

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำโดย วิธีลูกโซ่มาร์คอฟเพื่อการวางแผนงานบำรุงทาง

Application of Deterioration Model of Flexible Pavement in Low Volume Roads Using Markov Chains for Pavement Maintenance Planning

วัชรคม โภคารัตนนานท์ และวิษณุ ทรัพย์สมพล

Watcharakhom Pocarattananan and Wisanu Subsompon

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 0-2218-6460 โทรสาร 0-2251-7304

E-mail watcharakhom@yahoo.com, wisanu.s@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำที่พัฒนาขึ้นโดยวิธีการลูกโซ่มาร์คอฟในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางของกรมทางหลวงชนบท ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากลเป็นตัวแทนของสภาพผิวทาง และจำแนกรูปแบบของแบบจำลองการเสื่อมสภาพตามกลุ่มของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อความเสียหายของทาง การประยุกต์ใช้แบบจำลองต้องสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอายุใช้งานของผิวทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากล โดยค่าดัชนีความขรุขระสากลที่อายุใช้งานต่าง ๆ นั้นเป็นค่าคาดหวังซึ่งเกิดจากการคูณเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของสภาพผิวทาง จากความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถคาดการณ์สภาพผิวทางในอนาคต และช่วยวางแผนงานซ่อมบำรุงทางได้หลายรูปแบบ เช่น วางแผนงานแบบปีต่อปี แบบต่อเนื่องหลายปี หรือวางแผนเพื่อให้สภาพผิวทางที่ดีที่สุดตลอดเวลาที่พิจารณา เป็นต้น

Abstract

The purpose of this research is to apply the use of deterioration model of flexible pavement in low traffic volume roads using Markov chains for pavement maintenance planning of the Department of Rural Roads. In this research, the International Roughness Index was used to represent pavement condition and the models were grouped by the factors that impact the pavement damage such as average annual daily traffic, number of heavy truck, rainfall volume, and pavement types. To apply the model, it is necessary to develop the relationship between the pavement age and the International Roughness Index which is the expected value of multiplying the transition matrix. And the relationship can be

used to predict the pavement condition or applied to many purposes of pavement maintenance planning.

1. บทนำ

ในระบบบริหารงานซ่อมบำรุงรักษาทางจำเป็นต้องมีการสำรวจสภาพและปริมาณความเสียหายของทางในแต่ละเขตพื้นที่ ทุกๆ ปี แล้วรายงานข้อมูลยังส่วนกลางเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาจัดสรรงบประมาณการซ่อมบำรุงรักษา แต่เนื่องจากงบประมาณซ่อมบำรุงรักษาทางที่มีอยู่อย่างจำกัด หน่วยงานส่วนกลางจึงต้องจัดลำดับความสำคัญของทางที่จำเป็นต้องได้รับการซ่อมบำรุงรักษาก่อนหลัง ซึ่งในบางครั้งอาจมีความไม่เหมาะสมในการจัดสรรงบประมาณการซ่อมบำรุงทางในบางสายทาง และอาจทำให้ความเสียหายของสายทางลุกลามมากขึ้นจนเกินกว่าที่จะซ่อมบำรุงรักษาได้ จนถึงขั้นที่จะต้องบูรณะก่อสร้างบางสายทางใหม่ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ขั้นตอนการจัดสรรงบประมาณในการซ่อมบำรุงทางให้แต่ละพื้นที่ของกรมทางหลวงชนบท จะพิจารณาจากข้อมูลสภาพและปริมาณความเสียหายของทางที่สำรวจและประเมินสภาพทางทุกๆ ปีเป็นหลัก ดังนั้นระบบวางแผนการจัดสรรงบประมาณในแต่ละพื้นที่จะเป็นปีต่อปี และขึ้นกับข้อมูลสภาพและปริมาณความเสียหายของทางหลวงในปีนั้นๆ ทำให้ไม่สามารถพยากรณ์สภาพความเสียหายและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางได้ล่วงหน้า เพราะฉะนั้นการทำนายพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงรักษาผิวทางในระยะยาว

การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางจำเป็นต้องพิจารณาจากหลายปัจจัยเข้าด้วยกัน เช่น จำนวนข้อมูลเพียงพอ ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของทาง การเลือกรูปแบบของสมการทางสถิติและความน่าจะเป็นที่เหมาะสม วิธีตรวจสอบถูกต้องของแบบจำลอง และผลการพยากรณ์ เป็นต้น โดยแบบจำลองที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นแบบจำลองความน่าจะเป็น [1] ซึ่งเป็นวิธีการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยสถิติและทฤษฎีความน่าจะเป็น

เป็นในการเปลี่ยนสถานะของตัวแปรที่การศึกษา เหมาะกับการสร้างแบบจำลองที่มีข้อมูลน้อยกว่า 2 วิธีแรก เช่น แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ เป็นต้น

ในปัจจุบัน แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำของสายทางหลวงในประเทศไทย ได้พัฒนาขึ้นจากข้อมูลสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท โดยใช้วิธีลูกโซ่มาร์คอฟ [2] แต่ยังไม่มีการศึกษาแนวทางการนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ในการบริหารงานบำรุงทาง รวมถึงปรับปรุงให้เหมาะสมกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ของหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงข่ายสายทางต่างๆ ดังกล่าว และเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ต้องดูแลรักษาถนนลาดยางที่มีปริมาณการจราจรต่ำซึ่งมีเป็นจำนวนมากในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

2. แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ

แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ เป็นวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรที่สนใจในปัจจุบันเพื่อพยากรณ์พฤติกรรมของตัวแปรนั้นในอนาคต โดยอาศัยข้อมูลในปัจจุบันเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นและมีความต่อเนื่องกัน แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟถูกพัฒนาขึ้นโดยนักคณิตศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ Andrei A. Markov เพื่ออธิบายและพยากรณ์พฤติกรรมของก๊าซในถึงปิดต่อมาได้มีผู้นำแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟมาประยุกต์ใช้การอธิบายปัญหาต่างๆ เช่น เศรษฐศาสตร์ ประชากรศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ เป็นต้น สำหรับการศึกษาในด้านวิศวกรรมทางการได้ประยุกต์ใช้ในระบบบริหารการซ่อมบำรุงทาง ระบบบริหารการซ่อมบำรุงสะพาน และการวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมของทางต่างๆ โดยแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ มีสมมุติฐานที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสถานะ จากสถานะหนึ่งเป็นสถานะอื่นๆ ในช่วงเวลาหนึ่งและในระยะยาว

2) แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ สามารถแจกแจงสถานะ (State) ที่กำลังศึกษาได้

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

4) ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ จะมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลา ยกเว้นจะมีปัจจัยอื่นมากระทบทำให้ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะเปลี่ยนแปลง

ให้ X_n เป็นกระบวนการสุ่ม จะกล่าวว่า X_n มีคุณสมบัติของมาร์คอฟ ตามสมการที่ (1)

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

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

เนื่องจากข้อมูลสภาพผิวทางที่สำรวจและเก็บรวบรวมของกรมทางหลวงชนบทมีได้ต่อเนื่องกันทุกปี จึงเป็นข้อดีของแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่ใช้ข้อมูลค่าสภาพผิวทางปัจจุบันเท่านั้นในการพิจารณาซึ่งทำให้ง่ายต่อการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟจะใช้ข้อมูลค่าสภาพผิวทางในช่วงระยะเวลา 2 ปีที่ต่อเนื่องกัน เพื่อหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของแบบจำลอง โดยมีสมมุติฐานว่าเป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Markov Chain) คือเป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่มีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่จะพิจารณา

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางเพื่อการวางแผนงานบำรุงทางสำหรับกรมทางหลวงชนบท ดังนั้นจึงศึกษาเฉพาะถนนที่มีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีน้อยกว่า 1,000 คัน โดยการประเมินสภาพผิวทางลาดยางจะใช้ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) [3] เป็นค่าสภาพผิวทางหรือตัวแทนสภาพการให้บริการของสายทาง

ขั้นตอนในการวิจัยนี้เริ่มจากการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทาง ซึ่งได้แบ่งแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางตามพื้นที่ออกเป็น 4 ภูมิภาค คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ หลังจากนั้นจึงสร้างสมการการเสื่อมสภาพของผิวทางซึ่งได้จากค่าคาดหวังของการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งจากขั้นตอนนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางภายหลังการซ่อมบำรุงตามวิธีที่กำหนดได้

4. การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทาง

4.1 การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทาง

ขั้นตอนในการประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้เริ่มจากการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางโดยรวบรวมข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อายุสายทางและสถานที่ตั้งของสายทาง ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ได้แก่ (1) เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ (Transition Matrix) เป็นจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจากสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่งในช่วงระยะเวลาที่

กำหนด (2) ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability) เป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่งในระยะเวลาที่กำหนด (3) เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability Matrix) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะสภาพของผิวที่นำมาวิเคราะห์ (4) เวกเตอร์สถานะสภาพ (Condition State Vector, CSV) เป็นเวกเตอร์ที่แสดงสถานะสภาพของผิวทางต่างๆ มีขนาดเท่ากับ $1 \times n$ เมทริกซ์ โดยที่ n คือ จำนวนสถานะสภาพของผิวทาง เช่น $[1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \dots 11]$ เมื่อ n เท่ากับ 11 เป็นต้น ซึ่งสถานะสภาพของผิวทางดังกล่าวใช้แทนช่วงของค่าดัชนีความขรุขระสากลที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 11 สถานะ เช่น สถานะสภาพเท่ากับ 3 แสดงว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากลมีค่าอยู่ระหว่างตั้งแต่ 2.51 ถึง 3.00 เมตรต่อกิโลเมตร เป็นต้น (5) เวกเตอร์สถานะเริ่มต้น (Initial State Vector, ISV) เป็นเวกเตอร์ที่แสดงสถานะสภาพของผิวทางที่ระยะเวลาเริ่มต้น มีขนาดเท่ากับ $1 \times n$ เมทริกซ์ โดยที่ n คือ จำนวนสถานะสภาพของผิวทาง เช่น $[1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ เมื่อ n เท่ากับ 11 แสดงว่าเมื่อก่อสร้างผิวทางเสร็จสภาพผิวทางอยู่ในสถานะสภาพที่ 1 ซึ่งมีค่าดัชนีความขรุขระสากลน้อยกว่า 2.00 เมตรต่อกิโลเมตร เป็นต้น (6) เวกเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State Vector at Time t, PCSV) เป็นเวกเตอร์ที่แสดงความน่าจะเป็นของสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ โดยผลรวมของแถวในเวกเตอร์จะเท่ากับ 1 เสมอ และ (7) สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State, PCS) เป็นค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ ซึ่งเป็นค่าคาดหวัง (Expected Value) ของการเปลี่ยนสถานะของสภาพผิวทาง

จากองค์ประกอบทั้งหมดที่กล่าวไว้ข้างต้น การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) จัดกลุ่มข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของผิวทางในลักษณะต่างๆ (2) กำหนดเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะและหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ (3) คำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (4) คำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (5) คำนวณค่าสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาต่างๆ และ (6) คำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลที่เวลาต่างๆ

รูปที่ 1 แสดงจำนวนข้อมูลตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนสถานะของผิวทางจากปีปัจจุบันไปยังปีถัดไป เช่น ข้อมูลในแถวที่ 2 สดมภ์ที่ 3 หมายความว่า มี 7 ช่วงสายทางที่ผิวทางเปลี่ยนสถานะจากค่า IRI ระหว่าง 2.00 – 2.50 ไปเป็นระหว่าง 2.51 – 3.00 เป็นต้น และเมื่อคำนวณความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะดังกล่าวในแต่ละแถว จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2 โดยตัวอย่างค่าคาดหวังของการเปลี่ยนสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาต่างๆ และแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การกำหนดช่วงของการเปลี่ยนสถานะของผิวทาง

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

0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	8	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	17	40	6	5	2	0	0	0	0	0
0	0	0	37	48	10	2	2	2	0	0	0
0	0	0	0	22	37	10	3	5	0	0	0
0	0	0	0	0	14	19	10	1	4	3	3
0	0	0	0	0	0	9	10	4	2	4	4
0	0	0	0	0	0	0	3	6	3	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8

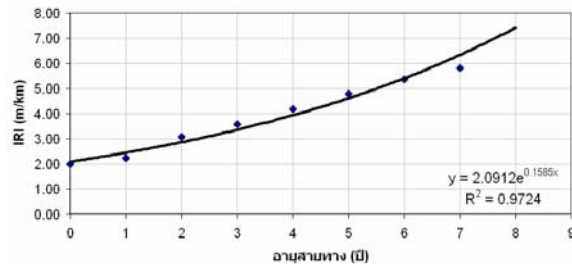
รูปที่ 1 ตัวอย่างเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของสายทางในภาคกลาง

0.000	0.600	0.200	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.381	0.333	0.238	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.243	0.571	0.086	0.071	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.366	0.475	0.099	0.020	0.020	0.020	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.286	0.481	0.130	0.039	0.065	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.275	0.373	0.196	0.020	0.078	0.059	0.059
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.310	0.345	0.138	0.069	0.138	0.138
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.214	0.429	0.214	0.143	0.143
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.182	0.727	0.727
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	0.667
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000

รูปที่ 2 ตัวอย่างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของสายทางในภาคกลาง

ตารางที่ 2 ค่าคาดหวังของการเปลี่ยนสถานะและค่าดัชนีความขรุขระสากล ณ ปีต่างๆ ของสายทางในภาคกลาง

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7
สถานะ	1.000	2.249	3.568	4.584	5.672	6.796	7.873	8.812
IRI (m/km)	2.00	2.25	3.07	3.58	4.17	4.80	5.37	5.81



รูปที่ 3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางของสายทางในภาคกลาง

4.2 การสร้างสมการการเสื่อมสภาพของผิวทาง

การสร้างสมการการเสื่อมสภาพของผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อยกว่า 1,000 คันต่อวันตลอดปี สามารถทำได้โดยการนำค่าดัชนีความขรุขระสากลซึ่งวิเคราะห์ได้จากค่าคาดหวังของการเปลี่ยนสถานะของสภาพผิวทาง และทำการสร้างสมการด้วยแบบจำลอง Exponential Regression โดยตัวอย่างของสมการที่พัฒนาจากข้อมูลในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางที่มีปริมาณการจราจรต่ำในภาคกลาง มีดังนี้

$$IRI = 2.0912e^{0.1585AGE} \quad (2)$$

IRI = ค่าดัชนีความขรุขระสากล ณ ปีที่พิจารณา (เมตรต่อกิโลเมตร)

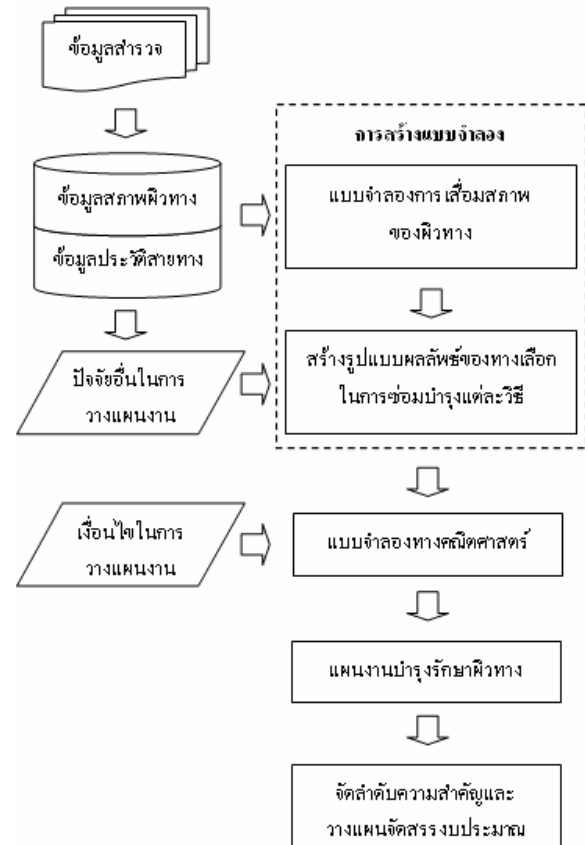
AGE = อายุให้บริการของสายทาง (ปี)

4.3 วิธีกรใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางช่วย

ในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในปัจจุบันจะเป็นรูปแบบการวางแผนงานระดับโครงข่ายสายทาง โดยปัญหาในการวางแผนบำรุงรักษาทางส่วนใหญ่จะเป็นในลักษณะของปัญหาที่มีข้อจำกัด ซึ่งมีการพิจารณาข้อจำกัดในการหาค่าผลประโยชน์สูงสุด (Maximum Benefit) หรือหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด (Minimum Cost) ซึ่งการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะอาศัยข้อมูลของสภาพผิวทางจากแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง วิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแต่ละประเภทมาใช้เป็นตัวแปร ซึ่งปัญหาการหา Optimization เป็นการแก้ปัญหาค้นหาวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดย

อาจเป็นค่าน้อยที่สุดหรือค่ามากที่สุดของตัวแปรที่เป็นเป้าหมาย จากปัญหาที่อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และสอดคล้องกับเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่กำหนดไว้ ซึ่งรูปแบบการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในระดับโครงข่ายแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างขั้นตอนการบริหารงานซ่อมบำรุงทาง

การนำแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางนั้น สามารถประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สภาพผิวทางเมื่อได้รับการบำรุงรักษาด้วยวิธีการตามทางเลือกของแผนงาน หรือเป็นการพิจารณาทางด้านวิศวกรรม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง (Model Constructing) เพื่อจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป

5. การนำแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางเพื่อช่วยในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางลาดยาง

การใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางเพื่อช่วยในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในงานวิจัยนี้อ้างอิงข้อมูลสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำของกรมทางหลวงชนบท โดยตัวอย่างสายทางที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลของตัวอย่างสายทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

รหัสสายทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	PCU (คันต่อวันต่อปี)	อายุใช้งาน (ปี)	IRI (เมตรต่อกิโลเมตร)
XX3007	1	665.8	2	2.99

สมมติให้นโยบายการซ่อมบำรุงมี 2 ทางเลือก โดยกำหนดให้วิธีการซ่อมบำรุง 1 เป็นการไม่ซ่อมบำรุง (Do Nothing) และวิธีการซ่อมบำรุง 2 เป็นการซ่อมบำรุงที่ทำให้อายุสายทางมีสภาพเสมือนสร้างเสร็จใหม่ กล่าวคือมีอายุใช้งานเท่ากับศูนย์ จากข้อมูลในตารางที่ 3 และนโยบายการบำรุงรักษาผิวทางที่กำหนด เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์สภาพผิวทางด้วยสมการ (2) ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์สภาพผิวทางของตัวอย่างสายทาง

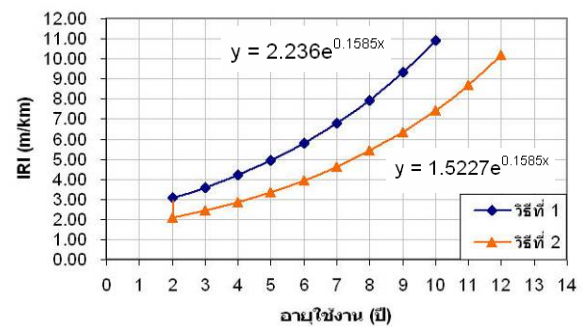
ปีที่ใช้งาน	ค่าดัชนีความขรุขระสากลภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี (เมตรต่อกิโลเมตร)	
	วิธีการซ่อมบำรุง 1	วิธีการซ่อมบำรุง 2
1	-	-
2	2.99	2.09
3	3.50	2.45
4	4.11	2.87
5	4.81	3.36
6	5.64	3.94
7	6.60	4.62
8	7.74	5.41
9	9.07	6.34
10	10.63	7.43

จากผลลัพธ์ของการวิเคราะห์สภาพผิวทางภายหลังจากที่ได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการต่างๆ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการเขียนเส้นความสัมพันธ์การเสื่อมสภาพของผิวทางได้ดังรูปที่ 5

ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่วิเคราะห์ได้จากขั้นตอนการสร้างแบบจำลองนี้ สามารถนำไปใช้ป้อนค่าประกอบในการคำนวณค่าผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ หรือเป็นส่วนหนึ่งในการให้คะแนนความสำคัญของสายทางเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้

6. สรุป

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำที่พัฒนาขึ้นโดยวิธีการลูกโซ่



รูปที่ 5 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางของตัวอย่างสายทางภายหลังจากได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีต่างๆ

มาร์คอฟในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางนี้มีขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองดังกล่าวด้วยวิธีการลูกโซ่มาร์คอฟ ซึ่งเหมาะสำหรับข้อมูลที่ต่อเนื่องแต่มีรูปแบบของชุดข้อมูลคงที่ และมีจำนวนข้อมูลไม่มาก โดยแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 4 แบบจำลอง ตามภูมิภาคของประเทศไทย

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางนี้ จะใช้ในการทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังจากสายทางได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการที่กำหนด ซึ่งเป็นขั้นตอนการสร้างแบบจำลองหรือสร้างผลลัพธ์จากทางเลือกในการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี โดยอาจนำไปใช้ในการคำนวณค่าผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์หรือใช้ร่วมกับปัจจัยด้านอื่นๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางต่อไป โดยจากผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการสร้างแบบจำลองนี้จะนำไปใช้เป็นทางเลือกในการวิเคราะห์แผนงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป ซึ่งอาจประยุกต์ใช้กับการวางแผนงานในลักษณะของปีต่อปีหรือต่อเนื่องหลายปี รวมถึงการวางแผนเพื่อให้สภาพผิวทางของโครงข่ายที่สอดคล้องอายุใช้งานของสายทางได้

7. ข้อเสนอแนะ

ระบบบริหารโครงข่ายสายทางโดยทั่วไปจะมีการแบ่งส่วนการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางออกเป็นแบบจำลองย่อย โดยประกอบด้วยส่วนของการสร้างแบบจำลอง และส่วนการวิเคราะห์แผนงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการวิเคราะห์แผนงานในการรักษาผิวทางลาดยางรูปแบบนี้มีความยืดหยุ่นในการปรับปรุงแบบจำลองย่อย หรือประยุกต์ใช้ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนงานบำรุงทางแบบต่อเนื่องหลายปี โดยในส่วนของการนำแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนงานนี้ อาจปรับเปลี่ยนตามรูปแบบของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่ได้พัฒนาขึ้นหรือปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต แต่หลักการนำไปใช้เพื่อช่วยในการวางแผน

งานนั้นยังคงเหมือนเดิม นอกจากนี้ในอนาคตควรมีการศึกษารูปแบบการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธี เพื่อให้ได้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้แผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่วิเคราะห์ได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Butt, A.A., Shahin, M.Y, Feighan K.J. and Carpenter, S.H., "Pavement Performance Prediction Model Using the Markov Process", Transportation Research Record, No.1123, 1987, pp 12-19.

[2] วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร และวิศณุ ทรัพย์สมพล "การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ" หนังสือรวมบทความทางวิชาการ (Proceeding) ในการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10 จัดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2-4 พฤษภาคม 2548

[3] Paterson, William D.O. "Road Deterioration and Maintenance Effects Models for Planning and Management", The Johns Hopkins University Press Baltimore and London, 1987.