0.000	0.000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000
		0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.250	0.750	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.833	0.167	0.000	0.000	0.000	0.762	0.238	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000
		0.000	0.000	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.326	0.674	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	300 – 1,000	0.273	0.545	0.182	0.000	0.000	0.167	0.583	0.250	0.000	0.000	0.200	0.600	0.200	0.000	0.000
		0.000	0.571	0.429	0.000	0.000	0.000	0.313	0.657	0.030	0.000	0.000	0.409	0.545	0.045	0.000
		0.000	0.000	0.485	0.455	0.061	0.000	0.000	0.596	0.340	0.064	0.000	0.000	0.500	0.308	0.192
		0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000	0.612	0.388	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250
1,000 – 2,000	0.250	0.500	0.250	0.000	0.000	0.000	0.800	0.200	0.000	0.000	0.000	0.778	0.222	0.000	0.000	
	0.000	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000	0.300	0.600	0.100	0.000	0.000	0.353	0.588	0.059	0.000	
	0.000	0.000	0.611	0.389	0.000	0.000	0.000	0.617	0.368	0.016	0.000	0.000	0.600	0.340	0.060	
	0.000	0.000	0.000	0.250	0.750	0.000	0.000	0.000	0.420	0.580	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	
	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	

ตาราง ข-6 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรระหว่างปริมาณจราจรกับความชันของภูมิประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)																			
		0 - 3					3 - 5					> 5									
AADT (คัน/วัน)	0 - 300	0.250	0.500	0.250	0.000	0.000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
		0.000	0.400	0.600	0.000	0.000															
		0.000	0.000	0.667	0.333	0.000															
		0.000	0.000	0.000	0.472	0.528															
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000															
	300 – 1,000	0.167	0.722	0.111	0.000	0.000	0.167	0.500	0.333	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000
		0.000	0.361	0.614	0.024	0.000	0.000	0.375	0.500	0.125	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.554	0.356	0.090	0.000	0.000	0.649	0.243	0.108	0.000	0.000	0.200	0.600	0.200	0.000	0.000	0.200	0.600	0.200
		0.000	0.000	0.000	0.585	0.415	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250
0.000		0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	
1,000 – 2,000	0.083	0.750	0.167	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.714	0.286	0.000	0.000	0.000	0.714	0.286	0.000	0.000	
	0.000	0.293	0.598	0.109	0.000	0.000	0.360	0.560	0.080	0.000	0.000	0.300	0.550	0.150	0.000	0.000	0.300	0.550	0.150	0.000	
	0.000	0.000	0.612	0.379	0.009	0.000	0.000	0.633	0.333	0.033	0.000	0.000	0.600	0.314	0.086	0.000	0.000	0.600	0.314	0.086	
	0.000	0.000	0.000	0.408	0.592	0.000	0.000	0.000	0.200	0.800	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	
	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะได้

ตาราง ข-7 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรระหว่างปริมาณน้ำฝนกับความชันของภูมิประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)														
		0 - 3					3 - 5					> 5				
Water (มม./ปี)	0 - 1,000	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		0.000	0.524	0.381	0.095	0.000										
		0.000	0.000	0.650	0.350	0.000										
		0.000	0.000	0.000	0.385	0.615										
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000										
	1,000 - 2,000	0.150	0.700	0.150	0.000	0.000	0.000	0.833	0.167	0.000	0.000	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000
		0.000	0.338	0.615	0.047	0.000	0.000	0.286	0.643	0.071	0.000	0.000	0.424	0.485	0.091	0.000
		0.000	0.000	0.567	0.409	0.023	0.000	0.000	0.708	0.215	0.077	0.000	0.000	0.489	0.447	0.064
		0.000	0.000	0.000	0.623	0.377	0.000	0.000	0.000	0.429	0.571	0.000	0.000	0.000	0.730	0.270
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	> 2,000	0.000	0.875	0.125	0.000	0.000	0.000	0.800	0.200	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000
		0.000	0.314	0.600	0.086	0.000	0.000	0.200	0.600	0.200	0.000	0.000	0.455	0.364	0.182	0.000
		0.000	0.000	0.588	0.340	0.072	0.000	0.000	0.636	0.273	0.091	0.000	0.000	0.538	0.308	0.154
		0.000	0.000	0.000	0.476	0.524	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะได้

ตาราง ข-8 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ปริมาณจราจร และปริมาณน้ำฝน

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Water (มม./ปี)																																																																																								
		0 – 1,000					1,000 – 2,000					> 2,000																																																																														
AADT (คัน/วัน)	0 - 300	N/A					<table border="1"> <tr><td>0.333</td><td>0.333</td><td>0.333</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.700</td><td>0.250</td><td>0.050</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.324</td><td>0.676</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>					0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.700	0.250	0.050	0.000	0.000	0.000	0.324	0.676	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	N/A																																																					
	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000																																																																																					
	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000																																																																																					
0.000	0.000	0.700	0.250	0.050																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.324	0.676																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																																						
300 – 1,000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>1.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.600</td><td>0.400</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.294</td><td>0.588</td><td>0.118</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.250</td><td>0.750</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>					0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.294	0.588	0.118	0.000	0.000	0.000	0.250	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.200</td><td>0.400</td><td>0.400</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.220</td><td>0.732</td><td>0.049</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.591</td><td>0.339</td><td>0.071</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.625</td><td>0.375</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>					0.200	0.400	0.400	0.000	0.000	0.000	0.220	0.732	0.049	0.000	0.000	0.000	0.591	0.339	0.071	0.000	0.000	0.000	0.625	0.375	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>0.500</td><td>0.500</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.455</td><td>0.545</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.486</td><td>0.314</td><td>0.200</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.750</td><td>0.250</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>					0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.455	0.545	0.000	0.000	0.000	0.000	0.486	0.314	0.200	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.600	0.400	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.000	0.294	0.588	0.118																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.250	0.750																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																																						
0.200	0.400	0.400	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.220	0.732	0.049	0.000																																																																																						
0.000	0.000	0.591	0.339	0.071																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.625	0.375																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																																						
0.000	0.500	0.500	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.455	0.545	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.000	0.486	0.314	0.200																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.750	0.250																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																																						
1,000 – 2,000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>1.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.200</td><td>0.800</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.593</td><td>0.370</td><td>0.037</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.400</td><td>0.600</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>					0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.593	0.370	0.037	0.000	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>0.500</td><td>0.500</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.200</td><td>0.673</td><td>0.127</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.617</td><td>0.364</td><td>0.019</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.371</td><td>0.629</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>					0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.200	0.673	0.127	0.000	0.000	0.000	0.617	0.364	0.019	0.000	0.000	0.000	0.371	0.629	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.333</td><td>0.667</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.622</td><td>0.378</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.429</td><td>0.571</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>					0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000	0.000	0.622	0.378	0.000	0.000	0.000	0.000	0.429	0.571	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.200	0.800	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.000	0.593	0.370	0.037																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.400	0.600																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																																						
0.000	0.500	0.500	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.200	0.673	0.127	0.000																																																																																						
0.000	0.000	0.617	0.364	0.019																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.371	0.629																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																																						
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.333	0.667	0.000	0.000																																																																																						
0.000	0.000	0.622	0.378	0.000																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.429	0.571																																																																																						
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																																						

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะได้

ตาราง ข-9 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางพีเน็ตรีชั้นแมคคาดีม ปริมาณจราจร และปริมาณน้ำฝน

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Water (มม./ปี)																																																				
		0 – 1,000	1,000 – 2,000	> 2,000																																																		
AADT (คัน/วัน)	0 - 300	N/A	N/A	N/A																																																		
	300 – 1,000	N/A	<table border="1"> <tr><td>0.500</td><td>0.000</td><td>0.500</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.286</td><td>0.714</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.706</td><td>0.235</td><td>0.059</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.714</td><td>0.286</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.286	0.714	0.000	0.000	0.000	0.000	0.706	0.235	0.059	0.000	0.000	0.000	0.714	0.286	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>1.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.250</td><td>0.500</td><td>0.250</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.571</td><td>0.429</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.750</td><td>0.250</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.500	0.250	0.000	0.000	0.000	0.571	0.429	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000																																																	
0.000	0.286	0.714	0.000	0.000																																																		
0.000	0.000	0.706	0.235	0.059																																																		
0.000	0.000	0.000	0.714	0.286																																																		
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																		
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000																																																		
0.000	0.250	0.500	0.250	0.000																																																		
0.000	0.000	0.571	0.429	0.000																																																		
0.000	0.000	0.000	0.750	0.250																																																		
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																		
1,000 – 2,000	N/A	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>1.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.375</td><td>0.375</td><td>0.250</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.667</td><td>0.333</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.250</td><td>0.750</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.375	0.375	0.250	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	N/A																										
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000																																																		
0.000	0.375	0.375	0.250	0.000																																																		
0.000	0.000	0.667	0.333	0.000																																																		
0.000	0.000	0.000	0.250	0.750																																																		
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																		

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะได้



ตาราง ข-10 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ปริมาณจราจร และปริมาณน้ำฝน

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Water (มม./ปี)														
		0 – 1,000					1,000 – 2,000					> 2,000				
AADT (คัน/วัน)	0 - 300						N/A					N/A				
	300 – 1,000	0.286	0.714	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000
	1,000 – 2,000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.500	0.406	0.094	0.000	0.000	0.421	0.579	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.615	0.385	0.000	0.000	0.000	0.543	0.370	0.087	0.000	0.000	0.625	0.250	0.125
		0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.577	0.423	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
		0.500	0.250	0.250	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.875	0.125	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000	0.583	0.361	0.056	0.000	0.000	0.667	0.111	0.222
		0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.556	0.444	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะได้

ตาราง ข-11 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ปริมาณจราจร และความชันของภูมิประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)											
		0 - 3					3 - 5						
AADT (คัน/วัน)	0 - 300	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	N/A	N/A
		0.000	0.000	0.714	0.286	0.000							
		0.000	0.000	0.000	0.438	0.563							
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000							
	300 - 1,000	0.167	0.500	0.333	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000		
		0.000	0.306	0.653	0.041	0.000	0.000	0.286	0.571	0.143	0.000		
		0.000	0.000	0.522	0.377	0.101	0.000	0.000	0.650	0.200	0.150		
		0.000	0.000	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000	0.000	0.385	0.615		
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000		
	1,000 - 2,000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000							
		0.000	0.204	0.667	0.130	0.000							
		0.000	0.000	0.602	0.386	0.012							
		0.000	0.000	0.000	0.385	0.615							
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000							

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะได้

ตาราง ข-12 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางพีเน็ตร์ชั้นแมคคาดีม ปริมาณจราจร และความชันของภูมิประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)										
		0 – 3		3 – 5		> 5						
AADT (คัน/วัน)	0 - 300	N/A					N/A					
	300 – 1,000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	N/A
	1,000 – 2,000	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0.400	0.000	N/A

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะได้

ตาราง ข-13 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ปริมาณจราจร และความชันของภูมิประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)											
		0 – 3					3 – 5					> 5	
AADT (คัน/วัน)	0 – 300	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	N/A	N/A
		0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250		
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000							
	300 – 1,000	0.222	0.778	0.000	0.000	0.000	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	N/A	N/A
		0.000	0.519	0.481	0.000	0.000	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000		
		0.000	0.000	0.604	0.340	0.057	0.000	0.000	0.600	0.300	0.100		
		0.000	0.000	0.000	0.474	0.526	0.000	0.000	0.000	0.636	0.364		
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000		
	1,000 – 2,000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.485	0.485	0.030	0.000	N/A	N/A
		0.000	0.000	0.636	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333		
		0.000	0.000	0.000	0.667	0.333							
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000							

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะได้

ตาราง ข-14 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นของภูมิภาค

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)																																	
		0 - 3					3 - 5					> 5																							
Water (มม./ปี)	0 - 1,000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A															
	1,000 - 2,000	0.167	0.500	0.333	0.000	0.000															0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.111	0.778	0.111	0.000
	> 2,000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000															N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	0.000	0.125	0.813	0.063	0.000	0.000	0.000	0.581	0.351	0.068	0.000	0.000	0.000	0.529	0.471	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000															
	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.412	0.588	0.000	0.000	0.000	0.783	0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000															

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะได้

ตาราง ข-15 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางพีเน็ตร์ชั้นแมคคาดีม ปริมาณน้ำฝน และความชื้นของภูมิภาค

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)										
		0 – 3					3 – 5	> 5				
Water (มม./ปี)	0 – 1,000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	N/A	N/A				
		0.000	0.500	0.500	0.000	0.000						
		0.000	0.000	0.500	0.500	0.000						
		0.000	0.000	0.000	0.667	0.333						
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000						
	1,000 – 2,000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000	N/A	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000
		0.000	0.111	0.889	0.000	0.000		0.000	0.667	0.333	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.583	0.292	0.125		0.000	0.000	0.500	0.500	0.000
		0.000	0.000	0.000	0.727	0.273		0.000	0.000	0.000	0.500	0.500
0.000		0.000	0.000	0.000	1.000	0.000		0.000	0.000	0.000	1.000	
> 2,000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	N/A	N/A					
	0.000	0.600	0.200	0.200	0.000							
	0.000	0.000	0.375	0.500	0.125							
	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667							
	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000							

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะได้

ตาราง ข-16 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรชนิดผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)																													
		0 – 3					3 – 5					> 5																			
Water (มม./ปี)	0 – 1,000	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A										
	1,000 – 2,000	0.083	0.917	0.000	0.000	0.000																0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
		0.000	0.511	0.489	0.000	0.000																0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.524	0.381	0.095	0.000
> 2,000	0.000	0.000	0.714	0.286	0.000	0.000																0.000	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.583	0.333	0.083	
	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000																0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.700	0.300	
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000															
		0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.429	0.500	0.071	0.000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A											
		0.000	0.000	0.733	0.200	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																				
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																				
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																				
		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																				

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะได้

ตาราง ข-17 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรปริมาณจรรยาเจดีย์ต่อวันตลอดปี 300 – 1,000 คัน/วัน ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)																																																																													
		0 – 3	3 - 5	> 5																																																																											
Water (มม./ปี)	0 – 1,000	N/A	N/A	N/A																																																																											
	1,000 – 2,000	<table border="1"> <tr><td>0.250</td><td>0.625</td><td>0.125</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.309</td><td>0.673</td><td>0.018</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.590</td><td>0.365</td><td>0.045</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.593</td><td>0.407</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.250	0.625	0.125	0.000	0.000	0.000	0.309	0.673	0.018	0.000	0.000	0.000	0.590	0.365	0.045	0.000	0.000	0.000	0.593	0.407	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>1.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.250</td><td>0.500</td><td>0.250</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.684</td><td>0.263</td><td>0.053</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.500</td><td>0.500</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.500	0.250	0.000	0.000	0.000	0.684	0.263	0.053	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>0.500</td><td>0.500</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.375</td><td>0.625</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.538</td><td>0.154</td><td>0.308</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.923</td><td>0.077</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.375	0.625	0.000	0.000	0.000	0.000	0.538	0.154	0.308	0.000	0.000	0.000	0.923	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	0.250	0.625	0.125	0.000	0.000																																																																										
0.000	0.309	0.673	0.018	0.000																																																																											
0.000	0.000	0.590	0.365	0.045																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.593	0.407																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																											
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000																																																																											
0.000	0.250	0.500	0.250	0.000																																																																											
0.000	0.000	0.684	0.263	0.053																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.500	0.500																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																											
0.000	0.500	0.500	0.000	0.000																																																																											
0.000	0.375	0.625	0.000	0.000																																																																											
0.000	0.000	0.538	0.154	0.308																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.923	0.077																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																											
> 2,000	N/A	N/A	N/A																																																																												

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะได้



ตาราง ข-18 สรุปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของค่าดัชนีความเรียบสากล พิจารณาตัวแปรปริมาณจากรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี 1,000 – 2,000 คั้น/วัน ปริมาณน้ำฝน และความชื้นของภูมิภาค

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความเสียหายของผิวทาง		Gradient (%)																																																																													
		0 – 3	3 – 5	> 5																																																																											
Water (มม./ปี)	0 – 1,000	N/A	N/A	N/A																																																																											
	1,000 – 2,000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>1.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.339</td><td>0.610</td><td>0.051</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.607</td><td>0.393</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.471</td><td>0.529</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.339	0.610	0.051	0.000	0.000	0.000	0.607	0.393	0.000	0.000	0.000	0.000	0.471	0.529	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>0.667</td><td>0.333</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.313</td><td>0.625</td><td>0.063</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.633</td><td>0.333</td><td>0.033</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.167</td><td>0.833</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.313	0.625	0.063	0.000	0.000	0.000	0.633	0.333	0.033	0.000	0.000	0.000	0.167	0.833	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	<table border="1"> <tr><td>0.000</td><td>0.667</td><td>0.333</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.133</td><td>0.533</td><td>0.333</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.652</td><td>0.261</td><td>0.087</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.400</td><td>0.600</td></tr> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.000</td></tr> </table>	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.133	0.533	0.333	0.000	0.000	0.000	0.652	0.261	0.087	0.000	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000																																																																										
0.000	0.339	0.610	0.051	0.000																																																																											
0.000	0.000	0.607	0.393	0.000																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.471	0.529																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																											
0.000	0.667	0.333	0.000	0.000																																																																											
0.000	0.313	0.625	0.063	0.000																																																																											
0.000	0.000	0.633	0.333	0.033																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.167	0.833																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																											
0.000	0.667	0.333	0.000	0.000																																																																											
0.000	0.133	0.533	0.333	0.000																																																																											
0.000	0.000	0.652	0.261	0.087																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.400	0.600																																																																											
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000																																																																											
> 2,000	N/A	N/A	N/A																																																																												

N/A ไม่สามารถสร้างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะได้

ตาราง ค-19 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทาง และปริมาณการจราจร

Type	AADT (คัน/วัน)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
ST	0 – 300	0.331	0.776	0.000	172
	300 – 1,000	0.354	0.745	0.000	611
	1,000 – 2,000	0.360	0.782	0.000	518
PM	0 – 300	0.457	0.860	0.000	22
	300 – 1,000	0.332	0.792	0.000	68
	1,000 – 2,000	0.325	0.697	0.000	41
AC	0 – 300	0.288	0.805	0.000	31
	300 – 1,000	0.309	0.589	0.000	219
	1,000 – 2,000	0.311	0.773	0.000	152

ตาราง ค-20 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทาง และปริมาณน้ำฝน

Type	Water (มม./ปี)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
ST	0 – 1,000	0.349	0.713	0.000	137
	1,000 – 2,000	0.333	0.782	0.000	997
	> 2,000	0.282	0.747	0.000	167
PM	0 – 1,000	0.325	0.712	0.000	24
	1,000 – 2,000	0.335	0.802	0.000	83
	> 2,000	0.337	0.734	0.000	24
AC	0 – 1,000	0.215	0.747	0.000	47
	1,000 – 2,000	0.301	0.634	0.000	281
	> 2,000	0.217	0.781	0.000	77

ตาราง ค-21 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทาง และความชันของภูมิประเทศ

Type	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
ST	0 – 3	0.331	0.764	0.000	1190
	3 – 5	0.246	0.766	0.000	36
	> 5	0.311	0.899	0.000	75
PM	0 – 3	0.326	0.777	0.000	124
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	1
	> 5	0.243	0.849	0.000	6
AC	0 – 3	0.304	0.652	0.000	359
	3 – 5	0.222	0.838	0.001	8
	> 5	0.289	0.810	0.000	38

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-22 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ปริมาณการจราจร และปริมาณน้ำฝน

AADT (คัน/วัน)	Water (มม./ปี)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 300	0 – 1,000	0.303	0.833	0.000	27
	1,000 – 2,000	0.329	0.802	0.000	171
	> 2,000	0.357	0.732	0.000	27
300 – 1,000	0 – 1,000	0.260	0.675	0.000	96
	1,000 – 2,000	0.307	0.717	0.000	715
	> 2,000	0.354	0.783	0.000	87
1,000 – 2,000	0 – 1,000	0.327	0.781	0.000	113
	1,000 – 2,000	0.349	0.784	0.000	475
	> 2,000	0.258	0.757	0.000	123

ตาราง ค-23 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ปริมาณการจราจร และความชันของภูมิประเทศ

AADT (คัน/วัน)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 300	0 – 3	0.301	0.791	0.000	163
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	0.305	0.812	0.000	18
300 – 1,000	0 – 3	0.312	0.702	0.000	834
	3 – 5	0.244	0.800	0.000	12
	> 5	0.293	0.767	0.000	52
1,000 – 2,000	0 – 3	0.337	0.774	0.000	636
	3 – 5	0.240	0.776	0.000	29
	> 5	0.311	0.835	0.000	46

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-24 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

Water (มม./ปี)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 1,000	0 – 3	0.288	0.720	0.000	212
	3 – 5	0.155	0.407	3.620	3
	> 5	0.301	0.797	0.000	21
1,000 – 2,000	0 – 3	0.331	0.752	0.000	1237
	3 – 5	0.250	0.810	0.000	38
	> 5	0.305	0.807	0.000	86
> 2,000	0 – 3	0.277	0.741	0.000	233
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	3
	> 5	0.308	0.875	0.000	11

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-25 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ปริมาณการจราจร และปริมาณน้ำฝน

AADT (คัน/วัน)	Water (มม./ปี)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 300	0 – 1,000	0.288	0.821	0.000	19
	1,000 – 2,000	0.324	0.796	0.000	132
	> 2,000	0.360	0.718	0.000	21
300 – 1,000	0 – 1,000	0.336	0.662	0.000	48
	1,000 – 2,000	0.300	0.777	0.000	500
	> 2,000	0.311	0.815	0.000	63
1,000 – 2,000	0 – 1,000	0.324	0.790	0.000	70
	1,000 – 2,000	0.360	0.791	0.000	365
	> 2,000	0.364	0.764	0.000	82

ตาราง ค-26 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางพีเน็ตร์ชั้นแมคคาดีม ปริมาณการจราจร และปริมาณน้ำฝน

AADT (คัน/วัน)	Water (มม./ปี)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 300	0 – 1,000	N/A	N/A	N/A	1
	1,000 – 2,000	0.372	0.855	0.000	17
	> 2,000	0.372	0.870	0.000	4
300 – 1,000	0 – 1,000	0.240	0.869	0.000	12
	1,000 – 2,000	0.300	0.815	0.000	44
	> 2,000	0.348	0.679	0.001	12
1,000 – 2,000	0 – 1,000	0.276	0.557	0.005	11
	1,000 – 2,000	0.360	0.752	0.000	22
	> 2,000	0.364	0.710	0.004	9

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-27 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ปริมาณการจราจร และปริมาณน้ำฝน

AADT (คัน/วัน)	Water (มม./ปี)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 300	0 – 1,000	0.324	0.854	0.001	8
	1,000 – 2,000	0.264	0.796	0.000	22
	> 2,000	N/A	N/A	N/A	2
300 – 1,000	0 – 1,000	0.312	0.666	0.000	36
	1,000 – 2,000	0.312	0.571	0.000	171
	> 2,000	0.240	0.831	0.000	12
1,000 – 2,000	0 – 1,000	0.336	0.801	0.000	32
	1,000 – 2,000	0.288	0.778	0.000	88
	> 2,000	0.304	0.791	0.000	32

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-28 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ปริมาณการจราจร และความชันของภูมิประเทศ

AADT (คัน/วัน)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 300	0 – 3	0.336	0.780	0.000	126
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	3
	> 5	0.324	0.799	0.000	12
300 – 1,000	0 – 3	0.312	0.744	0.000	568
	3 – 5	0.240	0.794	0.000	10
	> 5	0.288	0.775	0.000	32
1,000 – 2,000	0 – 3	0.348	0.781	0.000	466
	3 – 5	0.264	0.769	0.000	22
	> 5	0.312	0.811	0.000	27

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-29 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางพีเน็ตร์ชั้นแมคคาดีม ปริมาณการจราจร และความชันของภูมิประเทศ

AADT (คัน/วัน)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 300	0 – 3	0.312	0.892	0.000	14
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	N/A	N/A	N/A	2
300 – 1,000	0 – 3	0.300	0.793	0.000	66
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	1
	> 5	N/A	N/A	N/A	2
1,000 – 2,000	0 – 3	0.336	0.716	0.000	38
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	N/A	N/A	N/A	1

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-30 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ปริมาณการจราจร และความชันของภูมิประเทศ

AADT (คัน/วัน)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 300	0 – 3	0.312	0.819	0.000	23
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	1
	> 5	N/A	N/A	N/A	4
300 – 1,000	0 – 3	0.312	0.580	0.000	200
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	0.276	0.758	0.000	17
1,000 – 2,000	0 – 3	0.300	0.766	0.000	132
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	5
	> 5	0.312	0.870	0.000	15

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-31 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

Water (มม./ปี)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 1,000	0 – 3	0.348	0.715	0.000	130
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	0.252	0.857	0.000	7
1,000 – 2,000	0 – 3	0.336	0.781	0.000	898
	3 – 5	0.252	0.795	0.000	33
	> 5	0.312	0.808	0.000	66
> 2,000	0 – 3	0.288	0.749	0.000	163
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	1
	> 5	N/A	N/A	N/A	2

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-32 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางพีเน็ตร์ชั้นแมคคาดีม ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

Water (มม./ปี)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 1,000	0 – 3	2.64	0.734	0.000	21
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	N/A	N/A	N/A	1
1,000 – 2,000	0 – 3	0.336	0.799	0.000	79
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	N/A	N/A	N/A	2
> 2,000	0 – 3	0.336	0.736	0.000	23
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	N/A	N/A	N/A	1

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้



ตาราง ค-33 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ชนิดผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

Water (มม./ปี)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 1,000	0 – 3	0.336	0.743	0.000	61
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	1
	> 5	0.312	0.821	0.000	12
1,000 – 2,000	0 – 3	0.300	0.629	0.000	259
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	5
	> 5	0.328	0.793	0.000	16
> 2,000	0 – 3	0.312	0.797	0.000	37
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	N/A	N/A	N/A	2

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-34 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณา  
ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี 0 - 300 คัน/วัน ปริมาณน้ำฝน และความชัน  
ของภูมิประเทศ

Water (มม./ปี)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 1,000	0 – 3	0.312	0.841	0.000	26
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	N/A	N/A	N/A	2
1,000 – 2,000	0 – 3	0.336	0.800	0.000	150
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	1
	> 5	0.300	0.838	0.000	20
> 2,000	0 – 3	0.360	0.723	0.000	26
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	N/A	N/A	N/A	0

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-35 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณาปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี 300 – 1,000 คัน/วัน ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

Water (มม./ปี)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 1,000	0 – 3	0.360	0.653	0.000	87
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	1
	> 5	0.288	0.754	0.000	7
1,000 – 2,000	0 – 3	0.312	0.715	0.000	662
	3 – 5	0.240	0.798	0.000	11
	> 5	0.288	0.769	0.000	42
> 2,000	0 – 3	0.264	0.784	0.000	84
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	0
	> 5	N/A	N/A	N/A	2

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-36 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย พิจารณาปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี 1,000 – 2,000 คัน/วัน ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

Water (มม./ปี)	Gradient (%)	$\Delta IRI = B_0 \Delta AGE$		Sig. $B_0$	N
		$B_0$	$R^2$		
0 – 1,000	0 – 3	0.336	0.784	0.000	97
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	2
	> 5	0.336	0.809	0.000	14
1,000 – 2,000	0 – 3	0.360	0.783	0.000	425
	3 – 5	0.324	0.825	0.000	24
	> 5	0.324	0.838	0.000	26
> 2,000	0 – 3	0.264	0.759	0.000	113
	3 – 5	N/A	N/A	N/A	1
	> 5	0.324	0.868	0.000	17

N/A ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้

ตาราง ค-37 การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2,102	3.10	3.70	4.22	4.10	4.10	4.12	4.15	4.04	4.20	4.23	4.15	4.04
4	3,102	2.22	2.85	3.10	3.39	2.96	3.38	3.32	3.36	3.41	3.19	3.30	3.36
4	2,400	2.60	3.90	3.66	3.81	3.78	3.75	3.82	3.82	3.91	3.56	3.73	3.82
12	1,101	2.03	2.53	3.15	3.14	2.86	3.42	3.35	3.24	3.13	3.09	3.00	3.24
12	902	2.25	3.33	3.31	3.29	3.40	3.52	3.64	3.40	3.29	3.29	3.29	3.40
33	402	2.82	4.30	4.01	4.01	3.92	3.93	4.00	3.91	4.03	4.05	3.98	3.91
105	500	3.08	4.71	4.17	4.18	4.08	4.14	4.17	4.09	4.17	4.20	4.14	4.09
202	1,200	3.46	3.68	4.37	4.35	4.15	4.42	4.50	4.35	4.35	4.20	4.34	4.35
207	202	2.79	6.74	4.09	3.80	3.90	3.94	4.09	3.89	3.82	3.69	3.79	3.89
211	601	3.61	4.18	4.53	4.50	4.41	4.51	4.52	4.45	4.49	4.57	4.47	4.45
212	901	2.27	2.96	3.65	3.78	3.58	3.50	3.52	3.41	3.71	3.75	3.55	3.41
212	600	2.38	3.52	3.70	3.84	3.65	3.58	3.51	3.53	3.78	3.66	3.65	3.53
221	300	2.59	3.49	3.87	3.84	3.77	3.79	3.82	3.75	3.84	3.91	3.80	3.75
225	701	2.60	3.60	3.86	3.84	3.80	3.81	3.82	3.76	3.85	3.90	3.81	3.76
225	500	2.74	4.06	3.96	3.80	3.88	3.83	3.94	3.76	3.72	4.00	3.83	3.76
318	103	2.55	3.38	3.82	3.95	3.75	3.78	3.72	3.71	3.70	3.82	3.77	3.71
318	104	3.11	3.15	4.24	4.25	4.09	4.21	4.16	4.12	4.20	4.25	4.16	4.12
323	700	2.27	3.72	3.65	3.59	3.58	3.50	3.52	3.41	3.59	3.77	3.55	3.41
323	1,003	2.64	3.84	3.90	3.88	3.81	4.18	3.84	3.78	3.89	3.95	3.85	3.78
323	1,001	3.19	4.57	4.28	4.24	4.15	4.21	4.22	4.16	4.25	4.28	4.21	4.16
323	1,002	3.59	4.40	4.52	4.47	4.39	4.49	4.50	4.44	4.47	4.56	4.77	4.44
401	300	2.30	3.31	3.52	3.54	3.47	3.48	3.42	3.45	3.71	3.56	3.52	3.45
401	200	2.34	3.34	3.57	3.58	3.51	3.53	3.46	3.49	3.75	3.61	3.56	3.49
1,025	100	3.27	3.79	4.30	4.28	4.21	4.25	4.30	4.21	4.29	4.33	4.25	4.21
1,047	400	3.16	4.39	4.26	4.22	4.12	4.16	4.19	4.14	4.23	4.28	4.20	4.14
1,048	102	3.31	4.29	4.32	4.31	4.22	4.31	4.33	4.24	4.32	4.37	4.29	4.24
1,048	300	3.61	4.68	4.53	4.50	4.41	4.51	4.52	4.45	4.48	4.58	4.47	4.45
1,048	200	3.79	4.60	4.65	4.61	4.53	4.58	4.62	4.58	4.60	4.67	4.58	4.58
1,076	100	3.12	4.38	4.21	4.20	4.10	4.17	4.20	4.12	4.21	4.22	4.17	4.12
1,080	205	3.34	3.68	4.35	4.34	4.23	4.32	4.35	4.27	3.80	4.39	4.30	4.27
1,089	401	2.42	3.13	3.76	3.70	3.68	3.67	3.67	3.56	3.71	3.83	3.67	3.56
1,089	301	3.09	4.38	4.14	4.16	4.10	4.12	4.15	4.11	4.42	4.10	4.16	4.11
1,091	201	2.51	3.22	3.57	3.53	3.67	3.62	3.73	3.89	3.25	3.78	3.72	3.89
1,093	100	2.74	3.99	3.96	3.96	3.87	3.91	3.94	3.85	3.97	4.00	3.74	3.85
1,093	200	3.28	3.71	4.34	4.29	4.22	4.25	4.28	4.22	4.30	4.36	4.26	4.22
1,100	200	2.48	3.71	3.77	3.61	3.70	3.65	3.63	3.56	3.78	3.78	3.72	3.56
1,103	101	3.25	3.86	4.28	4.21	4.19	4.25	4.26	4.17	4.28	4.32	4.51	4.17
1,106	100	2.32	3.14	3.70	3.64	3.61	3.59	3.56	3.45	3.65	3.75	3.60	3.45
1,127	100	3.09	4.29	4.19	4.08	4.09	4.14	4.17	3.89	4.21	4.21	4.10	3.89
1,151	100	2.94	3.32	4.12	4.09	3.99	4.01	4.02	4.00	4.08	4.14	4.06	4.00
1,155	300	3.03	3.91	4.15	4.14	4.05	4.11	4.21	4.05	4.15	4.17	4.42	4.05
1,166	101	3.36	4.39	4.39	4.35	4.26	4.29	4.35	4.28	4.35	4.42	4.31	4.28
1,172	100	3.86	4.62	4.69	4.66	4.56	4.68	4.67	4.60	4.79	4.71	4.65	4.60
1,180	101	2.66	3.69	3.71	3.95	3.36	3.85	3.87	3.81	3.70	3.60	3.63	3.81
1,180	102	2.96	3.97	3.90	3.68	3.67	4.02	4.04	4.01	3.99	3.84	3.87	4.01
1,184	200	3.38	3.88	4.41	4.31	4.28	4.29	4.35	4.26	4.35	4.43	4.32	4.26
1,190	100	3.20	3.69	4.18	4.14	3.91	4.23	4.25	4.18	4.25	4.31	4.21	4.17
1,213	100	2.18	3.34	3.60	3.51	3.99	3.47	3.42	3.30	3.53	3.68	3.47	3.30
1,246	101	2.11	2.92	3.50	3.47	3.49	3.32	3.17	3.25	3.48	3.44	3.43	3.25
1,254	100	3.20	4.58	4.30	4.24	4.16	4.19	4.19	4.17	4.26	4.30	4.21	4.17
1,255	100	2.83	3.35	4.05	4.01	3.93	3.91	4.42	3.42	4.02	4.05	3.99	3.42
1,268	302	3.74	4.08	4.62	4.56	4.50	4.61	4.61	4.54	4.57	4.65	4.55	4.54
1,276	100	3.51	4.53	4.46	4.44	4.35	4.45	4.45	4.39	4.43	4.51	4.41	4.39
1,278	100	3.56	4.27	4.50	4.47	4.39	4.47	4.50	4.42	4.46	4.54	4.43	4.42
1,280	100	3.54	3.82	4.51	4.46	4.38	4.42	4.46	4.42	4.44	4.53	4.44	4.42
1,292	200	3.59	4.00	4.52	4.46	3.39	4.52	4.50	4.41	4.65	4.56	4.47	4.41
1,294	100	3.46	3.53	4.43	4.41	4.32	4.41	4.43	4.35	4.41	4.47	4.37	4.35
1,296	100	2.96	3.98	3.97	3.95	3.67	4.07	4.08	4.01	4.10	3.80	3.86	4.01
1,298	100	3.10	4.13	4.09	3.99	3.81	4.16	4.17	4.06	3.88	3.89	3.83	4.06
1,303	101	2.25	3.14	3.19	3.29	2.98	3.45	3.34	3.40	3.29	3.24	3.19	3.40
1,304	101	2.11	2.78	3.00	3.14	2.87	3.32	3.23	3.24	3.14	2.92	3.01	3.24

ตาราง ค-37 (ต่อ) การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,334	101	3.42	4.28	4.35	3.32	4.12	4.34	4.36	4.33	4.36	4.28	4.30	4.33
2,001	100	3.54	3.73	4.51	4.45	4.38	4.42	4.46	4.41	4.45	4.53	4.44	4.41
2,006	102	3.48	4.37	4.44	4.43	4.32	4.42	4.43	4.39	4.33	4.48	4.38	4.39
2,009	200	3.75	5.30	4.62	4.58	4.50	4.55	4.60	4.55	4.58	4.65	4.55	4.55
2,013	200	2.63	3.79	3.90	3.67	3.80	3.83	3.79	3.78	3.88	3.58	3.83	3.78
2,022	102	2.57	3.41	3.86	3.82	3.76	3.79	3.79	3.72	3.83	3.92	3.78	3.72
2,022	201	2.96	3.66	4.11	4.09	4.01	4.07	4.08	4.01	4.10	4.13	4.06	4.01
2,028	100	3.73	4.03	4.61	4.12	4.49	4.64	4.61	4.54	4.61	4.66	4.56	4.54
2,032	100	3.12	4.31	4.21	4.25	4.10	4.20	4.19	4.12	4.21	4.22	4.17	4.12
2,049	102	3.88	4.32	4.71	4.67	4.58	4.64	4.68	4.64	4.66	4.72	4.63	4.64
2,054	100	2.68	3.89	3.93	3.91	3.84	3.86	3.90	3.82	3.91	3.97	3.88	3.82
2,065	102	2.91	4.53	4.07	4.07	3.97	3.99	4.02	3.97	4.05	4.11	4.04	3.97
2,067	102	2.17	3.45	3.38	3.34	3.32	3.38	3.27	3.30	3.27	3.42	3.36	3.30
2,069	200	2.75	3.98	3.96	3.92	3.88	3.92	3.94	3.86	3.97	4.01	3.94	3.86
2,076	200	2.59	3.25	3.65	3.62	3.29	3.79	3.80	3.75	3.64	3.56	3.57	3.75
2,086	100	3.09	4.18	4.18	4.17	4.09	4.16	4.17	4.11	4.19	4.21	4.16	4.11
2,089	201	2.56	3.56	3.84	3.66	2.76	3.67	3.79	3.62	3.42	3.91	3.68	3.62
2,089	102	2.61	3.63	3.96	3.77	3.79	3.72	3.84	3.67	3.91	4.01	3.50	3.67
2,091	300	2.52	3.91	3.83	3.78	3.73	3.72	3.73	3.67	3.00	3.88	3.75	3.67
2,091	200	2.68	3.54	3.93	3.90	3.83	3.84	3.82	3.82	3.92	3.95	3.88	3.82
2,091	100	2.82	5.25	4.01	4.01	3.92	3.98	3.99	3.91	4.02	4.05	3.98	3.91
2,092	100	2.04	3.85	3.15	3.14	2.86	3.42	3.35	3.24	3.13	3.09	3.00	3.24
2,094	201	2.76	3.90	3.96	3.97	3.90	3.92	3.95	3.86	3.99	4.02	3.94	3.86
2,095	100	3.12	3.89	4.04	4.08	3.82	4.13	4.17	4.12	4.13	4.01	4.03	4.12
2,096	301	2.81	4.94	4.03	3.73	3.91	3.93	3.93	3.89	4.02	4.04	3.97	3.89
2,106	100	2.53	4.40	3.83	4.03	3.77	3.74	3.86	3.69	3.80	3.50	3.76	3.69
2,108	101	2.79	4.64	4.07	3.95	3.91	3.95	3.97	3.89	4.11	3.95	3.97	3.89
2,108	200	3.06	3.72	4.20	4.15	4.06	4.10	4.11	4.07	4.17	4.21	4.12	4.07
2,108	102	3.79	4.62	4.55	4.59	4.56	4.58	4.63	4.57	4.43	4.51	4.57	4.57
2,112	200	3.16	4.50	4.18	4.21	4.16	4.16	4.20	4.15	4.02	4.28	4.20	4.15
2,117	100	1.97	3.32	3.37	3.27	3.26	3.42	3.35	3.18	3.39	3.41	3.29	3.18
2,132	100	2.59	3.05	3.86	3.84	3.79	3.80	3.79	3.75	3.84	3.93	3.80	3.75
2,134	101	2.96	3.75	4.10	4.09	4.00	4.06	4.08	4.01	3.99	4.13	4.07	4.01
2,134	102	3.34	4.05	4.36	4.34	4.23	4.26	4.33	4.27	4.33	4.41	4.31	4.27
2,134	400	3.37	4.81	4.39	4.35	4.26	4.30	4.35	4.29	4.35	4.42	4.34	4.29
2,146	202	2.99	3.48	3.91	3.96	3.71	4.04	4.06	4.03	4.03	3.86	3.90	4.03
2,146	201	3.37	3.83	4.30	4.27	4.07	4.34	4.37	4.29	4.33	4.13	4.25	4.29
2,150	200	2.34	3.48	3.68	3.65	3.63	3.53	3.46	3.50	3.65	3.64	3.61	3.50
2,159	100	2.95	4.26	4.09	4.09	4.00	4.05	4.08	4.02	4.50	4.12	4.07	4.02
2,160	300	2.92	3.40	4.14	4.04	3.98	4.03	4.06	3.98	4.20	4.18	4.04	3.98
2,162	100	2.31	3.45	3.36	3.35	3.04	3.58	3.55	3.45	3.34	3.29	3.30	3.45
2,166	200	2.63	4.01	3.89	3.72	3.80	3.83	3.84	3.69	3.88	3.94	3.83	3.69
2,166	100	2.78	3.85	3.80	3.74	3.49	3.94	3.96	3.80	3.79	3.67	3.72	3.80
2,167	100	2.60	3.60	3.87	3.83	3.75	3.78	3.76	3.76	3.84	3.88	3.81	3.76
2,177	100	3.17	4.52	4.24	4.23	4.13	4.21	4.23	4.16	4.23	4.26	4.21	4.16
2,180	100	2.93	3.34	4.08	4.08	3.98	4.04	4.06	3.99	4.08	4.11	4.04	3.99
2,185	100	2.78	5.05	4.01	3.99	3.88	3.93	3.91	3.89	4.00	4.03	3.96	3.89
2,190	100	3.22	3.68	4.10	4.16	3.93	4.20	4.24	4.20	4.20	4.10	4.11	4.20
2,198	100	2.23	3.33	3.63	3.57	3.54	3.51	3.47	3.38	3.57	3.73	3.52	3.38
2,200	100	3.18	3.37	4.10	4.12	3.89	4.17	4.21	4.16	4.17	4.06	4.06	4.16
2,218	200	2.99	4.32	4.12	4.10	4.02	3.08	4.17	4.03	4.12	3.86	4.08	4.03
2,218	100	3.11	5.10	4.19	4.19	4.09	4.16	4.24	4.12	4.21	4.52	4.14	4.12
2,220	100	3.12	3.91	4.02	4.08	4.10	4.12	3.57	4.12	4.12	4.00	3.85	4.12
2,221	100	2.26	3.07	3.60	3.43	3.57	3.46	3.38	3.32	3.58	3.55	3.54	3.32
2,224	300	2.94	3.68	4.05	4.06	4.00	4.01	4.02	3.99	3.87	4.01	4.06	3.99
2,224	200	3.06	3.58	4.17	4.16	4.06	4.14	4.15	3.61	4.17	4.18	4.12	3.61
2,224	100	3.46	4.39	4.44	4.41	4.32	4.42	4.43	4.35	4.40	4.47	4.38	4.35
2,229	100	2.35	3.96	3.68	3.65	3.64	3.55	3.47	3.50	3.67	3.65	3.62	3.50
2,232	100	3.05	4.21	4.17	4.16	4.05	4.11	4.15	4.07	4.17	4.18	4.10	4.07
2,233	200	2.83	4.50	4.02	4.02	3.93	3.98	3.99	3.92	4.02	4.06	3.99	3.92
2,233	100	3.04	4.17	4.19	4.16	4.04	4.08	4.11	4.07	4.12	4.20	4.12	4.07
2,236	100	2.59	3.38	3.50	3.62	3.29	3.75	3.75	3.75	3.65	3.52	3.57	3.75

## ตาราง ค-37 (ต่อ) การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,240	100	3.25	4.43	4.22	4.25	4.20	4.23	4.27	4.21	4.08	4.19	4.27	4.21
2,243	200	3.13	3.35	4.24	4.11	4.09	4.12	4.16	4.07	4.25	4.25	4.14	4.07
2,245	100	3.60	4.17	4.55	4.40	4.40	4.46	4.51	4.43	4.45	4.56	4.47	4.43
2,247	300	2.42	3.81	3.74	3.70	3.68	3.60	3.56	3.56	3.71	3.72	3.67	3.56
2,248	201	3.43	4.36	4.44	4.39	4.30	4.35	4.39	4.34	4.39	4.45	4.35	4.34
2,253	200	3.55	4.45	4.40	4.45	4.41	4.43	4.47	4.42	4.41	4.37	3.35	4.42
2,255	100	2.30	3.73	3.67	3.62	3.59	3.58	3.71	3.45	3.63	3.77	3.58	3.45
2,260	100	3.49	4.50	4.48	4.40	4.34	4.38	4.41	4.35	4.41	4.50	4.39	4.35
2,263	200	2.47	3.82	3.53	3.51	3.17	3.67	3.67	3.63	3.49	3.46	3.48	3.63
2,266	101	3.13	4.45	4.25	4.18	4.14	4.19	4.20	4.14	4.33	4.29	4.18	4.14
2,267	100	3.21	4.24	4.26	4.26	4.17	4.23	4.26	4.17	4.25	4.30	4.23	4.17
2,273	100	3.08	4.07	4.17	4.07	4.08	4.12	4.17	4.03	4.18	4.20	4.10	4.03
2,274	100	2.78	3.74	3.99	3.83	3.88	3.78	3.90	3.80	3.78	4.03	3.87	3.80
2,275	202	3.37	3.51	4.40	4.30	4.27	4.30	4.35	4.25	4.35	4.43	4.32	4.25
2,275	201	3.37	4.67	4.39	4.30	4.27	4.30	4.33	4.25	4.35	4.43	4.32	4.25
2,275	900	3.78	4.00	4.64	4.60	4.52	4.57	4.62	4.57	4.60	4.66	4.58	4.57
2,277	200	3.06	4.39	4.15	4.16	4.06	4.11	4.16	4.07	4.17	4.19	4.11	4.07
2,281	100	2.52	3.99	3.48	3.56	3.22	3.68	3.68	3.67	3.55	3.50	3.53	3.67
2,287	100	2.98	4.18	4.14	4.11	4.02	4.04	4.05	4.03	4.11	4.15	4.07	4.03
2,291	200	2.79	4.06	3.96	3.95	3.91	3.91	3.92	3.89	4.43	4.11	3.97	3.89
2,294	100	3.34	3.43	4.25	4.26	4.05	4.29	4.33	4.28	4.29	4.22	4.22	4.28
2,297	100	2.89	4.17	4.06	4.05	3.95	4.02	3.98	3.95	4.06	3.75	3.80	3.95
2,299	100	3.01	3.95	4.01	4.00	3.72	4.10	4.13	4.01	4.02	3.89	3.91	4.01
2,300	100	2.74	3.32	3.70	3.76	3.43	3.90	3.94	3.86	3.77	4.00	3.69	3.86
2,307	102	2.55	3.69	3.53	3.59	3.35	3.72	3.72	3.71	3.60	3.52	3.53	3.71
2,309	100	2.12	3.33	3.50	3.47	3.48	3.33	3.18	3.25	3.48	3.45	3.43	3.25
2,311	100	2.91	4.37	4.10	4.08	3.97	3.99	4.01	3.97	4.08	4.09	4.04	3.97
2,312	101	2.62	3.00	3.60	3.65	3.32	3.84	3.84	3.77	3.64	3.58	3.62	3.77
2,313	100	3.20	3.69	4.30	3.45	4.16	4.18	4.19	4.17	4.25	4.31	4.21	4.17
2,314	100	3.20	3.69	4.30	3.45	4.16	4.19	4.23	4.17	4.18	4.00	4.10	4.18
2,320	100	2.98	4.04	4.15	4.11	4.02	4.03	4.01	4.03	4.33	4.16	4.08	4.03
2,321	101	2.44	3.82	3.76	3.58	3.69	3.68	3.68	3.52	3.73	3.84	3.68	3.52
2,321	102	2.62	3.69	3.88	3.71	3.82	3.82	3.84	3.68	3.87	3.94	3.83	3.68
2,328	104	3.38	4.64	4.39	4.37	4.28	4.31	4.34	4.30	4.35	4.43	4.32	4.30
2,330	100	2.87	4.36	3.82	3.87	3.58	3.97	3.98	3.95	3.89	3.77	3.82	3.95
2,334	101	2.98	3.65	4.11	4.11	4.02	4.07	4.10	4.02	4.12	4.14	4.08	4.02
2,337	101	3.53	4.68	4.38	4.44	4.39	4.41	4.46	4.41	4.27	4.35	4.43	4.41
2,339	102	2.93	4.33	4.08	4.08	3.98	4.05	4.06	3.98	4.09	4.10	4.04	3.98
2,339	101	3.10	4.73	4.19	4.19	4.10	4.16	4.17	4.12	4.20	4.22	4.17	4.12
2,340	101	3.49	4.52	4.48	4.40	4.33	4.38	4.43	4.35	4.41	4.50	4.39	4.35
2,346	100	3.27	3.71	3.65	4.28	4.21	4.28	4.31	4.23	4.29	4.33	4.27	4.23
2,349	100	3.26	4.46	4.33	4.28	4.20	4.24	4.27	4.22	4.29	4.35	4.24	4.22
2,353	100	2.35	4.00	3.69	3.66	3.64	3.54	3.47	3.50	3.65	3.65	3.62	3.50
2,354	100	3.32	4.48	4.35	4.32	4.25	4.32	4.34	4.25	4.33	4.37	4.29	4.25
2,354	200	3.62	4.35	4.46	4.48	4.29	4.68	4.52	4.45	4.49	4.44	4.44	4.45
2,356	102	2.65	4.09	3.90	3.88	3.82	3.81	3.80	3.80	3.89	3.91	3.85	3.80
2,356	103	3.33	3.37	4.37	4.32	4.00	4.27	4.32	4.27	4.33	4.41	4.30	4.27
2,357	100	3.48	4.71	4.47	4.39	4.32	4.38	4.42	4.34	4.41	4.49	4.38	4.34
2,358	100	3.38	5.06	4.38	4.36	4.28	4.31	4.34	4.29	4.37	4.43	4.35	4.29
2,369	100	2.13	3.44	3.40	3.30	3.29	3.43	3.38	3.30	3.44	3.46	3.33	3.30
2,370	100	3.77	4.69	4.60	4.57	4.40	4.61	4.65	4.57	4.61	4.44	4.54	4.57
2,376	100	2.70	3.41	3.91	3.89	3.84	3.85	3.83	3.83	3.74	3.90	3.92	3.83
2,379	100	2.04	3.88	3.49	3.46	3.48	3.32	3.72	3.24	3.47	3.43	3.42	3.24
2,387	100	3.15	4.20	4.17	4.20	4.15	4.15	4.19	4.15	4.02	4.12	4.20	4.15
2,389	100	2.44	3.04	3.51	3.48	3.15	3.63	3.67	3.61	3.71	3.43	3.44	3.61
2,393	100	3.11	4.39	4.22	4.19	4.11	4.13	4.16	4.12	4.20	4.24	4.18	4.12
3,017	202	3.12	3.77	4.10	4.00	3.83	4.17	4.22	4.07	3.91	3.91	4.02	4.07
3,033	100	3.74	5.03	4.62	4.58	4.50	4.62	4.60	4.53	4.74	4.65	4.58	4.53
3,041	300	3.39	4.00	4.30	4.20	4.08	4.38	4.37	4.27	4.14	4.14	4.07	4.27
3,042	100	3.00	3.26	3.99	3.91	3.72	4.07	3.62	3.98	3.77	3.83	3.78	3.98
3,046	100	2.61	3.45	3.50	3.82	3.31	3.85	3.77	3.77	3.91	3.54	3.75	3.77
3,077	101	3.11	4.31	4.23	4.19	4.09	4.12	4.16	4.12	4.20	4.25	4.18	4.12

ตาราง ค-37 (ต่อ) การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,077	102	3.73	4.74	4.61	4.59	4.49	4.64	4.61	4.54	4.61	4.66	4.54	4.54
3,079	102	2.92	4.09	4.07	4.07	3.98	4.04	4.48	3.98	4.08	4.18	4.04	3.98
3,087	300	2.86	4.01	3.89	3.86	3.93	4.01	4.05	3.98	3.89	3.73	3.84	3.98
3,088	200	2.57	3.93	3.84	3.67	3.77	3.73	3.73	3.62	3.83	3.83	3.79	3.62
3,163	102	2.86	3.45	3.82	3.86	3.57	3.96	3.97	3.94	3.89	3.75	3.80	3.94
3,174	100	3.29	4.14	4.35	4.23	4.23	4.25	4.36	4.19	4.38	4.37	4.25	4.19
3,199	302	2.82	4.69	4.04	4.01	3.92	3.92	3.93	3.91	4.02	4.05	3.98	3.91
3,203	100	3.42	4.83	4.41	4.34	4.28	4.38	4.39	4.30	4.53	4.42	4.34	4.30
3,205	100	3.33	4.57	4.25	4.26	4.04	4.26	4.32	4.34	4.29	4.20	4.21	4.34
3,206	200	3.52	4.21	4.20	4.44	4.38	4.46	4.44	4.37	4.43	4.33	4.36	4.37
3,207	100	3.81	4.33	4.59	4.51	4.44	4.59	4.64	4.57	4.62	4.57	4.58	4.57
3,209	103	3.18	4.24	4.16	4.05	3.89	4.22	4.23	4.11	4.17	3.96	4.06	4.11
3,223	100	2.58	4.10	3.53	3.60	3.28	3.74	3.74	3.65	3.31	3.53	3.55	3.65
3,225	100	3.33	4.03	4.27	4.17	4.03	4.34	4.34	4.24	4.09	4.10	4.02	4.24
3,231	100	2.44	3.31	3.76	3.72	3.69	3.68	3.68	3.52	3.73	3.84	3.68	3.52
3,250	100	3.78	4.47	4.60	4.49	4.42	4.66	4.65	4.55	4.45	4.44	4.36	4.55
3,252	100	2.34	3.12	3.29	3.39	3.07	3.33	4.33	3.41	3.09	3.36	3.35	3.41
3,265	104	2.63	3.52	3.90	3.87	3.83	3.79	3.78	3.78	3.88	3.89	3.83	3.78
3,266	102	3.12	4.17	4.24	4.17	4.12	4.16	4.20	4.12	4.32	4.28	4.17	4.12
3,285	100	3.91	4.35	4.73	4.69	4.30	4.70	4.72	4.64	4.67	4.75	4.64	4.64
3,288	100	3.34	4.56	4.37	4.29	4.23	4.71	4.36	4.23	4.43	4.38	4.29	4.23
3,301	100	3.71	5.18	4.60	4.55	4.47	4.61	4.60	4.51	4.71	4.62	4.55	4.51
3,315	100	2.94	4.03	4.08	4.09	3.99	4.05	4.07	3.99	4.05	4.12	4.06	3.99
3,324	100	3.92	4.40	4.74	4.69	4.60	4.66	4.71	4.65	4.68	4.76	4.66	4.65
3,325	100	3.53	4.32	4.50	4.42	4.37	4.47	4.46	4.37	4.45	4.52	4.42	4.37
3,326	100	2.93	4.06	4.08	3.95	3.98	4.01	4.07	3.92	4.02	4.11	4.04	3.92
3,327	100	3.18	4.11	4.26	4.23	4.14	4.21	3.42	3.33	4.24	4.26	4.20	3.33
3,330	100	3.49	4.47	4.36	4.41	4.34	4.38	4.43	4.37	4.24	4.31	4.33	4.37
3,331	100	3.44	4.29	4.44	4.40	4.30	4.35	4.39	4.34	4.39	4.46	4.36	4.34
3,334	100	2.23	3.38	3.32	3.27	2.97	4.35	3.47	3.40	3.27	3.21	3.17	3.40
3,338	100	3.63	4.57	4.61	4.52	4.42	4.34	4.54	4.45	4.50	4.60	4.48	4.45
3,339	100	3.06	4.16	4.17	4.16	4.06	4.14	4.15	4.02	4.17	4.18	4.12	4.02
3,343	102	2.47	4.02	3.79	3.74	3.70	3.70	3.70	3.53	3.75	3.85	3.70	3.53
3,343	101	2.76	4.34	3.96	3.97	3.88	3.93	3.94	3.92	3.98	4.02	4.25	3.92
3,353	100	3.61	4.03	4.55	4.47	4.41	4.46	4.52	4.44	4.49	4.57	4.47	4.44
3,358	100	2.25	3.63	3.64	3.57	3.56	3.52	3.46	3.33	3.57	3.75	3.53	3.33
3,361	102	2.69	4.13	3.93	3.76	3.84	3.85	3.82	3.73	3.94	3.95	3.89	3.73
3,387	100	3.22	3.48	4.28	4.26	4.16	4.24	4.26	4.14	4.27	4.30	4.23	4.14
3,393	100	2.64	3.87	3.90	3.88	3.81	3.81	3.80	3.80	3.89	3.90	3.85	3.80
3,400	100	2.60	3.56	3.58	3.61	3.30	3.61	3.76	3.67	3.33	3.53	3.57	3.67
3,404	101	3.74	4.37	4.62	4.59	4.50	4.55	4.61	4.55	4.57	4.63	4.55	4.55
3,410	100	3.19	4.68	4.16	4.05	3.90	4.22	4.24	3.88	3.95	3.99	3.90	3.88
3,416	200	2.84	3.10	3.72	3.78	3.54	3.84	3.95	3.84	3.57	3.73	3.70	3.84
3,416	300	3.25	4.67	4.16	4.10	3.96	4.21	4.26	4.17	4.02	4.16	3.95	4.17
3,424	200	2.21	2.74	3.57	3.74	3.54	3.37	3.30	3.35	3.67	3.52	3.50	3.35
3,424	100	2.81	3.81	4.00	4.07	3.91	3.92	3.99	3.90	4.03	4.05	3.97	3.90
3,432	100	2.88	4.11	3.82	3.82	3.58	3.87	3.99	3.80	3.62	3.78	3.72	3.80
3,434	201	2.31	3.66	3.24	3.35	3.04	3.51	3.44	3.45	3.34	3.32	3.30	3.45
3,434	101	3.03	4.08	4.18	4.14	4.03	4.08	4.09	4.07	4.15	4.19	4.10	4.07
3,436	100	2.54	3.43	3.48	3.59	3.24	3.71	3.71	3.69	3.59	3.51	3.53	3.69
3,440	100	2.27	3.00	3.15	3.30	3.00	3.47	3.39	3.34	3.30	3.30	3.21	3.34
3,443	100	2.70	3.90	3.94	3.93	3.84	3.88	3.92	3.83	3.94	4.00	3.89	3.83
3,451	100	2.18	2.78	3.10	3.22	2.93	3.39	4.39	3.33	3.21	3.07	3.10	3.33
3,457	100	2.65	3.32	3.91	3.74	3.82	3.81	3.80	3.70	3.89	3.91	3.85	3.70
3,461	100	2.80	3.01	4.00	3.48	3.90	3.95	3.99	3.89	4.02	4.04	3.96	3.89
3,462	100	2.15	3.36	3.21	3.19	2.91	3.45	3.40	3.30	3.18	3.13	3.05	3.30
3,467	102	3.35	4.04	4.36	4.34	4.25	4.34	4.36	4.28	4.33	4.39	4.31	4.28
3,468	101	2.42	3.69	3.76	3.70	3.68	5.01	3.65	3.57	3.73	3.83	3.67	3.57
3,468	102	3.54	4.75	4.40	4.41	4.22	4.40	4.46	4.42	4.45	4.38	4.38	4.42
3,480	100	2.97	3.35	3.99	3.96	3.68	4.07	4.08	4.02	3.99	3.77	3.88	4.02
3,481	204	2.78	3.65	3.72	3.93	3.49	3.97	3.90	3.89	4.04	3.69	3.92	3.89
3,497	100	2.46	3.62	3.51	3.64	3.17	3.65	3.69	3.61	3.72	3.46	3.59	3.61

ตาราง ค-37 (ต่อ) การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,500	100	2.33	3.58	3.38	3.37	3.06	3.60	3.57	3.49	3.37	3.32	3.30	3.49
3,502	100	1.98	2.24	3.55	3.46	3.48	3.42	3.35	3.24	3.47	3.65	3.42	3.24
3,505	100	2.24	2.79	3.63	3.57	3.55	3.52	3.48	3.40	3.57	3.74	3.52	3.40
4,003	100	2.62	3.99	3.89	3.97	3.80	3.78	3.84	3.77	3.91	3.94	3.83	3.77
4,006	100	2.68	3.96	3.90	4.00	3.58	3.98	4.04	3.95	4.11	3.75	4.13	3.95
4,018	101	2.25	3.70	3.55	3.51	3.42	3.48	3.50	3.40	3.57	3.59	3.46	3.40
4,018	104	2.56	3.76	3.84	3.93	3.76	3.77	3.79	3.72	3.87	3.90	3.78	3.72
4,018	201	2.61	3.73	3.88	3.95	3.79	3.78	3.84	3.77	3.91	3.94	3.82	3.77
4,018	202	2.71	3.98	3.95	4.02	3.85	3.91	3.84	3.84	3.96	3.97	3.91	3.84
4,033	100	2.54	2.82	3.84	3.78	3.75	3.72	3.78	3.79	3.87	3.51	4.12	3.79
4,036	100	2.25	3.03	3.31	3.42	2.98	3.48	3.48	3.40	3.46	3.25	3.32	3.40
4,038	100	2.67	3.86	3.71	3.85	3.37	3.81	3.89	3.82	3.96	3.61	3.81	3.82
4,039	100	2.80	4.31	3.99	3.99	3.90	3.92	3.99	3.90	4.02	4.05	3.96	3.90
4,040	100	2.61	3.32	3.54	3.82	3.31	3.85	3.77	3.76	3.91	3.55	3.75	3.76
4,041	100	2.46	3.22	3.40	3.64	3.17	3.66	3.61	3.62	3.72	3.45	3.57	3.62
4,043	100	2.59	3.94	3.66	3.62	3.29	3.76	3.81	3.75	3.90	3.56	3.73	3.75
4,051	100	2.98	4.05	4.11	4.16	4.01	4.07	4.16	4.02	4.12	4.14	4.08	4.02
4,057	202	2.26	3.66	3.65	3.77	3.57	3.49	3.52	3.41	3.71	3.74	3.54	3.41
4,068	100	2.74	3.91	3.99	4.03	3.88	3.94	3.87	3.85	3.98	4.00	3.93	3.85
4,074	102	3.57	3.77	4.51	4.50	4.39	4.54	4.50	4.44	4.53	4.54	4.44	4.44
4,081	100	3.69	4.85	4.77	4.60	4.47	4.61	4.57	4.51	4.58	4.63	4.52	4.51
4,085	202	2.86	3.97	4.03	3.89	3.93	3.97	4.02	4.62	4.05	4.07	4.01	4.62
4,088	100	2.15	3.73	3.36	3.45	3.31	3.31	3.77	3.30	3.55	3.42	3.34	3.30
4,098	100	3.16	3.50	4.26	4.27	4.12	4.25	4.20	4.16	4.24	4.14	4.21	4.16
4,105	100	2.26	3.48	3.31	3.42	2.99	3.49	3.52	3.41	3.46	3.25	3.33	3.41
4,111	100	3.68	4.99	4.58	4.59	4.46	4.60	4.57	4.51	4.58	4.62	4.51	4.51
4,118	100	2.45	3.38	3.39	3.51	3.15	3.66	3.60	3.61	3.72	3.44	3.56	3.61
4,122	100	3.04	3.87	4.19	4.20	4.04	4.14	4.11	4.07	4.15	4.20	4.11	4.07
4,122	200	3.07	3.70	4.17	4.22	4.07	4.15	4.17	4.09	4.17	4.19	4.13	4.09
4,134	100	2.93	3.95	3.95	4.03	3.64	4.03	4.07	3.98	4.80	4.10	3.97	3.98
4,136	201	3.18	3.53	3.40	4.21	4.15	4.27	4.21	4.16	4.26	4.14	4.22	4.16
4,136	202	3.44	5.77	5.09	4.45	4.30	4.44	4.41	4.35	4.43	4.45	4.36	4.35
4,139	100	3.33	4.49	4.37	4.38	4.23	4.35	4.35	4.27	4.36	4.37	4.30	4.27
4,143	100	2.62	3.73	3.68	3.65	3.32	3.83	3.84	3.76	3.66	3.58	3.60	3.76
4,145	100	3.05	3.60	4.16	4.21	3.34	4.12	4.15	4.07	4.16	4.17	4.11	4.07
4,150	100	2.72	3.86	3.75	3.90	4.05	3.87	3.92	3.84	4.00	3.64	3.86	3.84
4,155	100	2.85	3.96	4.07	4.10	3.92	4.02	4.44	3.93	4.04	4.07	4.00	3.93
4,157	100	3.34	5.09	4.29	4.37	4.26	4.37	4.33	4.28	4.32	4.22	4.32	4.28
4,162	100	2.06	3.39	3.55	3.68	3.48	3.27	3.35	3.24	3.62	3.65	3.42	3.24
4,163	200	3.26	3.72	4.22	4.26	3.97	4.30	4.29	4.22	4.40	4.03	4.38	4.22
4,165	100	2.68	3.73	3.72	3.85	3.38	3.83	3.90	3.81	3.96	3.62	3.82	3.81
4,167	100	3.42	4.37	4.41	4.43	4.28	4.42	4.39	4.31	4.42	4.43	4.35	4.31
4,175	100	3.24	4.40	4.32	4.27	4.19	4.29	4.28	4.21	4.42	4.34	4.27	4.21
4,181	100	2.97	4.43	4.14	4.17	4.01	4.12	4.04	4.02	4.11	4.15	4.06	4.02
4,184	100	2.95	4.00	4.12	4.16	4.00	4.10	4.03	4.00	4.10	4.14	4.05	4.00
4,196	100	3.72	5.05	4.62	4.60	4.48	4.60	4.60	4.53	4.67	4.63	4.54	4.53
4,205	100	3.07	4.14	4.06	4.12	4.07	4.14	4.22	4.07	4.26	3.89	4.13	4.07
4,208	100	2.78	4.04	4.01	4.05	3.88	3.97	3.90	3.89	4.00	4.03	3.96	3.89
4,224	100	2.67	3.71	3.70	3.85	3.37	3.81	3.89	3.81	3.96	3.61	3.82	3.81
4,231	100	2.23	2.63	2.98	3.41	2.67	3.48	3.46	3.39	3.45	3.23	3.31	3.39
4,236	100	2.91	3.40	4.07	4.14	3.97	4.02	4.06	3.97	4.09	4.08	4.04	3.97
4,237	101	3.49	4.78	4.48	4.48	4.33	4.39	4.48	4.37	4.48	4.50	4.38	4.37
4,240	100	2.34	3.08	3.40	3.40	3.07	3.56	3.58	3.49	3.58	3.33	3.43	3.49

ตาราง ค-38 การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบร้อยสากลโดยวิธีความถดถอย ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2,102	3.10	3.70	3.81	3.77	3.76	3.71	3.72	3.76	3.70	3.72	3.77	3.72
4	3,102	2.22	2.85	2.84	2.65	2.83	2.93	2.84	2.77	2.70	2.84	2.84	2.75
4	2,400	2.60	3.90	3.22	3.03	3.18	3.12	3.22	3.22	3.21	3.20	3.21	3.13
12	1,101	2.03	2.53	2.65	2.63	2.64	2.73	2.70	2.69	2.61	2.63	2.65	2.75
12	902	2.25	3.33	2.87	2.85	2.83	2.95	2.87	2.86	2.83	2.85	2.87	2.97
33	402	2.82	4.30	3.54	3.38	3.48	3.34	3.49	3.37	3.55	3.52	3.40	3.35
105	500	3.08	4.71	3.80	3.75	3.74	3.78	3.75	3.74	3.80	3.78	3.75	3.80
202	1,200	3.46	3.68	4.08	4.06	4.07	4.16	4.13	4.12	4.04	4.06	4.08	4.18
207	202	2.79	6.74	3.41	3.39	3.37	3.49	3.41	3.40	3.37	3.39	3.41	3.51
211	601	3.61	4.18	4.33	4.28	4.27	4.31	4.28	4.27	4.33	4.31	4.28	4.33
212	901	2.27	2.96	2.99	2.83	2.93	2.79	2.94	2.82	3.00	2.97	2.85	2.80
212	600	2.38	3.52	3.09	2.94	3.04	3.09	3.00	2.93	3.00	3.00	2.96	2.91
221	300	2.59	3.49	3.31	3.26	3.25	3.29	3.26	3.25	3.31	3.29	3.26	3.31
225	701	2.60	3.60	3.32	3.27	3.26	3.30	3.27	3.26	3.32	3.30	3.27	3.22
225	500	2.74	4.06	3.46	3.44	3.40	3.39	3.41	3.32	3.39	3.44	3.44	3.41
318	103	2.55	3.38	3.26	3.11	3.21	3.26	3.17	3.10	3.17	3.17	3.13	3.08
318	104	3.11	3.15	3.82	3.67	3.77	3.82	3.73	3.66	3.73	3.73	3.69	3.64
323	700	2.27	3.72	2.99	2.94	2.93	2.97	2.94	2.93	2.99	2.97	2.94	2.99
323	1,003	2.64	3.84	3.36	3.31	3.30	3.80	3.31	3.30	3.36	3.34	3.31	3.36
323	1,001	3.19	4.57	3.90	3.86	3.85	3.34	3.81	3.85	3.79	3.81	3.86	3.81
323	1,002	3.59	4.40	4.31	4.26	4.25	4.29	4.26	4.25	4.31	4.29	4.26	4.31
401	300	2.30	3.31	2.96	2.97	2.95	2.91	2.92	2.85	3.00	2.90	2.97	2.83
401	200	2.34	3.34	3.00	3.01	2.99	2.95	2.96	2.89	3.04	2.94	3.01	2.87
1,025	100	3.27	3.79	3.99	3.94	3.93	3.97	3.94	3.93	3.99	3.97	3.94	3.99
1,047	400	3.16	4.39	3.87	3.83	3.82	3.77	3.78	3.82	3.76	3.78	3.83	3.78
1,048	102	3.31	4.29	4.03	3.98	3.97	4.01	3.98	3.97	4.03	4.01	3.98	4.03
1,048	300	3.61	4.68	4.33	4.28	4.27	4.31	4.28	4.27	4.33	4.31	4.28	4.33
1,048	200	3.79	4.60	4.50	4.46	4.45	4.40	4.41	4.45	4.39	4.41	4.46	4.41
1,076	100	3.12	4.38	3.84	3.79	3.78	3.82	3.79	3.78	3.84	3.82	3.79	3.84
1,080	205	3.34	3.68	4.06	4.01	4.00	4.04	4.01	4.00	4.06	4.04	4.01	4.06
1,089	401	2.42	3.13	3.14	3.09	3.08	3.12	3.09	3.08	3.14	3.12	3.09	3.14
1,089	301	3.09	4.38	3.75	3.76	3.74	3.70	3.71	3.75	3.69	3.69	3.76	3.71
1,091	201	2.51	3.22	3.13	2.94	3.09	3.16	3.13	3.09	3.18	3.11	3.18	3.18
1,093	100	2.74	3.99	3.46	3.41	3.23	3.44	3.41	3.24	3.46	3.27	3.41	3.46
1,093	200	3.28	3.71	3.99	3.95	3.94	3.89	3.90	3.94	3.88	3.90	3.95	3.90
1,100	200	2.48	3.71	3.19	3.15	3.14	3.09	3.10	3.14	3.08	3.10	3.15	3.10
1,103	101	3.25	3.86	3.97	3.92	3.87	3.95	3.87	3.86	3.97	3.95	3.92	3.97
1,106	100	2.32	3.14	3.04	2.99	2.98	3.02	2.99	2.98	3.04	3.02	2.99	3.04
1,127	100	3.09	4.29	3.81	3.79	3.75	3.74	3.76	3.67	3.74	3.79	3.79	3.76
1,151	100	2.94	3.32	3.65	3.61	3.60	3.55	3.56	3.60	3.54	3.56	3.61	3.56
1,155	300	3.03	3.91	3.75	3.70	3.65	3.73	3.65	3.64	3.75	3.73	3.70	3.75
1,166	101	3.36	4.39	4.07	4.03	4.02	3.97	3.98	4.02	3.96	3.98	4.03	3.98
1,172	100	3.86	4.62	4.57	4.56	4.52	4.38	4.48	4.44	4.53	4.48	4.56	4.58
1,180	101	2.66	3.69	3.28	3.56	3.27	3.36	3.33	3.32	3.24	3.26	3.28	3.38
1,180	102	2.96	3.97	3.58	3.26	3.57	3.57	3.58	3.62	3.58	3.58	3.58	3.58
1,184	200	3.38	3.88	4.09	4.05	4.04	3.99	4.00	4.04	3.98	4.00	4.05	4.10
1,190	100	3.20	3.69	3.82	3.80	3.81	3.90	3.87	3.86	3.80	3.82	3.87	3.82
1,213	100	2.18	3.34	2.90	2.85	2.84	2.88	2.85	2.84	2.90	2.88	2.85	2.90
1,246	101	2.11	2.92	2.82	2.78	2.77	2.72	2.73	2.77	2.71	2.73	2.78	2.73
1,254	100	3.20	4.58	3.91	3.87	3.86	3.86	3.82	3.86	3.80	3.82	3.87	3.82
1,255	100	2.83	3.35	3.54	3.50	3.49	3.44	3.45	3.49	3.43	3.45	3.50	3.45
1,268	302	3.74	4.08	4.46	4.41	4.40	4.44	4.41	4.40	4.46	4.44	4.41	4.46
1,276	100	3.51	4.53	4.23	4.18	4.17	4.21	4.18	4.17	4.23	4.21	4.18	4.23
1,278	100	3.56	4.27	4.28	4.23	4.22	4.26	4.23	4.22	4.28	4.26	4.23	4.28
1,280	100	3.54	3.82	4.25	4.21	4.20	4.15	4.16	4.20	4.14	4.16	4.21	4.16
1,292	200	3.59	4.00	4.31	4.29	4.25	4.24	4.26	4.17	4.24	4.29	4.29	4.26
1,294	100	3.46	3.53	4.18	4.13	4.12	4.16	4.13	4.12	4.18	4.16	4.13	4.18
1,296	100	2.96	3.98	3.58	3.56	3.57	3.66	3.63	3.62	3.68	3.56	3.58	3.68
1,296	100	3.10	4.13	3.72	3.53	3.71	3.75	3.77	3.68	3.77	3.70	3.77	3.77
1,303	101	2.25	3.14	2.87	2.85	2.86	2.91	2.87	2.91	2.87	2.87	2.87	2.87
1,304	101	2.11	2.78	2.73	2.71	2.72	2.72	2.73	2.77	2.73	2.73	2.73	2.73



ตาราง ค-38 (ต่อ) การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลโดยวิธีความถดถอย ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,334	101	3.42	4.28	4.04	4.02	4.03	4.03	4.04	4.08	4.04	4.04	4.04	4.04
2,001	100	3.54	3.73	4.25	4.21	4.20	4.15	4.16	4.20	4.14	4.16	4.21	4.16
2,006	102	3.48	4.37	4.20	4.15	4.14	4.18	4.15	4.14	4.20	4.18	4.15	4.20
2,009	200	3.75	5.30	4.46	4.42	4.41	4.36	4.37	4.41	4.35	4.37	4.42	4.37
2,013	200	2.63	3.79	3.35	3.30	3.12	3.33	3.30	3.13	3.35	3.16	3.30	3.35
2,022	102	2.57	3.41	3.29	3.24	3.23	3.27	3.24	3.23	3.29	3.27	3.24	3.29
2,022	201	2.96	3.66	3.68	3.63	3.62	3.66	3.63	3.62	3.68	3.66	3.63	3.68
2,028	100	3.73	4.03	4.45	4.29	4.39	4.25	4.40	4.28	4.46	4.43	4.31	4.26
2,032	100	3.12	4.31	3.84	3.68	3.78	3.64	3.79	3.67	3.30	3.82	3.70	3.65
2,049	102	3.88	4.32	4.59	4.55	4.54	4.49	4.50	4.54	4.48	4.50	4.55	4.50
2,054	100	2.68	3.89	3.40	3.35	3.34	3.38	3.35	3.34	3.40	3.38	3.35	3.40
2,065	102	2.91	4.53	3.62	3.58	3.57	3.52	3.53	3.57	3.51	3.53	3.58	3.53
2,067	102	2.17	3.45	2.83	2.84	2.82	2.78	2.79	2.83	2.77	2.77	2.84	2.79
2,069	200	2.75	3.98	3.47	3.42	3.41	3.45	3.42	3.41	3.47	3.45	3.42	3.47
2,076	200	2.59	3.25	3.21	3.19	3.20	3.29	3.26	3.25	3.17	3.19	3.21	3.31
2,086	100	3.09	4.18	3.81	3.76	3.75	3.79	3.76	3.75	3.81	3.79	3.76	3.81
2,089	201	2.56	3.56	3.28	3.26	3.22	3.21	3.23	3.14	3.21	3.26	3.26	3.23
2,089	102	2.61	3.63	3.26	3.26	3.26	3.26	3.28	3.19	3.09	3.21	3.13	3.28
2,091	300	2.52	3.91	3.24	3.19	3.18	3.22	3.19	3.18	3.24	3.22	3.19	3.24
2,091	200	2.68	3.54	3.39	3.35	3.34	3.29	3.30	3.34	3.28	3.30	3.35	3.30
2,091	100	2.82	5.25	3.54	3.49	3.48	3.52	3.49	3.48	3.54	3.52	3.49	3.54
2,092	100	2.04	3.85	2.66	2.64	2.65	2.74	2.71	2.70	2.62	2.64	2.66	2.76
2,094	201	2.76	3.90	3.48	3.43	3.42	3.46	3.43	3.42	3.48	3.46	3.43	3.48
2,095	100	3.12	3.89	3.74	3.72	3.73	3.73	3.74	3.78	3.74	3.74	3.74	3.74
2,096	301	2.81	4.94	3.52	3.34	3.47	3.42	3.43	3.47	3.41	3.43	3.48	3.43
2,106	100	2.53	4.40	3.25	3.48	3.15	3.23	3.15	3.14	3.25	3.15	3.20	3.25
2,108	101	2.79	4.64	3.44	3.46	3.44	3.49	3.46	3.45	3.51	3.39	3.46	3.51
2,108	200	3.06	3.72	3.77	3.73	3.72	3.67	3.68	3.72	3.66	3.68	3.73	3.68
2,108	102	3.79	4.62	4.45	4.46	4.44	4.40	4.41	4.45	4.39	4.39	4.46	4.41
2,112	200	3.16	4.50	3.82	3.83	3.81	3.77	3.78	3.82	3.76	3.78	3.74	3.78
2,117	100	1.97	3.32	2.62	2.64	2.62	2.67	2.64	2.63	2.69	2.57	2.64	2.69
2,132	100	2.59	3.05	3.31	3.26	3.25	3.29	3.26	3.25	3.31	3.29	3.26	3.31
2,134	101	2.96	3.75	3.68	3.63	3.62	3.66	3.63	3.62	3.54	3.66	3.63	3.68
2,134	102	3.34	4.05	4.05	4.01	4.00	3.95	3.96	4.00	3.94	3.96	4.01	3.96
2,134	400	3.37	4.81	4.08	4.04	4.03	3.98	3.99	4.03	3.97	3.99	4.04	3.99
2,146	202	2.99	3.48	3.61	3.59	3.60	3.60	3.61	3.65	3.63	3.61	3.61	3.61
2,146	201	3.37	3.83	3.99	3.97	3.98	4.07	4.04	4.03	3.95	3.97	3.99	4.09
2,150	200	2.34	3.48	3.05	3.01	3.00	2.95	2.96	3.00	2.94	2.96	3.01	2.96
2,159	100	2.95	4.26	3.67	3.62	3.61	3.65	3.62	3.61	3.67	3.65	3.62	3.67
2,160	300	2.92	3.40	3.57	3.59	3.57	3.62	3.59	3.58	3.64	3.52	3.59	3.64
2,162	100	2.31	3.45	2.93	2.91	2.92	3.01	2.98	2.97	2.89	2.91	2.93	3.03
2,166	200	2.63	4.01	3.35	3.30	3.29	3.33	3.30	3.29	3.35	3.33	3.30	3.35
2,166	100	2.78	3.85	3.40	3.38	3.39	3.48	3.45	3.44	3.36	3.38	3.40	3.50
2,167	100	2.60	3.60	3.31	3.27	3.26	3.21	3.22	3.26	3.20	3.22	3.27	3.32
2,177	100	3.17	4.52	3.89	3.84	3.83	3.87	3.84	3.83	3.89	3.87	3.84	3.89
2,180	100	2.93	3.34	3.65	3.60	3.59	3.63	3.60	3.59	3.65	3.63	3.60	3.65
2,185	100	2.78	5.05	3.49	3.45	3.44	3.39	3.40	3.44	3.38	3.40	3.45	3.40
2,190	100	3.22	3.68	3.84	3.82	3.83	3.83	3.84	3.88	3.84	3.84	3.84	3.84
2,198	100	2.23	3.33	2.95	2.90	2.89	2.93	2.90	2.89	2.95	2.93	2.90	2.95
2,200	100	3.18	3.37	3.80	3.78	3.79	3.79	3.80	3.84	3.80	3.80	3.80	3.80
2,218	200	2.99	4.32	3.71	3.66	3.48	3.69	3.47	3.49	3.71	3.69	3.66	3.71
2,218	100	3.11	5.10	3.83	3.78	3.73	3.81	3.73	3.72	3.83	3.73	3.78	3.83
2,220	100	3.12	3.91	3.74	3.72	3.70	3.73	3.71	3.73	3.74	3.74	3.79	3.74
2,221	100	2.26	3.07	2.97	2.93	2.92	2.87	2.88	2.92	2.86	2.88	2.93	2.88
2,224	300	2.94	3.68	3.60	3.61	3.59	3.55	3.56	3.60	3.54	3.54	3.61	3.56
2,224	200	3.06	3.58	3.78	3.73	3.72	3.76	3.73	3.72	3.78	3.76	3.73	3.78
2,224	100	3.46	4.39	4.18	4.13	4.12	4.16	4.13	4.12	4.18	4.16	4.13	4.18
2,229	100	2.35	3.96	3.06	3.02	3.01	2.96	2.97	3.01	2.95	2.97	3.02	2.97
2,232	100	3.05	4.21	3.77	3.72	3.71	3.75	3.72	3.71	3.77	3.75	3.72	3.77
2,233	200	2.83	4.50	3.55	3.50	3.49	3.53	3.50	3.49	3.55	3.53	3.50	3.55
2,233	100	3.04	4.17	3.75	3.71	3.70	3.65	3.66	3.70	3.64	3.66	3.71	3.66
2,236	100	2.59	3.38	3.21	3.19	3.20	3.20	3.21	3.25	3.21	3.21	3.21	3.21

ตาราง ค-38 (ต่อ) การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลโดยวิธีความถดถอย ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,240	100	3.25	4.43	3.91	3.92	3.90	3.86	3.87	3.91	3.85	3.85	3.92	3.87
2,243	200	3.13	3.35	3.84	3.83	3.79	3.65	3.75	3.71	3.80	3.75	3.83	3.85
2,245	100	3.60	4.17	4.31	4.27	4.26	4.21	4.22	4.26	4.20	4.22	4.27	4.22
2,247	300	2.42	3.81	3.13	3.09	3.08	3.03	3.04	3.08	3.02	3.04	3.09	3.04
2,248	201	3.43	4.36	4.14	4.10	4.09	4.04	4.05	4.09	4.03	4.05	4.10	4.05
2,253	200	3.55	4.45	4.21	4.22	4.20	4.16	4.17	4.21	4.15	4.15	4.22	4.17
2,255	100	2.30	3.73	3.02	2.97	2.96	3.00	2.97	2.96	3.02	3.00	2.97	3.02
2,260	100	3.49	4.50	4.20	4.16	4.15	4.10	4.11	4.15	4.09	4.11	4.16	4.11
2,263	200	2.47	3.82	3.09	3.07	3.08	3.17	3.14	3.13	3.05	3.07	3.09	3.19
2,266	101	3.13	4.45	3.78	3.80	3.78	3.83	3.80	3.79	3.85	3.73	3.80	3.85
2,267	100	3.21	4.24	3.93	3.88	3.87	3.91	3.88	3.87	3.93	3.91	3.88	3.93
2,273	100	3.08	4.07	3.80	3.78	3.74	3.73	3.75	3.66	3.73	3.78	3.78	3.75
2,274	100	2.78	3.74	3.49	3.48	3.44	3.30	3.40	3.36	3.45	3.40	3.48	3.50
2,275	202	3.37	3.51	4.08	4.04	4.03	3.98	3.99	4.03	3.97	3.99	4.04	3.99
2,275	201	3.37	4.67	4.08	4.04	4.03	3.98	3.99	4.03	3.97	3.99	4.04	3.99
2,275	900	3.78	4.00	4.49	4.45	4.44	4.39	4.40	4.44	4.38	4.40	4.45	4.40
2,277	200	3.06	4.39	3.78	3.73	3.72	3.76	3.73	3.72	3.78	3.76	3.73	3.78
2,281	100	2.52	3.99	3.14	3.12	3.13	3.13	3.14	3.18	3.14	3.14	3.14	3.14
2,287	100	2.98	4.18	3.69	3.65	3.64	3.59	3.60	3.64	3.58	3.60	3.56	3.60
2,291	200	2.79	4.06	3.45	3.46	3.44	3.40	3.41	3.45	3.39	3.39	3.46	3.41
2,294	100	3.34	3.43	3.96	3.94	3.95	3.95	3.96	4.00	3.96	3.96	3.96	3.96
2,297	100	2.89	4.17	3.61	3.56	3.38	3.59	3.56	3.39	3.61	3.42	3.56	3.61
2,299	100	3.01	3.95	3.63	3.61	3.62	3.71	3.68	3.67	3.59	3.61	3.63	3.73
2,300	100	2.74	3.32	3.36	3.34	3.32	3.44	3.36	3.35	3.32	3.34	3.36	3.46
2,307	102	2.55	3.69	3.17	3.15	3.16	3.16	3.17	3.21	3.17	3.17	3.17	3.17
2,309	100	2.12	3.33	2.83	2.79	2.78	2.73	2.74	2.78	2.72	2.74	2.79	2.74
2,311	100	2.91	4.37	3.62	3.58	3.57	3.52	3.53	3.57	3.51	3.53	3.58	3.53
2,312	101	2.62	3.00	3.24	3.22	3.23	3.32	3.29	3.28	3.20	3.22	3.24	3.34
2,313	100	3.20	3.69	3.91	3.87	3.86	3.81	3.82	3.86	3.80	3.82	3.87	3.82
2,314	100	3.20	3.69	3.91	3.87	3.86	3.81	3.82	3.86	3.78	3.80	3.82	3.92
2,320	100	2.98	4.04	3.69	3.65	3.64	3.59	3.60	3.64	3.58	3.60	3.65	3.60
2,321	101	2.44	3.82	3.16	3.11	3.10	3.14	3.11	3.10	3.16	3.14	3.11	3.16
2,321	102	2.62	3.69	3.34	3.29	3.28	3.32	3.29	3.28	3.34	3.32	3.29	3.34
2,328	104	3.38	4.64	4.09	4.05	4.04	3.99	4.00	4.04	3.98	4.00	4.05	4.00
2,330	100	2.87	4.36	3.49	3.47	3.48	3.48	3.49	3.53	3.49	3.49	3.49	3.49
2,334	101	2.98	3.65	3.70	3.65	3.64	3.68	3.65	3.64	3.70	3.68	3.65	3.70
2,337	101	3.53	4.68	4.19	4.20	4.18	4.14	4.15	4.19	4.13	4.13	4.20	4.15
2,339	102	2.93	4.33	3.65	3.60	3.59	3.63	3.60	3.59	3.65	3.63	3.60	3.65
2,339	101	3.10	4.73	3.82	3.77	3.76	3.80	3.77	3.76	3.82	3.80	3.77	3.82
2,340	101	3.49	4.52	4.20	4.16	4.15	4.10	4.11	4.15	4.09	4.11	4.16	4.11
2,346	100	3.27	3.71	3.99	3.94	3.93	3.97	3.94	3.93	3.99	3.97	3.94	3.99
2,349	100	3.26	4.46	3.97	3.93	3.92	3.87	3.88	3.92	3.86	3.88	3.93	3.88
2,353	100	2.35	4.00	3.06	3.02	3.01	2.96	2.97	3.01	2.95	2.97	3.02	2.97
2,354	100	3.32	4.48	4.04	3.99	3.98	4.02	3.99	3.98	4.04	4.02	3.99	4.04
2,354	200	3.62	4.35	4.24	4.22	4.23	4.23	4.24	4.28	4.24	4.24	4.24	4.24
2,356	102	2.65	4.09	3.36	3.32	3.31	3.26	3.27	3.31	3.25	3.27	3.32	3.27
2,356	103	3.33	3.37	4.04	4.00	3.99	3.94	3.95	3.99	3.93	3.95	4.00	3.95
2,357	100	3.48	4.71	4.19	4.15	4.14	4.09	4.10	4.14	4.08	4.10	4.15	4.10
2,358	100	3.38	5.06	4.09	4.05	4.04	3.99	4.00	4.04	3.98	4.00	4.05	4.00
2,369	100	2.13	3.44	2.78	2.80	2.78	2.83	2.80	2.79	2.85	2.73	2.80	2.85
2,370	100	3.77	4.69	4.39	4.37	4.38	4.47	4.44	4.43	4.35	4.37	4.39	4.49
2,376	100	2.70	3.41	3.36	3.37	3.35	3.31	3.32	3.36	3.30	3.30	3.37	3.32
2,379	100	2.04	3.88	2.75	2.71	2.70	2.65	2.66	2.70	2.64	2.66	2.71	2.66
2,387	100	3.15	4.20	3.81	3.82	3.80	3.76	3.77	3.81	3.75	3.75	3.82	3.77
2,389	100	2.44	3.04	3.06	3.04	3.05	3.14	3.11	3.10	3.02	3.04	3.06	3.16
2,393	100	3.11	4.39	3.82	3.78	3.77	3.72	3.73	3.77	3.71	3.73	3.78	3.73
3,017	202	3.12	3.77	3.74	3.55	3.73	3.77	3.79	3.70	3.79	3.72	3.74	3.79
3,033	100	3.74	5.03	4.46	4.44	4.40	4.39	4.41	4.32	4.39	4.44	4.44	4.41
3,041	300	3.39	4.00	4.01	3.82	4.00	4.04	4.06	3.97	4.06	3.99	4.06	4.06
3,042	100	3.00	3.26	3.62	3.43	3.61	3.65	3.67	3.58	3.67	3.60	3.67	3.67
3,046	100	2.61	3.45	3.23	3.04	3.22	3.32	3.23	3.16	3.09	3.23	3.23	3.14
3,077	101	3.11	4.31	3.82	3.67	3.77	3.82	3.73	3.66	3.73	3.73	3.69	3.64

ตาราง ค-38 (ต่อ) การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบสากลโดยวิธีความถดถอย ในปี พ.ศ.2545

Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,077	102	3.73	4.74	4.45	4.29	4.39	4.25	4.40	4.28	4.46	4.43	4.31	4.26
3,079	102	2.92	4.09	3.64	3.59	3.41	3.62	3.59	3.42	3.64	3.45	3.59	3.64
3,087	300	2.86	4.01	3.48	3.46	3.44	3.56	3.48	3.47	3.44	3.46	3.48	3.58
3,088	200	2.57	3.93	3.28	3.24	3.23	3.18	3.19	3.23	3.17	3.19	3.24	3.19
3,163	102	2.86	3.45	3.48	3.46	3.47	3.52	3.48	3.52	3.48	3.48	3.48	3.48
3,174	100	3.29	4.14	4.00	3.99	3.95	3.90	3.91	3.87	3.96	3.91	3.99	4.01
3,199	302	2.82	4.69	3.53	3.49	3.48	3.43	3.44	3.48	3.42	3.44	3.49	3.44
3,203	100	3.42	4.83	4.14	4.12	4.08	4.07	4.09	4.00	4.07	4.12	4.12	4.09
3,205	100	3.33	4.57	3.95	3.93	3.94	3.94	3.95	3.99	3.95	3.95	3.95	3.95
3,206	200	3.52	4.21	4.18	4.17	4.17	4.04	4.14	4.10	4.23	4.12	4.04	4.24
3,207	100	3.81	4.33	4.43	4.41	4.42	4.42	4.43	4.47	4.43	4.43	4.43	4.43
3,209	103	3.18	4.24	3.80	3.78	3.79	3.88	3.85	3.84	3.76	3.78	3.80	3.90
3,223	100	2.58	4.10	3.20	3.01	3.19	3.10	3.20	3.16	3.20	3.20	3.25	3.30
3,225	100	3.33	4.03	3.95	3.76	3.94	3.98	4.00	3.91	4.00	3.93	4.00	4.00
3,231	100	2.44	3.31	3.16	3.11	3.10	3.14	3.11	3.10	3.16	3.14	3.11	3.16
3,250	100	3.78	4.47	4.40	4.21	4.39	4.43	4.45	4.36	4.45	4.38	4.45	4.45
3,252	100	2.34	3.12	2.96	2.77	2.95	2.86	2.96	2.92	2.96	2.96	3.01	3.06
3,265	104	2.63	3.52	3.34	3.30	3.29	3.24	3.25	3.29	3.23	3.25	3.30	3.25
3,265	102	3.12	4.17	3.77	3.79	3.77	3.82	3.79	3.78	3.84	3.72	3.79	3.84
3,285	100	3.91	4.35	4.63	4.58	4.57	4.61	4.58	4.57	4.63	4.61	4.58	4.63
3,288	100	3.34	4.56	4.06	4.04	4.00	3.99	4.01	3.92	3.99	4.04	4.04	4.01
3,301	100	3.71	5.18	4.43	4.41	4.37	4.36	4.38	4.29	4.36	4.41	4.41	4.38
3,315	100	2.94	4.03	3.66	3.61	3.60	3.64	3.61	3.60	3.66	3.64	3.61	3.66
3,324	100	3.92	4.40	4.63	4.59	4.58	4.53	4.54	4.58	4.52	4.54	4.59	4.54
3,325	100	3.53	4.32	4.24	4.23	4.19	4.05	4.15	4.11	4.20	4.15	4.23	4.25
3,326	100	2.93	4.06	3.65	3.63	3.59	3.58	3.60	3.51	3.58	3.63	3.60	3.60
3,327	100	3.18	4.11	3.90	3.85	3.84	3.88	3.85	3.84	3.90	3.88	3.85	3.90
3,330	100	3.49	4.47	4.15	4.16	4.14	4.10	4.11	4.15	4.09	4.09	4.16	4.11
3,331	100	3.44	4.29	4.15	4.11	4.10	4.05	4.06	4.10	4.04	4.06	4.11	4.06
3,334	100	2.23	3.38	2.85	2.83	2.84	2.93	2.90	2.89	2.81	2.83	2.85	2.95
3,338	100	3.63	4.57	4.35	4.30	4.29	4.33	4.30	4.29	4.35	4.33	4.30	4.35
3,339	100	3.06	4.16	3.78	3.73	3.72	3.76	3.73	3.72	3.78	3.76	3.73	3.78
3,343	102	2.47	4.02	3.19	3.14	3.13	3.17	3.14	3.13	3.19	3.17	3.14	3.19
3,343	101	2.76	4.34	3.48	3.43	3.38	3.46	3.38	3.37	3.48	3.38	3.43	3.48
3,353	100	3.61	4.03	4.32	4.28	4.27	4.22	4.23	4.27	4.21	4.23	4.28	4.23
3,358	100	2.25	3.63	2.97	2.92	2.91	2.95	2.92	2.91	2.97	2.95	2.92	2.97
3,361	102	2.69	4.13	3.40	3.36	3.35	3.30	3.31	3.35	3.29	3.31	3.36	3.31
3,387	100	3.22	3.48	3.94	3.89	3.88	3.92	3.89	3.88	3.94	3.92	3.89	3.94
3,393	100	2.64	3.87	3.35	3.31	3.30	3.25	3.26	3.30	3.24	3.26	3.31	3.26
3,400	100	2.60	3.56	3.22	3.03	3.21	3.26	3.22	3.18	3.22	3.22	3.27	3.32
3,404	101	3.74	4.37	4.45	4.41	4.40	4.35	4.36	4.40	4.34	4.36	4.41	4.36
3,410	100	3.19	4.68	3.81	3.62	3.80	3.84	3.86	3.77	3.86	3.79	3.86	3.86
3,416	200	2.84	3.10	3.46	3.27	3.45	3.36	3.46	3.42	3.46	3.46	3.51	3.56
3,416	300	3.25	4.67	3.87	3.68	3.86	3.77	3.87	3.83	3.87	3.87	3.92	3.97
3,424	200	2.21	2.74	2.92	2.77	2.87	2.92	2.83	2.76	2.83	2.83	2.79	2.74
3,424	100	2.81	3.81	3.53	3.37	3.47	3.33	3.48	3.36	3.54	3.51	3.39	3.34
3,432	100	2.88	4.11	3.50	3.31	3.49	3.40	3.50	3.46	3.50	3.50	3.55	3.60
3,434	201	2.31	3.66	2.93	2.91	2.92	2.92	2.93	2.97	2.93	2.93	2.93	2.93
3,434	101	3.03	4.08	3.74	3.70	3.69	3.64	3.65	3.69	3.63	3.65	3.70	3.65
3,436	100	2.54	3.43	3.16	3.14	3.15	3.15	3.16	3.20	3.16	3.16	3.16	3.16
3,440	100	2.27	3.00	2.89	2.87	2.88	2.88	2.89	2.93	2.89	2.89	2.89	2.89
3,443	100	2.70	3.90	3.42	3.37	3.36	3.40	3.37	3.36	3.42	3.40	3.37	3.42
3,451	100	2.18	2.78	2.80	2.78	2.79	2.79	2.80	2.84	2.80	2.80	2.80	2.80
3,457	100	2.65	3.32	3.36	3.32	3.31	3.26	3.27	3.31	3.25	3.27	3.32	3.27
3,461	100	2.80	3.01	3.52	3.47	3.46	3.50	3.47	3.46	3.52	3.50	3.47	3.52
3,462	100	2.15	3.36	2.77	2.75	2.76	2.85	2.82	2.81	2.73	2.75	2.77	2.87
3,467	102	3.35	4.04	4.07	4.02	4.01	4.05	4.02	4.01	4.07	4.05	4.02	4.07
3,468	101	2.42	3.69	3.14	3.09	3.08	3.12	3.09	3.08	3.14	3.12	3.09	3.14
3,468	102	3.54	4.75	4.16	4.14	4.15	4.15	4.16	4.20	4.16	4.16	4.16	4.16
3,480	100	2.97	3.35	3.59	3.57	3.58	3.67	3.64	3.63	3.55	3.57	3.59	3.69
3,481	204	2.78	3.65	3.40	3.21	3.39	3.49	3.40	3.33	3.26	3.40	3.40	3.31
3,497	100	2.46	3.62	3.08	2.89	3.07	2.98	3.13	3.01	3.07	3.06	3.08	2.99

ตาราง ค-38 (ต่อ) การพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบร้อยสากลโดยวิธีความถดถอย ในปี พ.ศ.2545

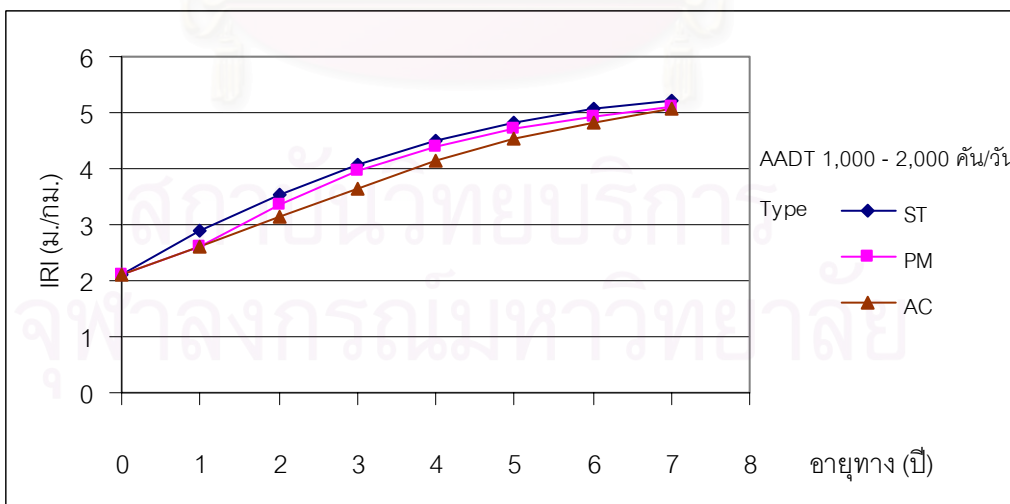
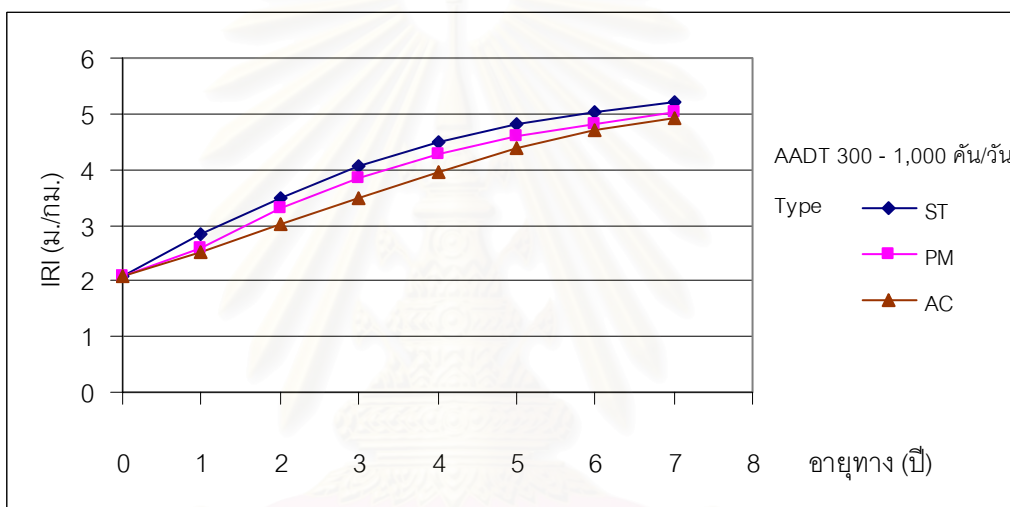
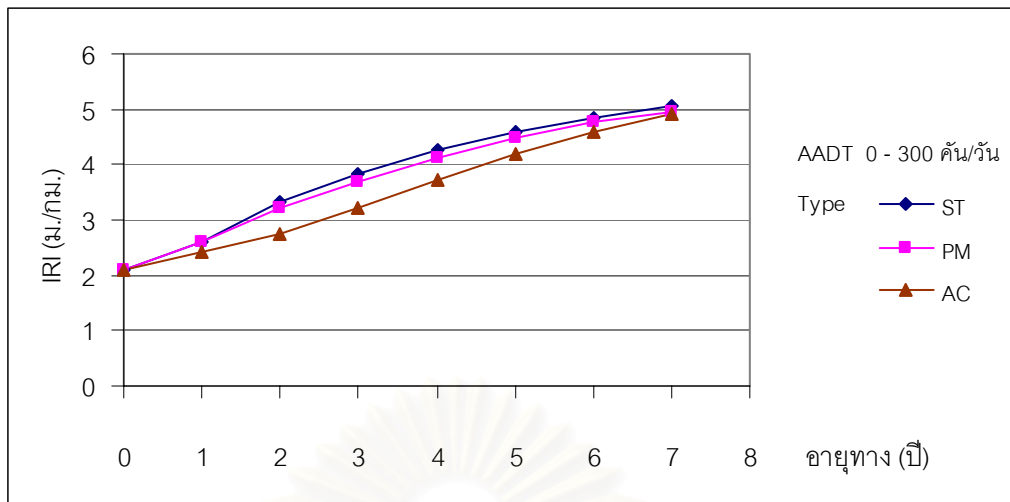
Route Number	Control Section	ปี		ชนิดแบบจำลอง									
		2543	2545	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,500	100	2.33	3.58	2.95	2.93	2.94	3.03	3.00	2.99	2.91	2.93	2.95	3.05
3,502	100	1.98	2.24	2.70	2.65	2.64	2.68	2.65	2.64	2.70	2.68	2.65	2.70
3,505	100	2.24	2.79	2.96	2.91	2.90	2.94	2.91	2.90	2.96	2.94	2.91	2.96
4,003	100	2.62	3.99	3.34	3.18	3.11	3.14	3.10	2.96	3.35	3.15	3.20	3.15
4,006	100	2.88	3.96	3.50	3.31	3.49	3.40	3.55	3.43	3.49	3.48	3.50	3.41
4,018	101	2.25	3.70	2.90	2.92	2.90	2.77	2.92	2.80	2.97	2.85	2.92	2.78
4,018	104	2.56	3.76	3.28	3.12	3.22	3.08	3.23	3.11	3.29	3.26	3.14	3.09
4,018	201	2.61	3.73	3.33	3.17	3.27	3.13	3.28	3.16	3.34	3.31	3.19	3.14
4,018	202	2.71	3.98	3.42	3.27	3.37	3.42	3.33	3.26	3.33	3.33	3.29	3.24
4,033	100	2.54	2.82	3.26	3.10	3.16	3.06	3.16	3.16	3.27	3.16	3.12	3.07
4,036	100	2.25	3.03	2.87	2.68	2.86	2.77	2.92	2.80	2.86	2.85	2.87	2.78
4,038	100	2.67	3.86	3.29	3.10	3.28	3.19	3.34	3.22	3.28	3.27	3.29	3.20
4,039	100	2.80	4.31	3.52	3.36	3.46	3.32	3.47	3.35	3.53	3.50	3.38	3.33
4,040	100	2.61	3.32	3.23	3.04	3.22	3.22	3.23	3.16	3.09	3.23	3.23	3.14
4,041	100	2.46	3.22	3.08	2.89	3.07	3.17	3.08	3.01	2.94	3.08	3.08	2.99
4,043	100	2.59	3.94	3.21	3.02	3.20	3.11	3.26	3.14	3.20	3.19	3.21	3.12
4,051	100	2.98	4.05	3.70	3.54	3.60	3.50	3.60	3.60	3.71	3.60	3.65	3.51
4,057	202	2.26	3.66	2.98	2.82	2.92	2.78	2.93	2.81	2.99	2.96	2.84	2.79
4,068	100	2.74	3.91	3.45	3.30	3.40	3.45	3.36	3.29	3.36	3.36	3.32	3.27
4,074	102	3.57	3.77	4.29	4.13	4.23	4.09	4.24	4.12	3.89	4.27	4.15	4.10
4,081	100	3.69	4.85	4.41	4.25	4.35	4.21	4.36	4.24	4.42	4.39	4.27	4.22
4,085	202	2.86	3.97	3.58	3.42	3.52	3.38	3.53	3.41	3.59	3.56	3.44	3.39
4,088	100	2.15	3.73	2.81	2.82	2.80	2.86	2.77	2.70	2.85	2.75	2.82	2.68
4,098	100	3.16	3.50	3.87	3.72	3.82	3.87	3.78	3.71	3.78	3.76	3.83	3.69
4,105	100	2.26	3.48	2.88	2.69	2.87	2.78	2.93	2.81	2.87	2.86	2.88	2.79
4,111	100	3.68	4.99	4.40	4.24	4.34	4.20	4.35	4.23	4.41	4.38	4.26	4.21
4,118	100	2.45	3.38	3.07	2.88	3.06	3.16	3.07	3.00	2.93	3.07	3.07	2.98
4,122	100	3.04	3.87	3.75	3.60	3.70	3.75	3.66	3.59	3.66	3.66	3.62	3.57
4,122	200	3.07	3.70	3.79	3.63	3.73	3.59	3.74	3.62	3.80	3.77	3.65	3.60
4,134	100	2.93	3.95	3.55	3.36	3.54	3.45	3.60	3.48	3.54	3.63	3.63	3.46
4,136	201	3.18	3.53	3.84	3.85	3.83	3.89	3.80	3.73	3.88	3.78	3.85	3.71
4,136	202	3.44	5.77	4.16	4.00	4.10	3.96	4.11	3.99	4.17	4.14	4.02	3.97
4,139	100	3.33	4.49	4.05	3.89	3.99	3.85	4.00	3.88	4.06	4.03	3.91	3.86
4,143	100	2.62	3.73	3.24	3.22	3.23	3.32	3.29	3.28	3.20	3.22	3.24	3.34
4,145	100	3.05	3.60	3.77	3.61	3.25	3.57	3.72	3.60	3.78	3.75	3.63	3.58
4,150	100	2.72	3.86	3.34	3.15	3.71	3.24	3.39	3.27	3.33	3.32	3.34	3.25
4,155	100	2.85	3.96	3.56	3.41	3.51	3.56	3.47	3.40	3.47	3.47	3.43	3.38
4,157	100	3.34	5.09	4.00	4.01	3.99	4.05	3.96	3.89	4.04	3.94	4.01	3.87
4,162	100	2.06	3.39	2.78	2.62	2.72	2.58	2.73	2.61	2.79	2.76	2.64	2.59
4,163	200	3.26	3.72	3.88	3.69	3.87	3.78	3.93	3.81	3.87	3.86	3.88	3.79
4,165	100	2.68	3.73	3.30	3.11	3.29	3.20	3.35	3.23	3.29	3.28	3.30	3.21
4,167	100	3.42	4.37	4.14	3.98	4.08	3.94	4.09	3.97	4.15	4.12	4.00	3.95
4,175	100	3.24	4.40	3.89	3.91	3.89	3.76	3.91	3.79	3.96	3.84	3.91	3.77
4,181	100	2.97	4.43	3.68	3.53	3.63	3.68	3.59	3.52	3.59	3.59	3.55	3.50
4,184	100	2.95	4.00	3.66	3.51	3.61	3.56	3.57	3.50	3.57	3.57	3.53	3.48
4,196	100	3.72	5.05	4.43	4.28	4.38	4.43	4.34	4.27	4.34	4.34	4.30	4.25
4,205	100	3.07	4.14	3.69	3.50	3.65	3.59	3.69	3.69	3.68	3.67	3.65	3.60
4,208	100	2.78	4.04	3.49	3.34	3.44	3.49	3.40	3.33	3.40	3.40	3.36	3.31
4,224	100	2.67	3.71	3.29	3.10	3.28	3.19	3.34	3.22	3.28	3.27	3.29	3.20
4,231	100	2.23	2.63	2.85	2.66	2.84	2.75	2.90	2.78	2.84	2.83	2.85	2.76
4,236	100	2.91	3.40	3.63	3.47	3.57	3.43	3.58	3.46	3.64	3.61	3.49	3.44
4,237	101	3.49	4.78	4.20	4.05	4.15	4.20	4.11	4.04	4.11	4.11	4.07	4.02
4,240	100	2.34	3.08	2.96	2.77	2.95	2.86	3.01	2.89	2.95	2.94	2.96	2.87



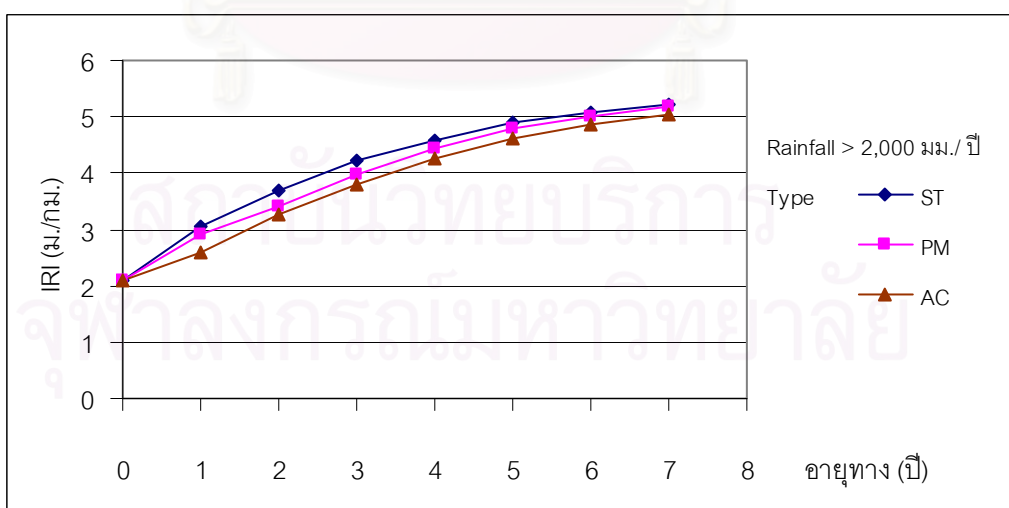
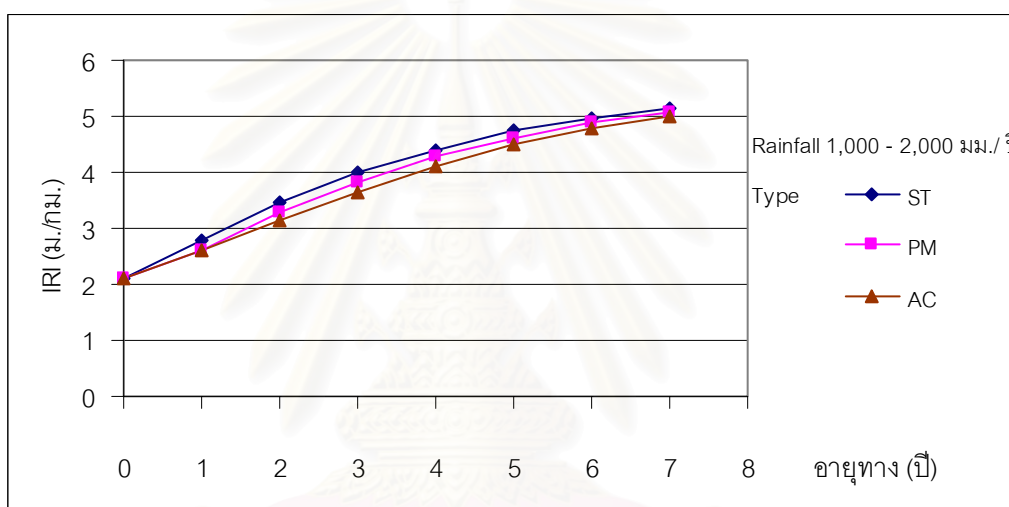
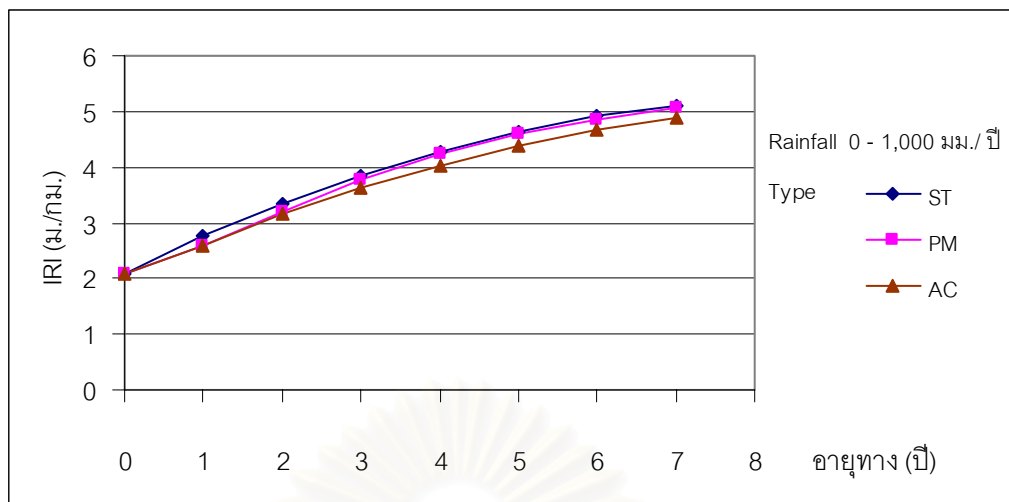
ภาคผนวก ค

รูปประกอบ

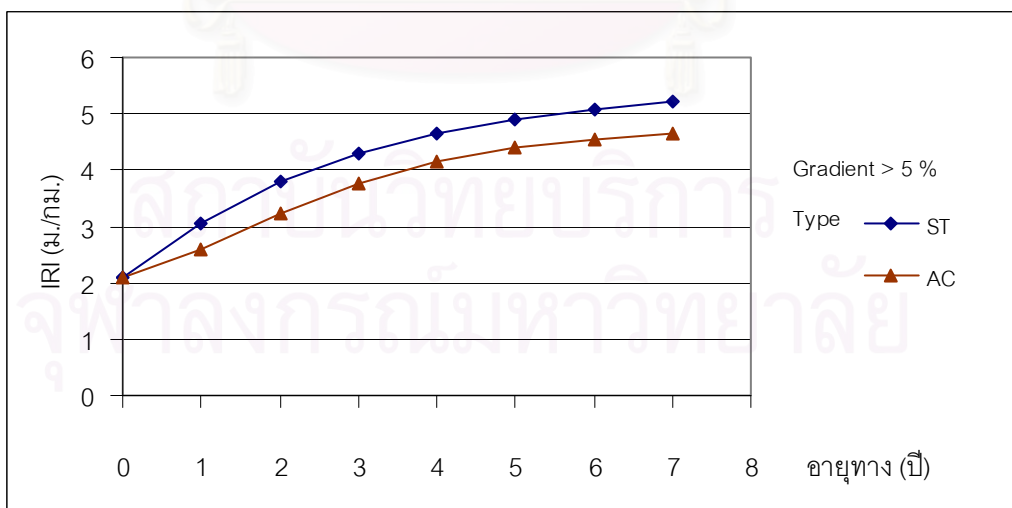
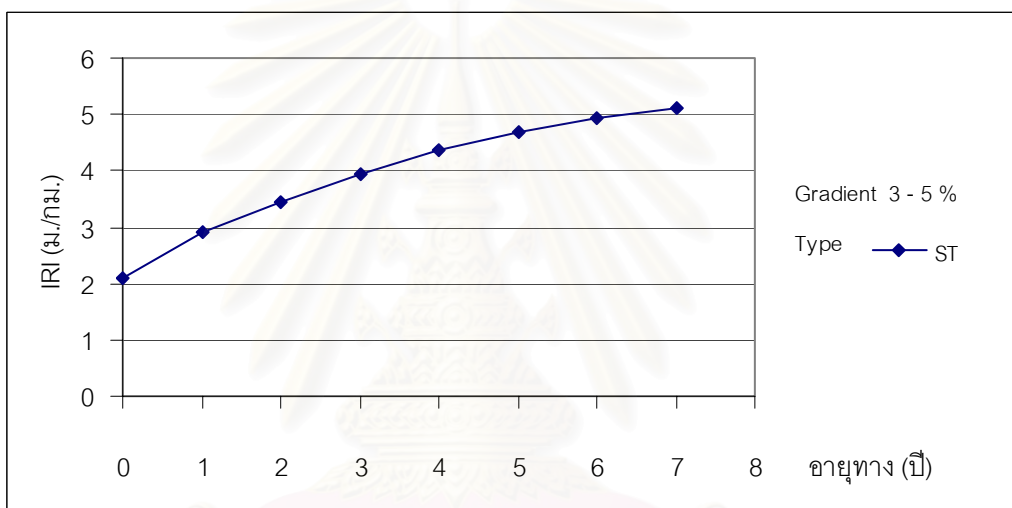
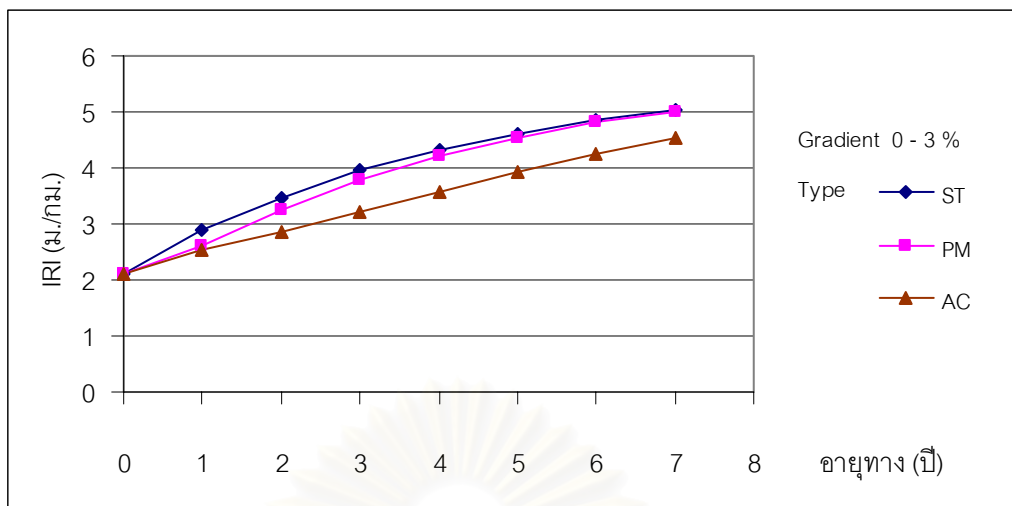
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค-1 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและปริมาณจราจร

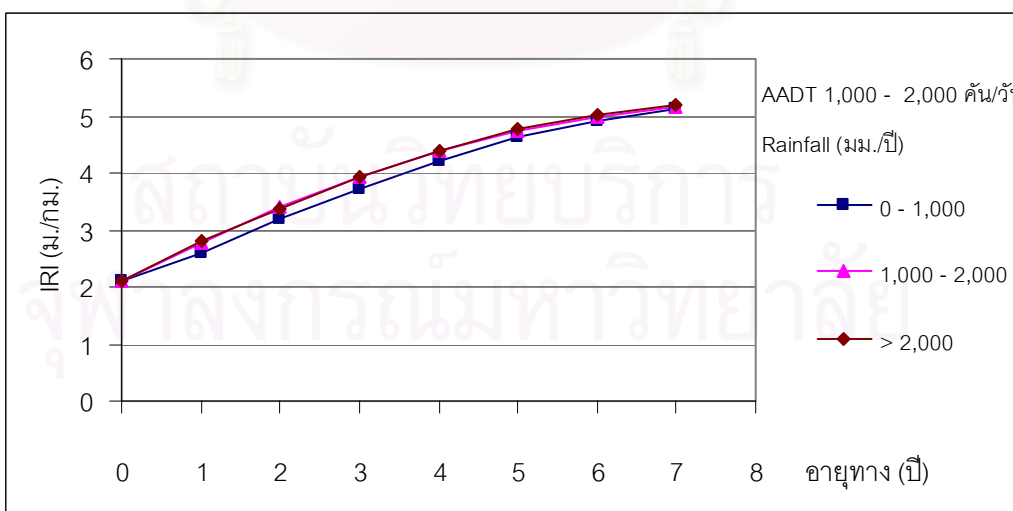
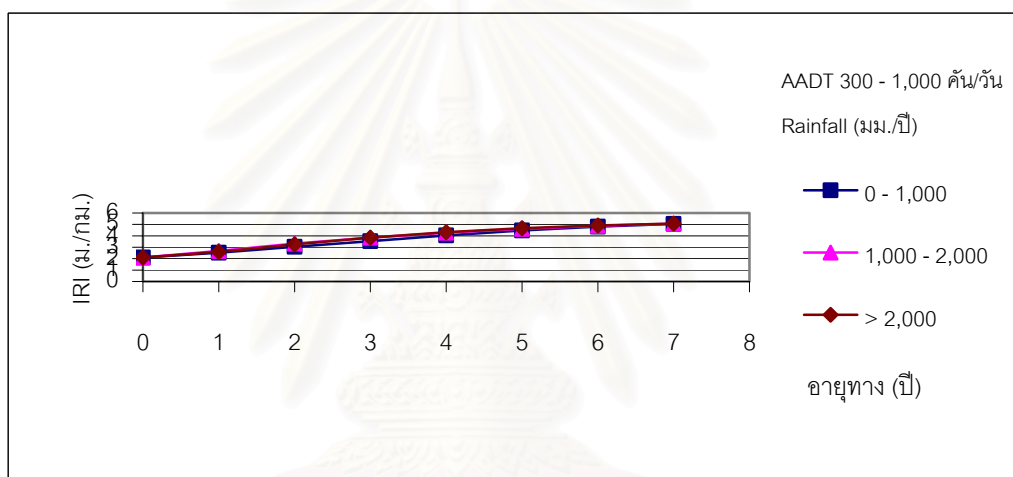
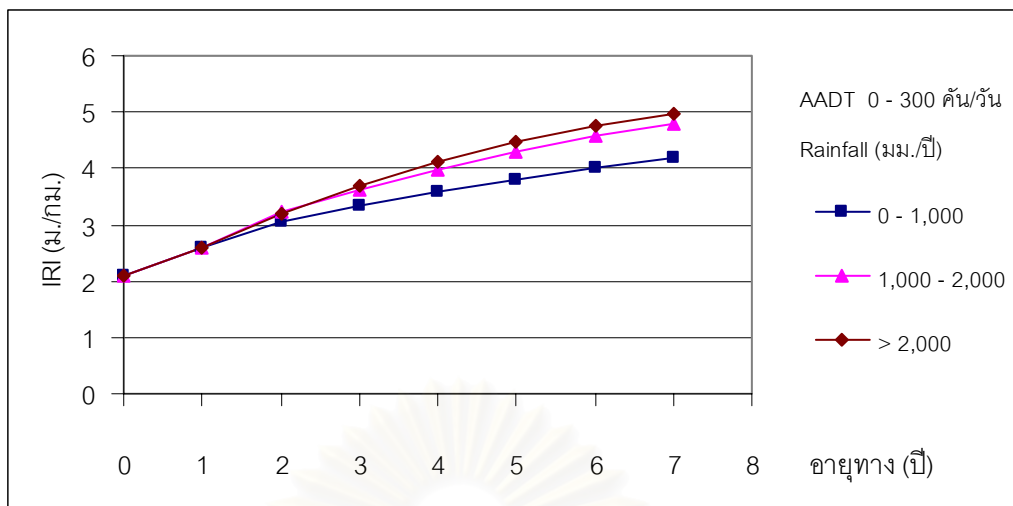


รูปที่ ค-2 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและกับปริมาณน้ำฝน

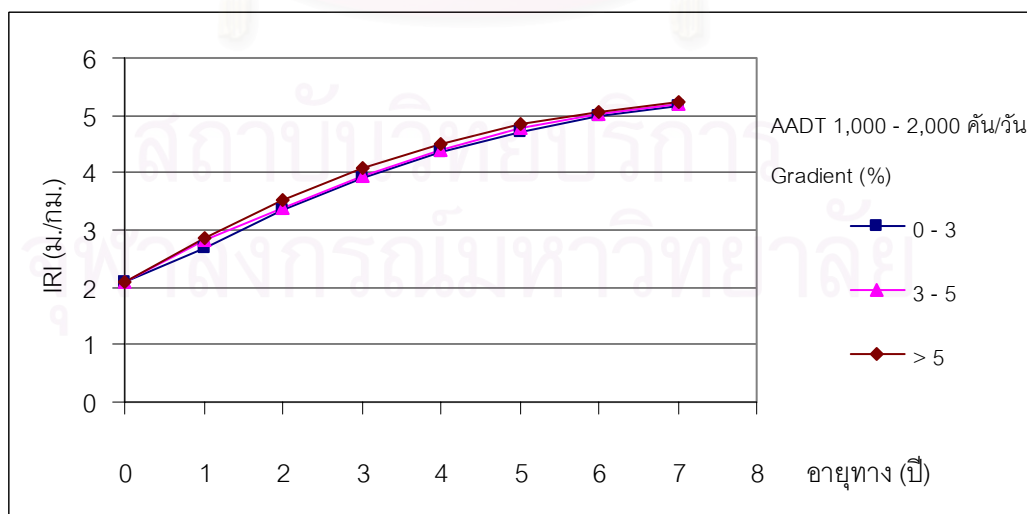
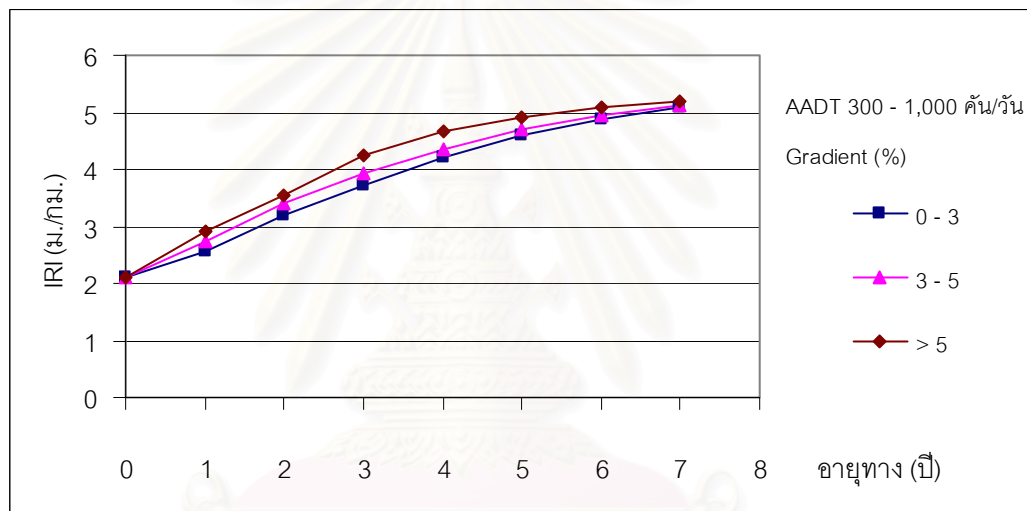
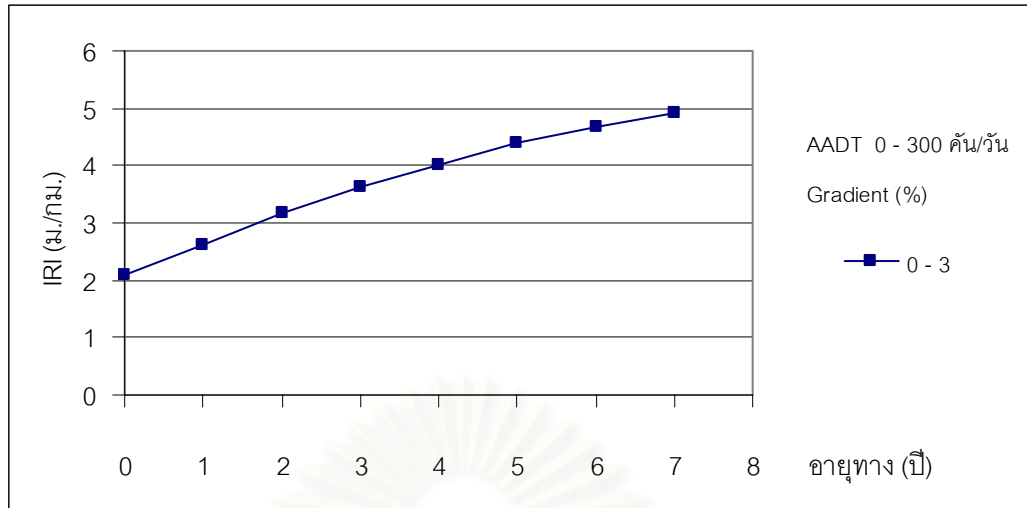


รูปที่ ค-3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทางและ ความชันของภูมิประเทศ

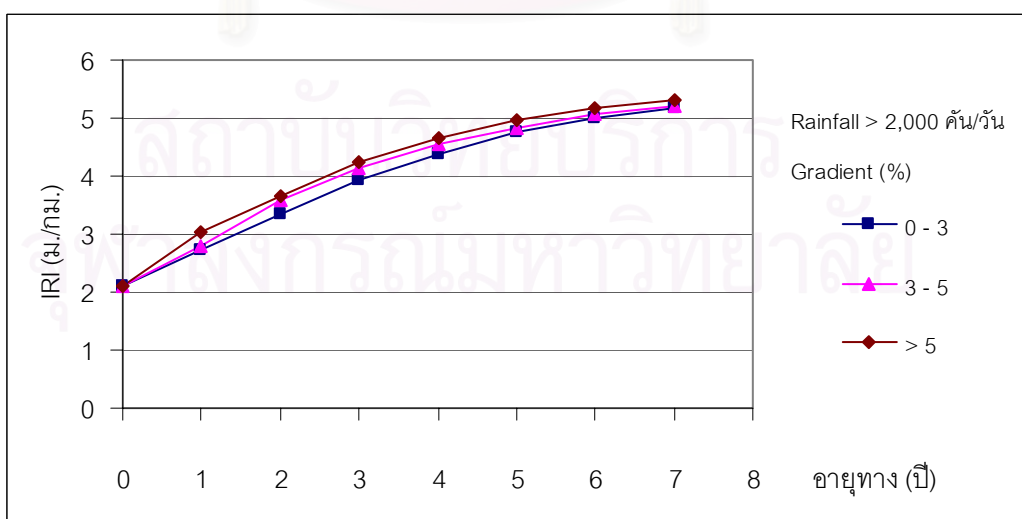
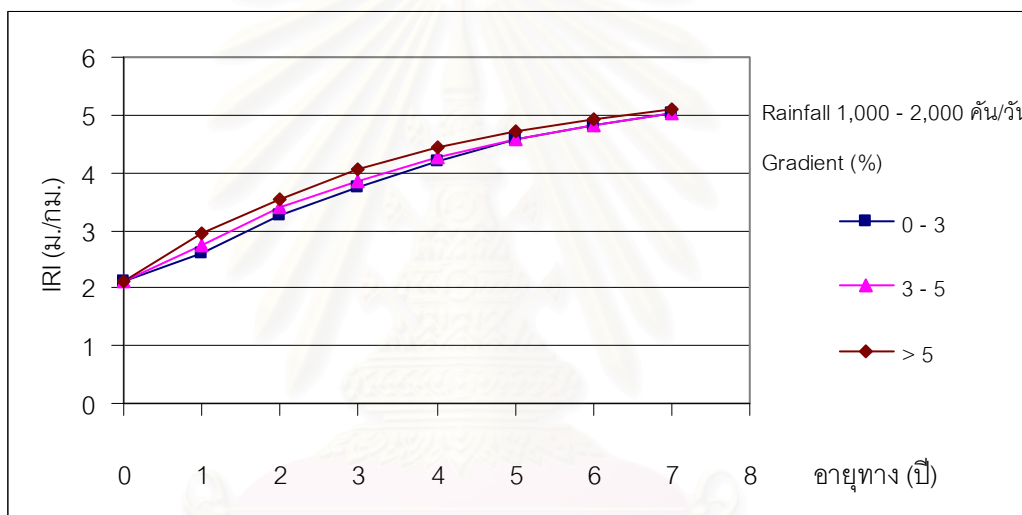
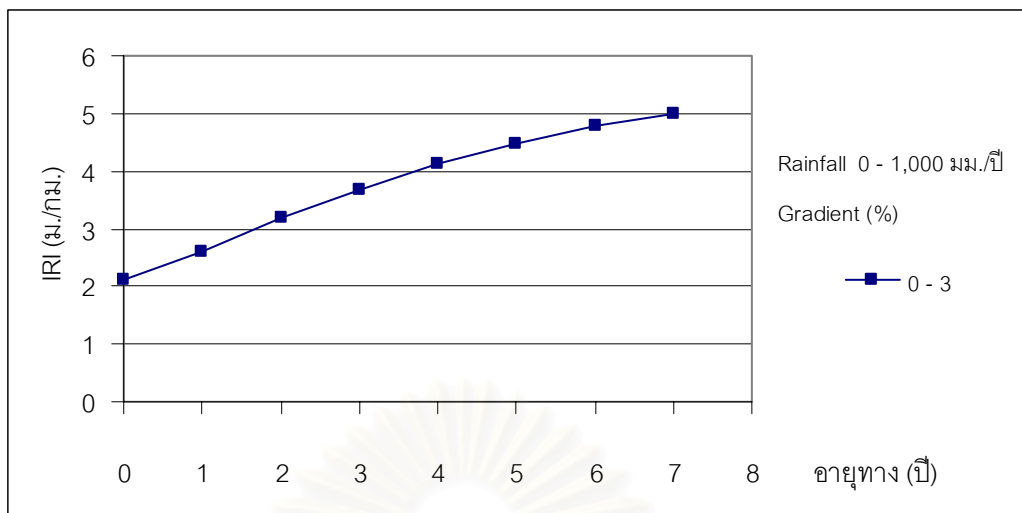




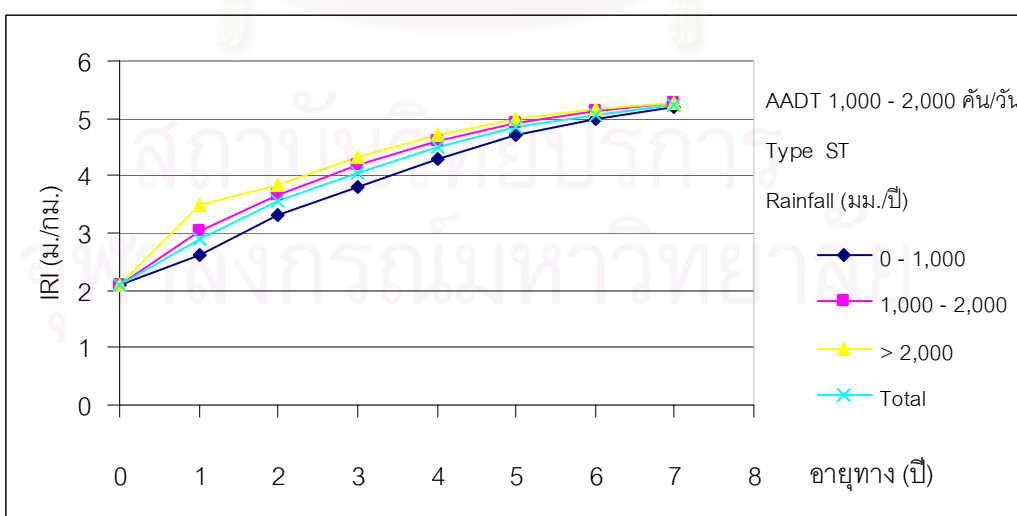
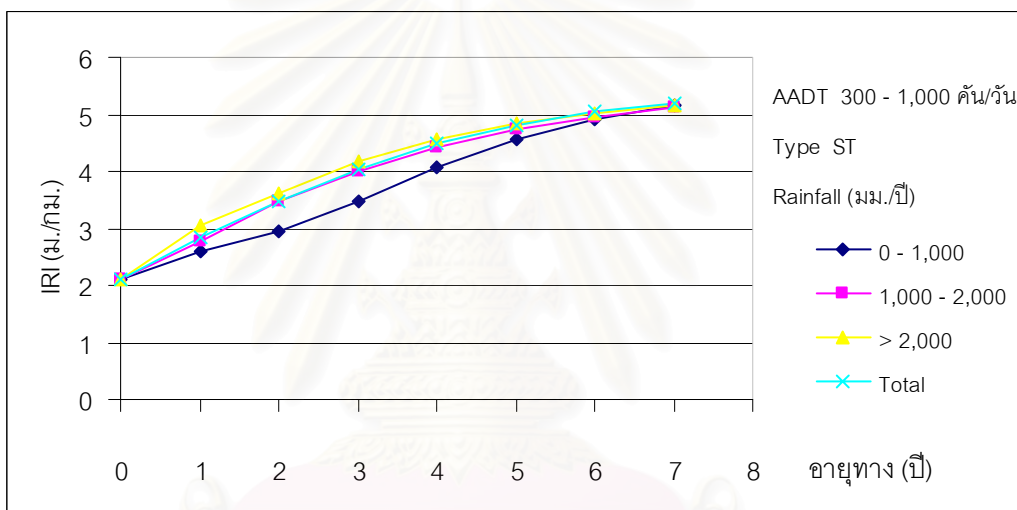
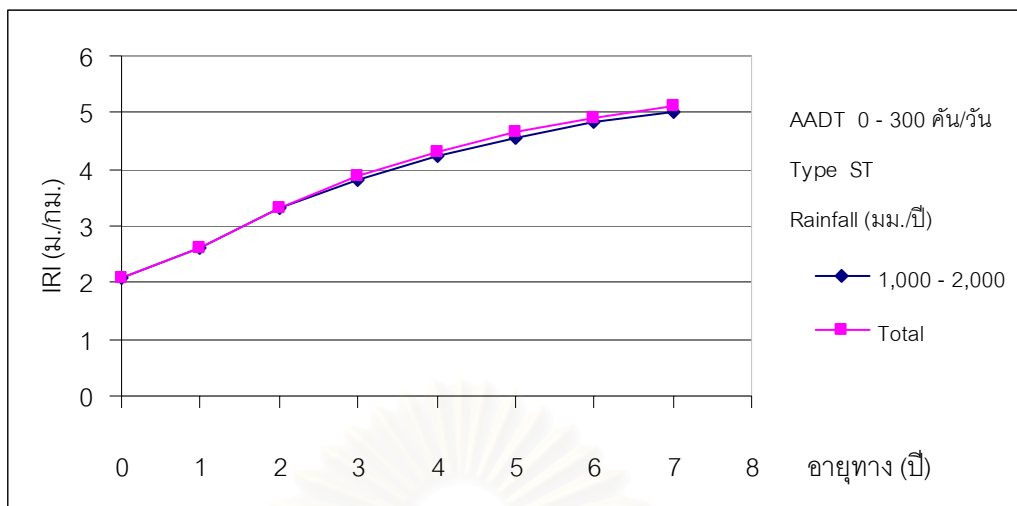
รูปที่ ค-4 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจรและปริมาณน้ำฝน



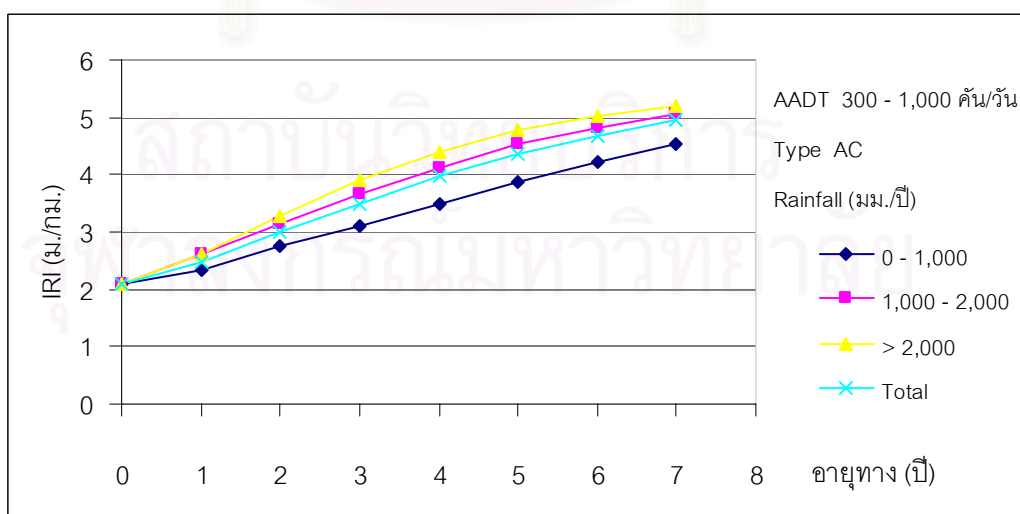
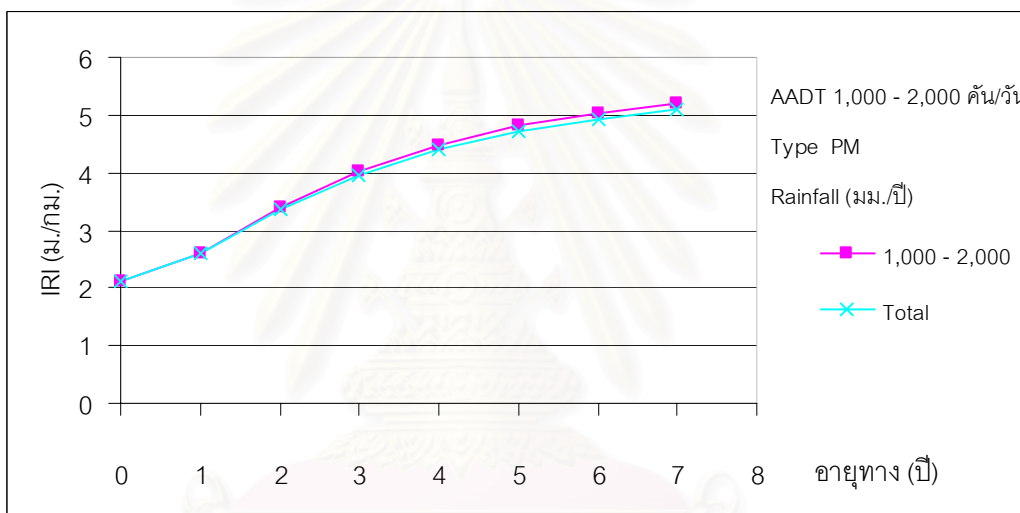
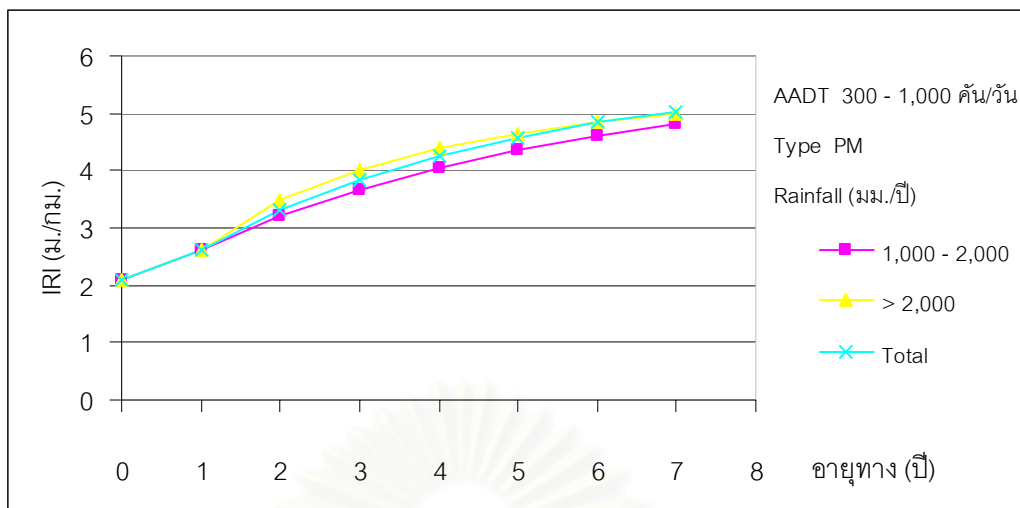
รูปที่ ค-5 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจรและความชันของภูมิประเทศ



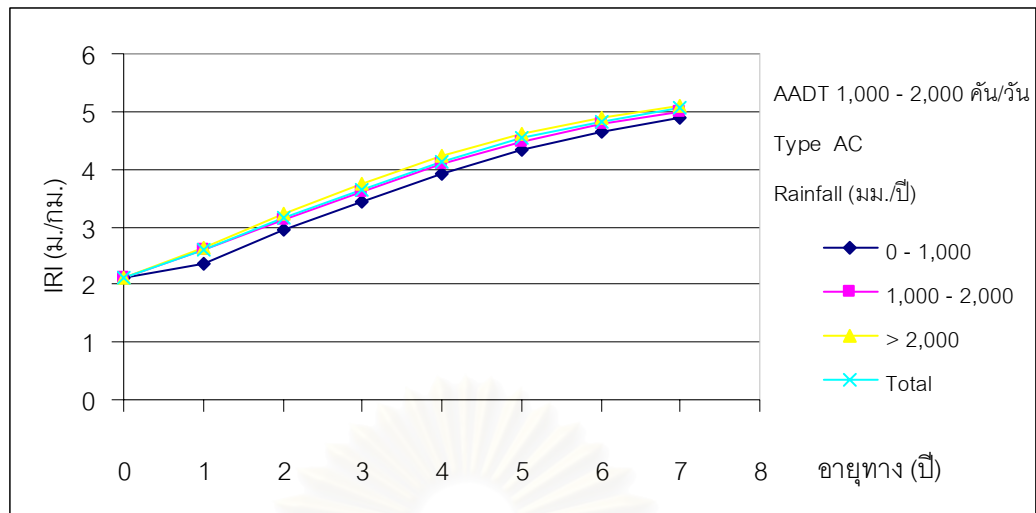
รูปที่ ค-6 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณน้ำฝนและความชันของภูมิประเทศ



รูปที่ ค-7 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทาง ปริมาณจราจร และปริมาณน้ำฝน

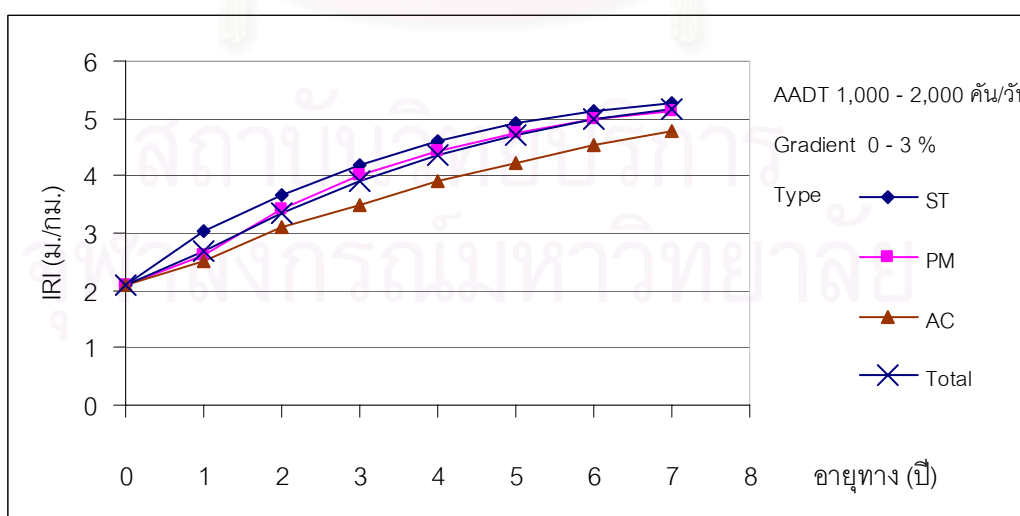
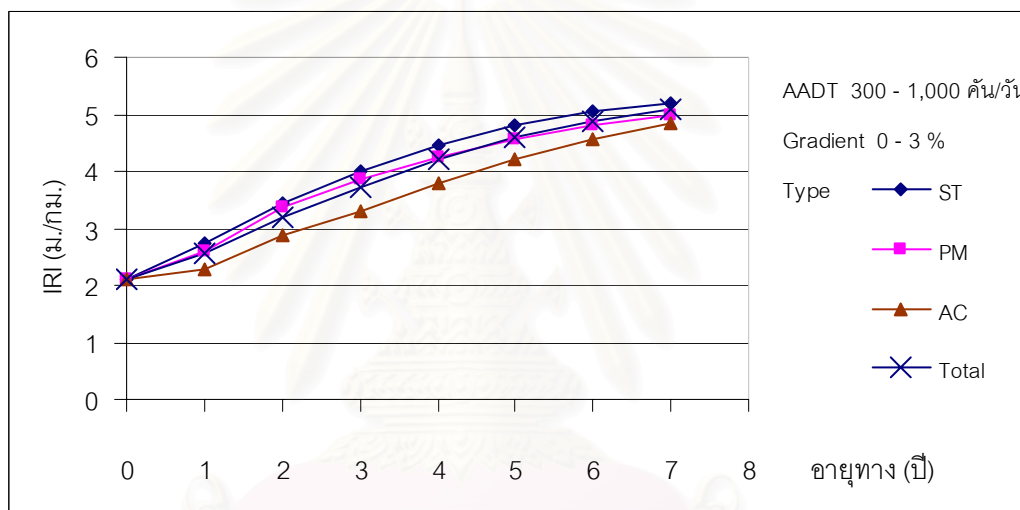
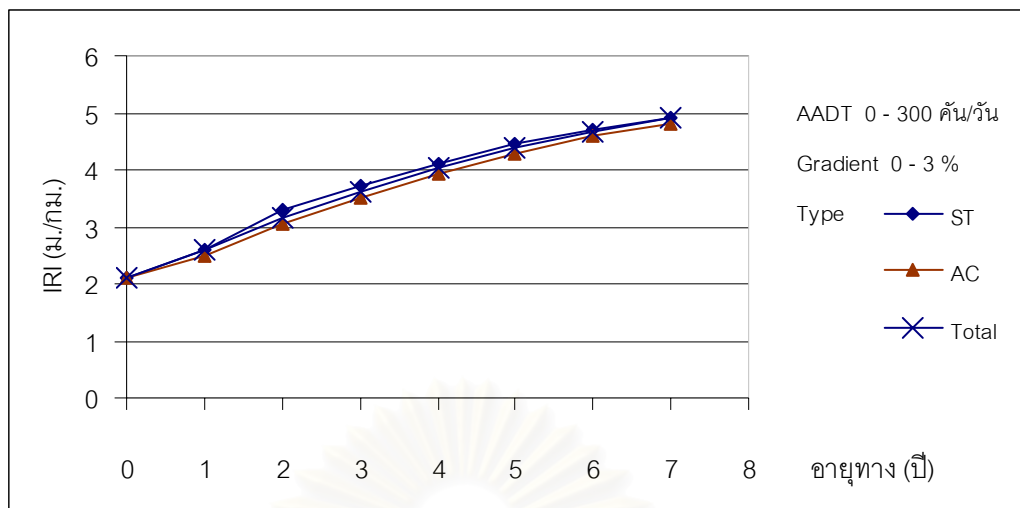


รูปที่ ค-7 (ต่อ) แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทาง ปริมาณจราจร และปริมาณน้ำฝน

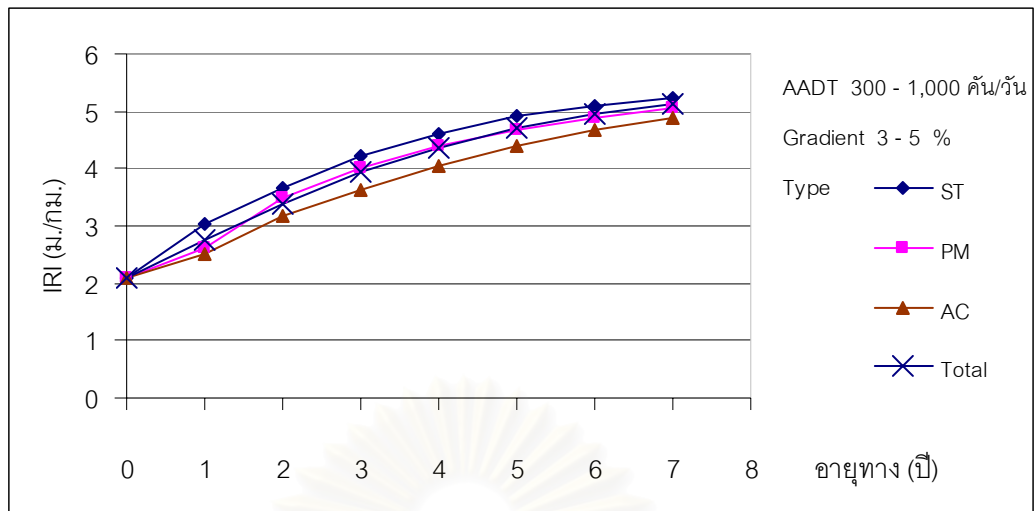


รูปที่ ค-7 (ต่อ) แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทาง ปริมาณจราจร และปริมาณน้ำฝน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



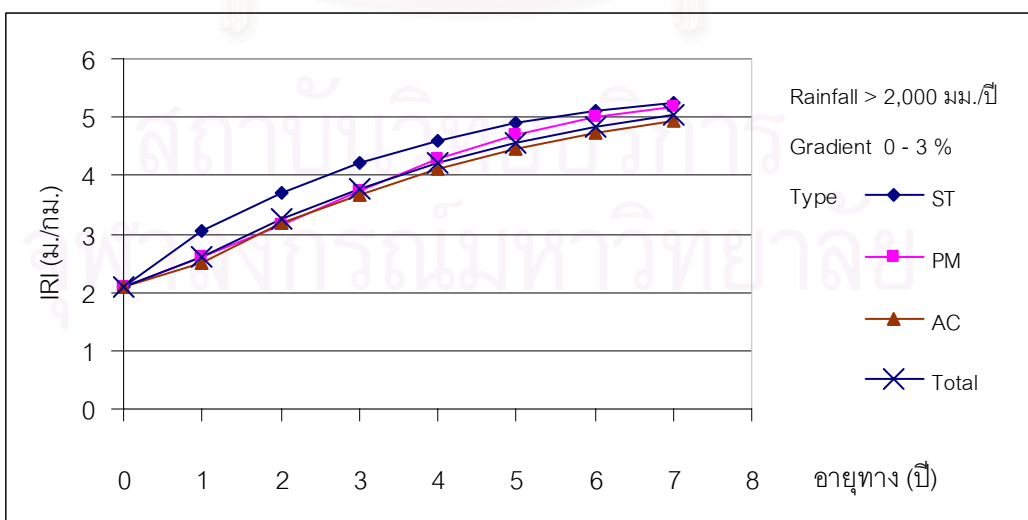
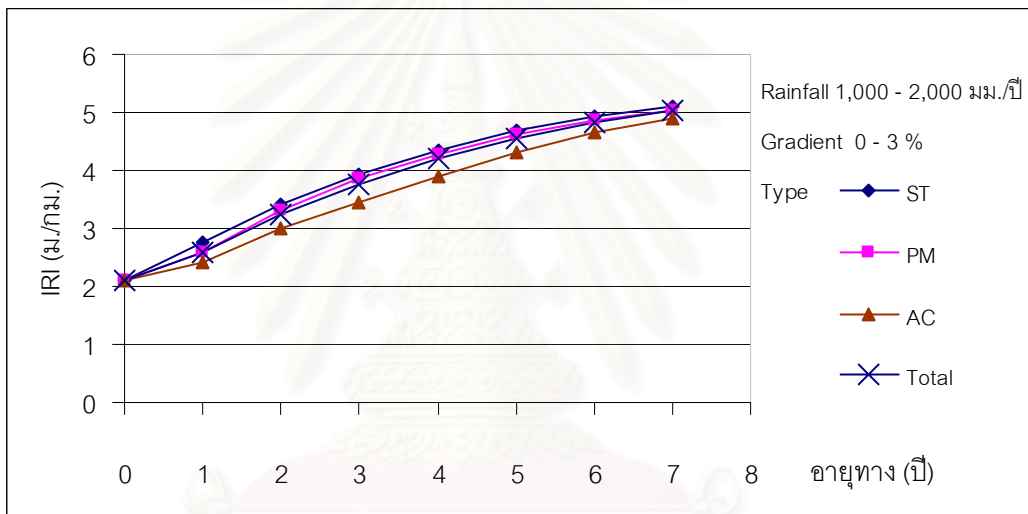
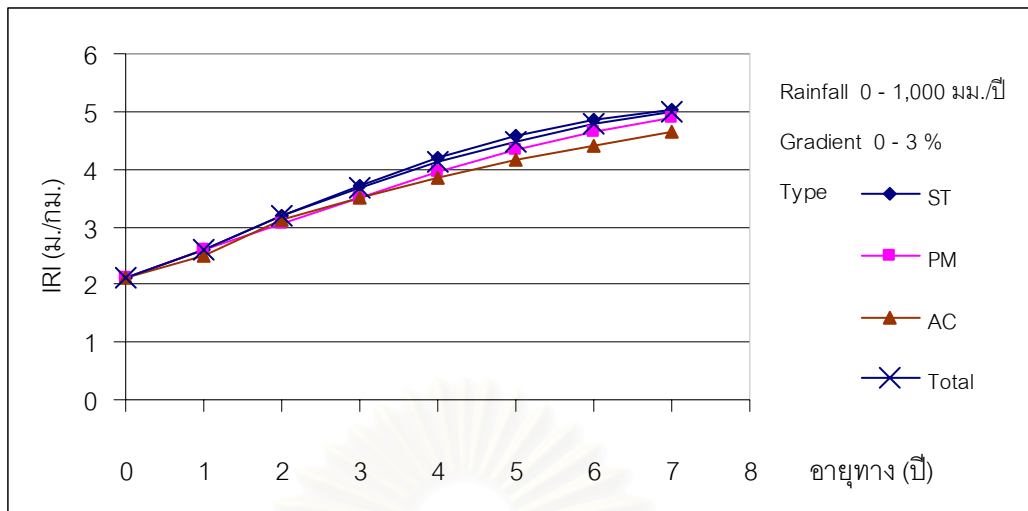
รูปที่ ค-8 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางชนิดด้านผิวทาง ปริมาณจราจร และความชันของภูมิประเทศ



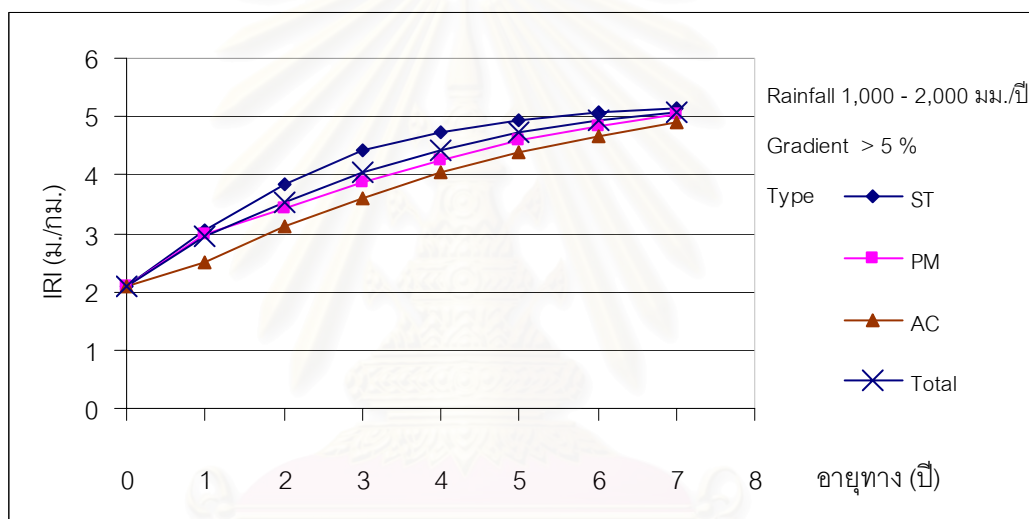
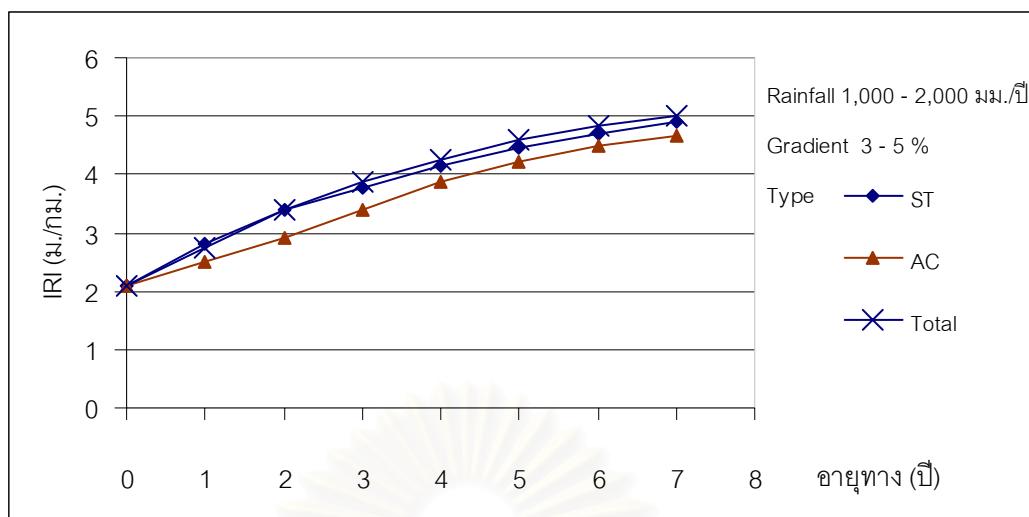
รูปที่ ค-8 (ต่อ) แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางชนิดด้านผิวทาง ปริมาณจราจร และความชันของภูมิประเทศ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



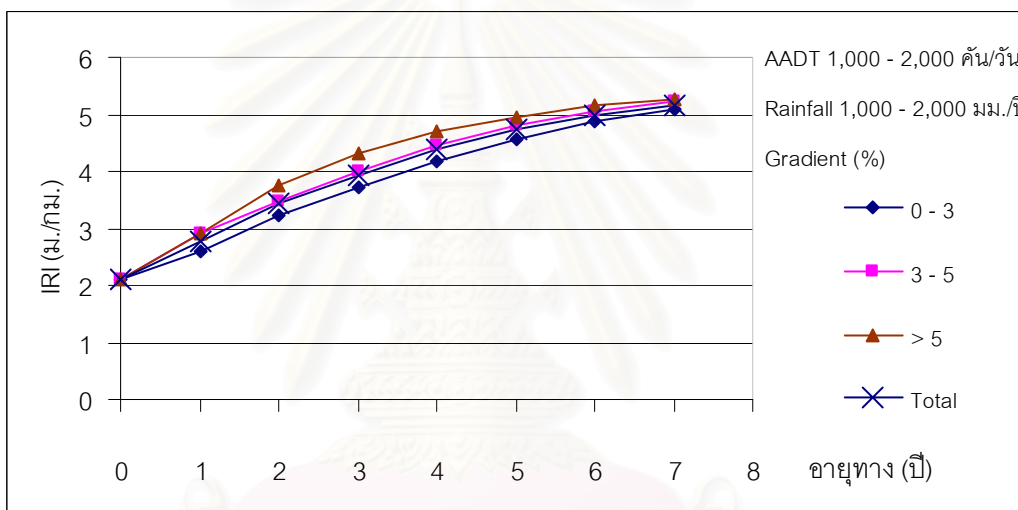
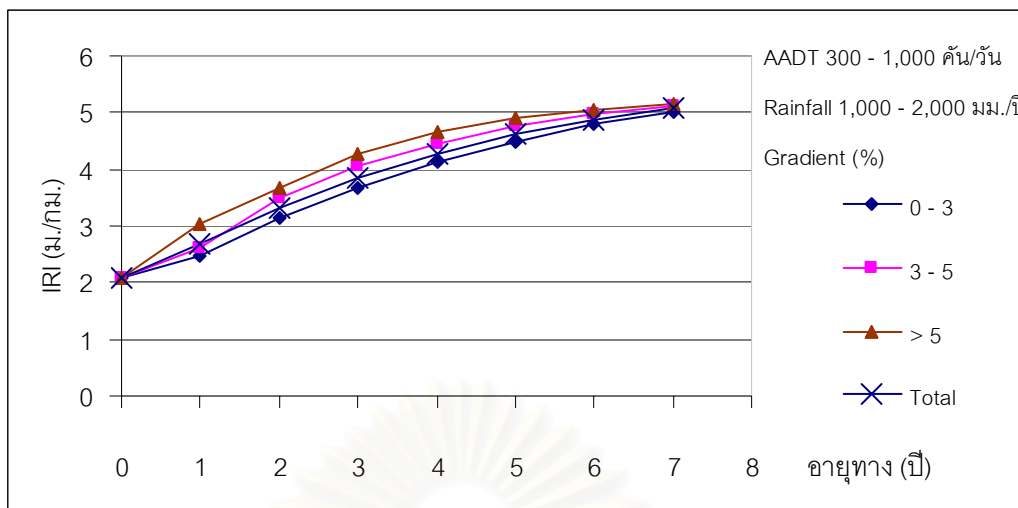


รูปที่ ค-9 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทาง ปริมาณน้ำฝน และความชื้นของภูมิภาค



รูปที่ ค-9 (ต่อ) แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านชนิดผิวทาง ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค-10 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง พิจารณาปัจจัยทางด้านปริมาณจราจร ปริมาณน้ำฝน และความชันของภูมิประเทศ

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีระชัย วงษ์วีระนิมิตร เกิดเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2523 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2545 ระหว่างการศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอนและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย