บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัยและการพัฒนาแบบจำลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแนวทางในการดำเนินการวิจัย การพิจารณาข้อกำหนดและลักษณะของปัญหาในการพัฒนาแบบจำลอง วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและข้อมูลที่ต้องการใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง วิธีในการพัฒนาแบบจำลอง และการนำแบบจำลองไปใช้เพื่อช่วยในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

3.1 แนวทางการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1.1 การศึกษาในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาเพื่อวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ได้แก่ วิธีการวางแผนงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทาง การพิจารณาค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทาง การพิจารณาค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง และปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

3.1.2 การศึกษาเกี่ยวกับข้อกำหนดและลักษณะของปัญหาในการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ซึ่งดำเนินการโดยการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงาน และศึกษาจากเอกสารต่างๆ หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง โดยกำหนดแนวทางการศึกษาและรวบรวมข้อมูลดังนี้

1. สัมภาษณ์บุคลากรของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีการวางแผนงานในปัจจุบัน วิธีการเก็บสำรวจข้อมูลภาคสนาม ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับสภาพผิวทางที่มีอยู่ในปัจจุบัน และรูปแบบการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพผิวทางในอนาคต เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบและข้อจำกัดของวิธีการวางแผนงาน ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานได้

2. ศึกษาข้อมูลที่เก็บสำรวจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดและความเพียงพอของข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ

3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาเกี่ยวกับข้อกำหนดและลักษณะของปัญหาในการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ค่าองค์ประกอบต่างๆ ของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อจำกัดของแบบจำลอง และรูปแบบของแบบจำลองที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ

3.1.4 การศึกษาเพื่อวางแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ซึ่งมีรายละเอียดในการพัฒนาแบบจำลองดังนี้

1. ศึกษาและวิเคราะห์ภาพรวมในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทาง ความสัมพันธ์ของปัจจัยและค่าองค์ประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการวางแผนงาน ผลจากการศึกษาที่ได้จะใช้ในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางดังกล่าว

2. ศึกษารูปแบบและวิธีการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อให้มีรูปแบบที่สอดคล้องกับลักษณะพฤติกรรมของสภาพผิวทางและการนำไปใช้กับโครงข่ายสายทางในประเทศไทย และพิจารณาถึงข้อจำกัดของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

3. วิเคราะห์รูปแบบและลักษณะของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทาง และพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังสายทางได้รับการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง

4. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ต่างๆ มาใช้ในการพิจารณาและกำหนดรูปแบบของกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่งกระบวนการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวต้องมีความสอดคล้องกับลักษณะของปัญหาในการวางแผนงานในทางปฏิบัติ

5. พัฒนาแบบจำลองการวางแผนการบำรุงรักษาทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำตามรูปแบบและวิธีการที่ได้กำหนดไว้ข้างต้นโดยใช้ข้อมูลของสายทางที่มีลักษณะสอดคล้องกับขอบเขตของการวิจัยที่ได้กำหนดไว้ และอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณ และประมวลผล

3.1.5 การทดสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น มีแนวทางดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์และเลือกข้อมูลจากสายทางต่างๆเพื่อใช้ในการทดสอบแบบจำลอง โดยสายทางที่นำมาใช้ในการทดสอบต้องเป็นสายทางที่มีข้อมูลจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ มีการเก็บสำรวจข้อมูลที่ถูกต้อง และมีลักษณะที่สอดคล้องกับขอบเขตของการวิจัยที่ได้กำหนดไว้

2. ทำการทดสอบความถูกต้องของแผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากรูปแบบการวางแผนงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

3. ทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มสายทางที่คัดเลือกไว้ ซึ่งมีข้อมูลที่มีสภาพหรือค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ คล้ายคลึงกัน

4. ปรับปรุงแบบจำลองการวางแผนบำรุงรักษาผิวทาง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองตามวิธีที่ได้กำหนดไว้

3.1.6 ขั้นตอนสรุปผลและนำเสนองานวิจัย ซึ่งเป็นการจัดทำรายงานเพื่อนำเสนอผลสรุปจากการวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล การพัฒนาและการประยุกต์ใช้งานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้และงานวิจัยในอนาคต

3.2 การพิจารณาข้อกำหนดในการพัฒนาแบบจำลอง

ในการวิเคราะห์เพื่อเลือกแผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่เหมาะสมนั้นต้องมีการกำหนดวิธีการที่ใช้ในการวัดผลเพื่อเปรียบเทียบแผนงานในแต่ละโครงการ ดังนั้นการพิจารณาเกณฑ์หรือข้อกำหนดที่ใช้ในแบบจำลองจึงมีความสำคัญในการกำหนดแนวทางเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

3.2.1 วิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน

วิธีการบำรุงรักษาผิวทางที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงจากวิธีการบำรุงรักษาผิวทางลาดยางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท และเป็นวิธีที่ใช้ในการซ่อมบำรุงที่ระดับความเสียหายสามารถแสดงผลได้โดยค่าดัชนีความขรุขระสากล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. งานซ่อมบำรุงปกติ (Routine Maintenance) เป็นงานบำรุงรักษาผิวทางที่ทำเป็นประจำตลอดทั้งปี

2. งานฉาบผิวทาง (Seal Coating) เป็นการฉาบผิวทางเดิมที่แตกหรือหลุดร่อน โดยการลาดยางแล้วปิดทับด้วยมวลรวม เพื่ออุดรอยแตกหรือปรับปรุงผิวทางที่สึกหรอ

3. งานเสริมผิวทาง (Overlay) เป็นการเสริมผิวทางแอสฟัลต์เพื่ออุดรอยแตก และเสริมความแข็งแรงของผิวทาง

4. งานบูรณะผิวทาง (Rehabilitation) เป็นการขุดรื้อผิวทางที่เสียหายออก แล้วทำการเสริมโครงสร้างผิวทางใหม่ด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงเท่าเดิม

3.2.2 นโยบายการบำรุงรักษาผิวทาง

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

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

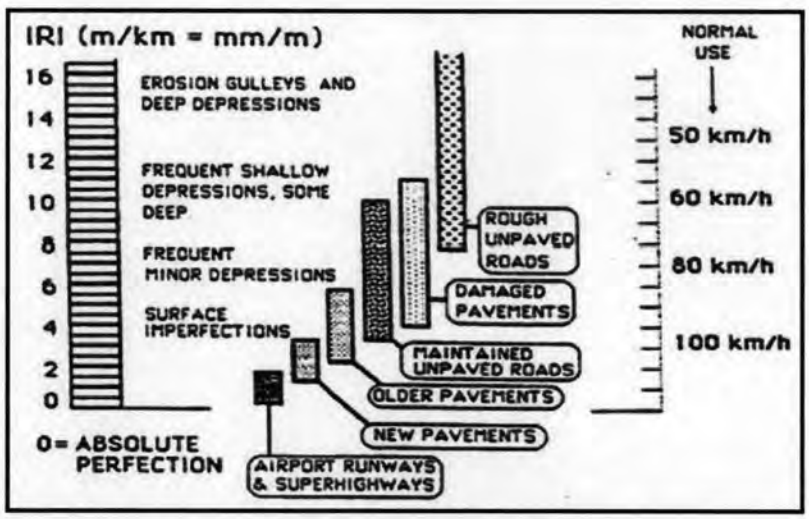
2. กรณีที่สายทางมีอายุใช้งานมากกว่า 7 ปี กำหนดให้ทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวทาง หรือซ่อมบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

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

3.2.3 การพิจารณาค่าที่ใช้ในการประเมินสภาพผิวทาง

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

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



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลกับสภาพทาง (Paterson,1987)

สภาพผิวทางที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานนั้นมีสมมติฐานว่าเป็นค่าสภาพผิวทางที่สิ้นปีในการพิจารณาเลือกวิธีการซ่อมบำรุง

3.2.4 การพิจารณาค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (Agency Cost) เท่านั้น ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามนโยบายของหน่วยงานที่รับผิดชอบ หรือวิธีการคำนวณค่าจ่ายดังกล่าว ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ภายหลัง โดยการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงตัวอย่างโครงข่ายสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท ดังนั้นจึงอ้างอิงค่าใช้จ่ายต่อหน่วยงานซ่อมบำรุงทางของหน่วยงานดังกล่าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วย

3.2.5 การพิจารณาค่าสภาพผิวทางที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน

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

3.2.6 การพิจารณาระยะเวลาในการวางแผนงาน

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

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ข้อมูลสภาพผิวทาง ข้อมูลประวัติของผิวทาง ข้อมูลปริมาณการจราจร และข้อมูลค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ข้อมูลสภาพผิวทาง

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

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

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

3.3.2 ข้อมูลประวัติของผิวทาง

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

123144117

3.3.3 ข้อมูลปริมาณการจราจร

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

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนลาดยางที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ดังนั้นสายทางที่นำมาใช้ในการพัฒนาหรือทดสอบแบบจำลองนั้นจะเป็นสายทางลาดยางที่มีปริมาณจราจรต่ำหรือมีปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีต่ำกว่า 1,000 คัน หรือกล่าวได้ว่าค่าใช้จ่ายของหน่วยการบำรุงรักษายังมีสัดส่วนที่สำคัญเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง

3.3.4 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทาง

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทางเพื่อการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากค่าซ่อมบำรุงต่อหน่วยของสำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท ซึ่งใช้ในการขออนุมัติงบประมาณจากสำนักวางแผน กรมทางหลวงชนบท โดยมีรายละเอียดของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อกิโลเมตรจำแนกตามประเภทของกิจกรรมซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายต่อความกว้างผิวทาง 9 เมตร ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงชนบท

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

ข้อมูล ณ วันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2549

ที่มา: สำนักบำรุงรักษาและอำนวยความปลอดภัยงานทาง กรมทางหลวงชนบท

3.4 การพัฒนาแบบจำลอง

แบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยต่างๆ ได้แก่ แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และแบบจำลอง Optimization โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

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

- แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังการซ่อมบำรุงปกติ ได้นำแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะและพฤติกรรมต่างๆ โดยแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟมีสมมติฐานที่สำคัญดังนี้

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

เนื่องจากข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมมีไม่ต่อเนื่องกันทุกปี จึงเป็นข้อดีของแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่ใช้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลปัจจุบันเท่านั้นในการพิจารณาซึ่งทำให้ง่ายต่อการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่พัฒนาขึ้นมาโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟจะใช้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลในช่วงระยะเวลาต่อเนื่องกันทุก 1 ปี เพื่อทำการหาเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะของแบบจำลอง โดยมีสมมติฐานว่า

เป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Markov Chain) คือเป็นแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟที่มีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณานั่นเอง

องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟนั้นมีดังต่อไปนี้

- เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ (Transition Matrix) เป็นจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจากสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะหนึ่งในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างโดยเมตริกซ์ดังต่อไปนี้

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

โดยที่ n_{ij} เป็นจำนวนของข้อมูลที่เปลี่ยนสถานะสภาพจาก i ไป j ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด

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

- เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (Transition Probability Matrix) เป็นเมทริกซ์ที่แสดงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะสภาพ ของตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ ตัวอย่างเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะมีดังนี้

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

โดยที่ P_{ij} เป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจาก i ไป j ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

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

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

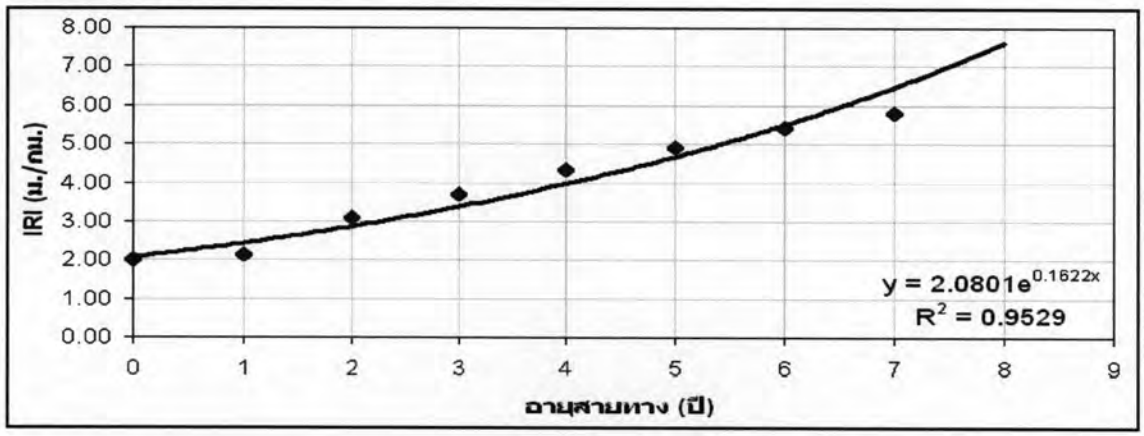
- เวคเตอร์สถานะสภาพของผิวทาง (Pavement Condition State Vector at Time t, PCSV) เป็นเวคเตอร์ที่แสดงความน่าจะเป็นของสถานะสภาพของผิวทางที่เวลาใดๆ โดยผลรวมของแถวในเวคเตอร์จะเท่ากับ 1 เสมอ

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

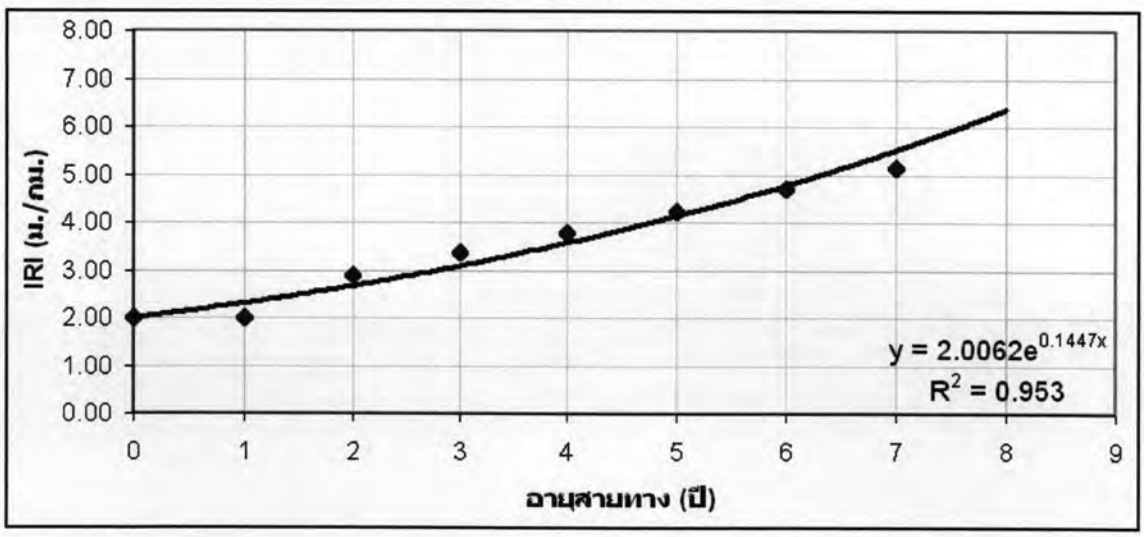
จากองค์ประกอบทั้งหมดในขั้นต้นการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

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

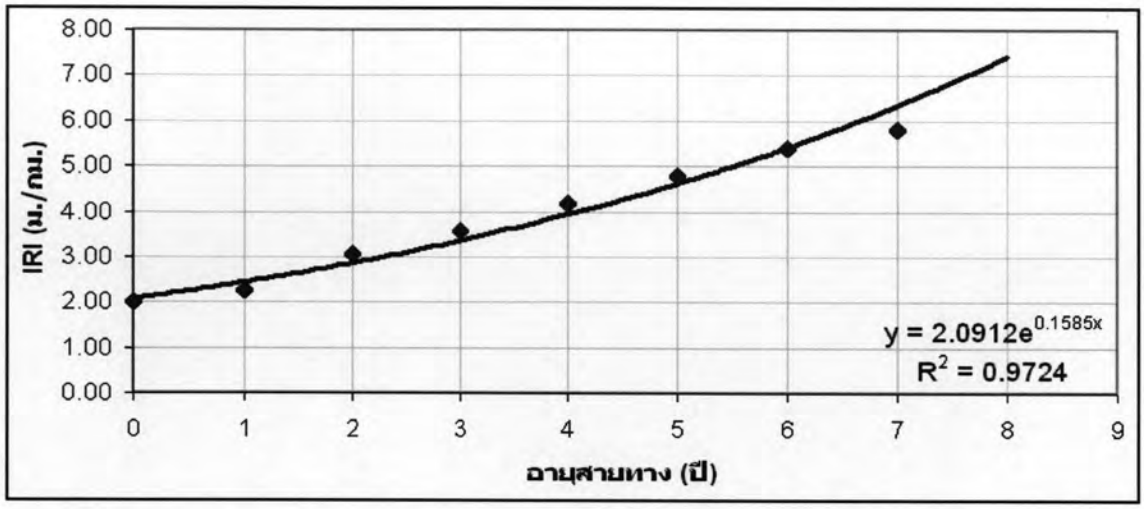
รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แบ่งแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางออกเป็นพื้นที่ตามภูมิภาค และทำการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพภายหลังการซ่อมบำรุงจากข้อมูลสภาพผิวทางที่ต่อเนื่องกันทุกปี โดยพัฒนาจากข้อมูลทั้งหมดจำนวน 1,683 ข้อมูล โดยแบ่งกลุ่มออกเป็นข้อมูลสายทางของภาคเหนือ 487 ข้อมูล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



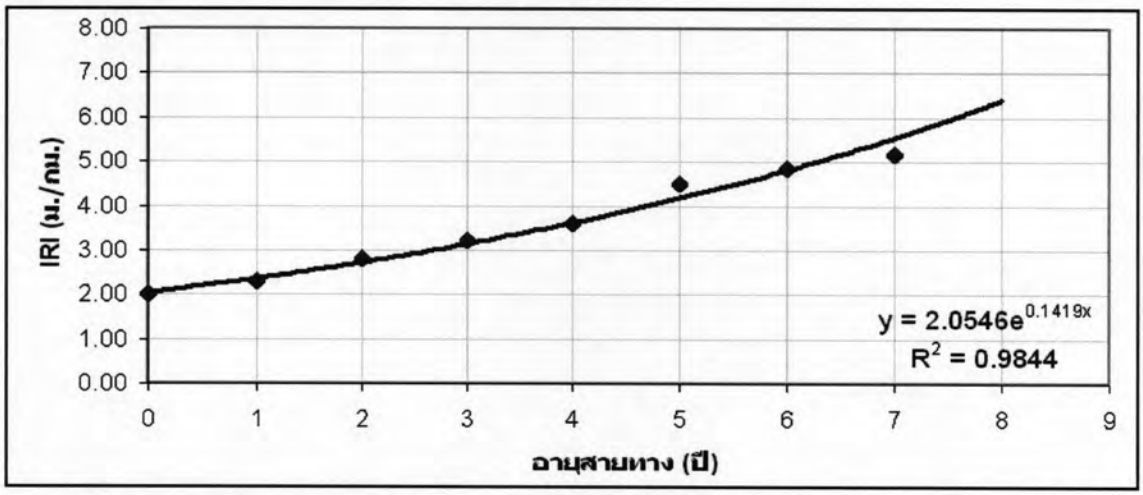
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคเหนือ



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคกลาง



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของสายทางกับค่าดัชนีความขรุขระสากลของสายทางในภาคใต้

จากรูปที่ 3.2 ถึง 3.5 สามารถสรุปได้ดังสมการที่ 3.1 ถึง 3.4

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

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

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

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

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

AGE = อายุของสายทาง (ปี)

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

$$\Delta \text{ IRI} = a + (b_1 * IRI_0) + (b_2 * \text{AVE.AADT}) + (b_3 * \%HV) \qquad (3.5)$$

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

IRI_0 = ค่าดัชนีความขรุขระสากลก่อนได้รับการซ่อมบำรุง (ม./กม.)

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

%HV = สัดส่วนรถหนัก (%)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

ตารางที่ 3.2 สัมประสิทธิ์แบบจำลองผลจากการทำฉาบผิว

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

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

3.4.2 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

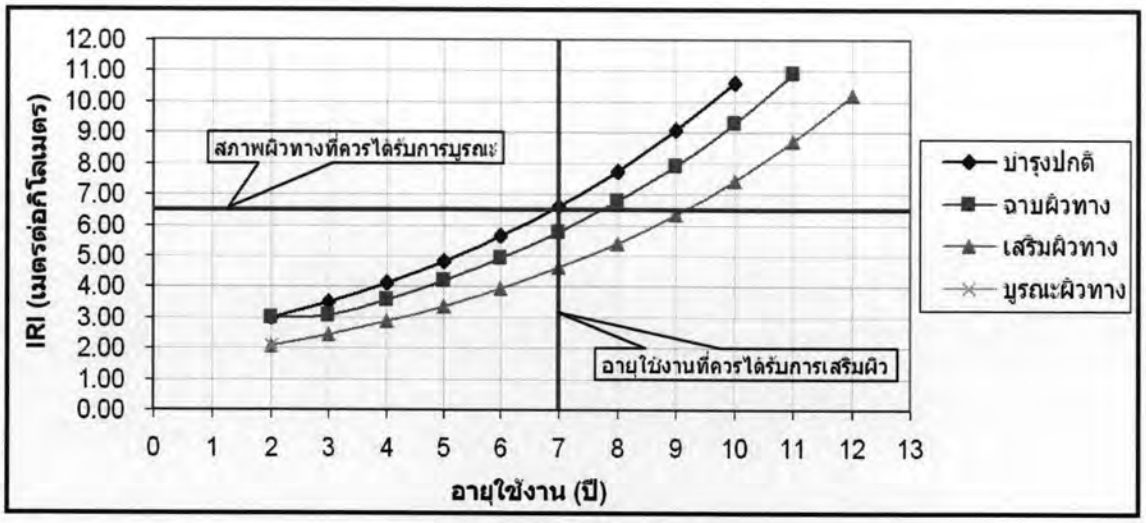
จากการศึกษาเชิงเอกสารพบว่า ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการวางแผนงานบำรุงทาง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยที่ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้นแก่ผู้ใช้ทาง (Road User Cost, RUC) นั้นประกอบด้วยค่าใช้จ่ายของยานพาหนะ (Vehicle Operating Cost, VOC) และค่าใช้จ่ายของเวลาในการเดินทาง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

3.4.3 แบบจำลอง Optimization

วิธีการทางคณิตศาสตร์โดยวิธี Optimization เป็นการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดของตัวแปรที่เป็นเป้าหมายจากปัญหาที่อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และสอดคล้องกับเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่กำหนดไว้

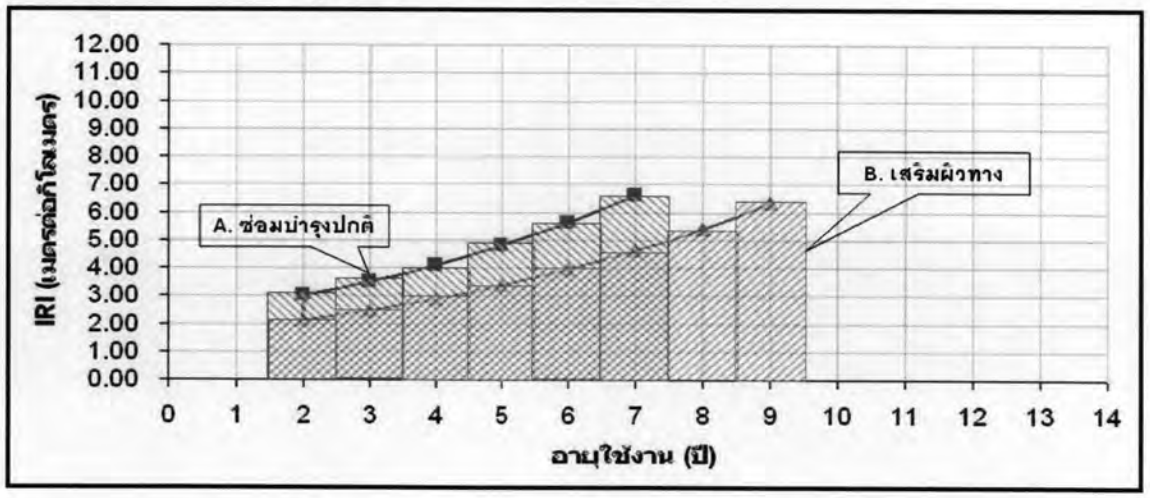
วัตถุประสงค์ในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางในระดับโครงข่าย (Network Level) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เพื่อให้สภาพผิวทางของโครงข่ายดีที่สุดตลอด 1 รอบอายุใช้งาน (Life Cycle) ของผิวทาง ดังรูปที่ 3.6 ภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณ และนโยบายการบำรุงรักษาทาง โดยการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงนั้นจะสามารถเลือกวิธีการซ่อมได้เพียงวิธีเดียวจากวิธีการซ่อมบำรุงที่มีอยู่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

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



รูปที่ 3.6 พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง

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



รูปที่ 3.7 ช่วงระยะเวลาที่พิจารณาอายุใช้งานของสายทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงปกติและการเสริมผิวทาง

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

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

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

โดยที่ $EUAC_x$ = มูลค่าเทียบเท่ารายปีของโครงการ x

NPV_x = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ x

i = อัตราผลตอบแทน (ร้อยละ)

n = จำนวนปีที่พิจารณา (ปี)

จากวัตถุประสงค์ ข้อจำกัด รวมถึงวิธีการคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีที่กล่าวไว้ข้างต้น สามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาได้ดังนี้

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

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

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

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

โดยที่ตัวแปร พารามิเตอร์ และเซตต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

<u>ตัวแปร</u>

x_{ip} ตัวแปรในการตัดสินใจว่าช่วงสายทาง i จะซ่อมบำรุงด้วยแผนงานใด

0 เมื่อไม่ซ่อมบำรุงโดยแผนงาน p

1 เมื่อซ่อมบำรุงโดยแผนงาน p

<u>พารามิเตอร์</u>

c_{ip} ค่าซ่อมบำรุงของแต่ละแผนงาน p

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

δ_{ip} เท่ากับ 0 เมื่อช่วงสายทาง i ไม่มีแผนงาน p เป็นตัวเลือกในการซ่อมบำรุง

เท่ากับ 1 เมื่อช่วงสายทาง i มีแผนงาน p เป็นตัวเลือกในการซ่อมบำรุง

B ผลรวมงบประมาณของทุกช่วงสายทางในปีที่พิจารณา

<u>เซต</u>

P เซตของแผนงานทั้งหมด

I เซตของช่วงสายทางทั้งหมด

จากสมการที่ 3.7 แสดงสมการวัตถุประสงค์คือ ผลรวมของค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีที่น้อยที่สุดตลอดอายุใช้งานของสายทาง ในส่วนของสมการข้อจำกัดบรรทัดแรกแสดงว่าผลรวมของงบประมาณที่ใช้ซ่อมบำรุงทุกช่วงสายทางต้องไม่เกินงบประมาณที่กำหนด สมการข้อจำกัดบรรทัดที่สองแสดงว่าทุกช่วงสายทางต้องได้รับการซ่อมบำรุงอย่างน้อย 1 วิธี ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการซ่อมบำรุงของหน่วยงานที่รับผิดชอบสายทาง และสมการข้อจำกัดบรรทัดสุดท้ายแสดงตัวแปรในการตัดสินใจเลือกวิธีการซ่อมบำรุง

แผนงาน p เป็นแผนงานที่เป็นไปได้ของแต่ละช่วงสายทาง ซึ่งจะมีจำนวนแผนงานที่เป็นไปได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์จะขึ้นกับขนาดของโครงข่ายสายทางที่นำมาวิเคราะห์ ดังนี้

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

3.5 การใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหา

3.5.1 ขั้นตอนการใช้แบบจำลองวิเคราะห์

การวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนกำหนดทางเลือกเพื่อการวิเคราะห์ ขั้นตอนการกำหนดค่าเพื่อการวิเคราะห์ และขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

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

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

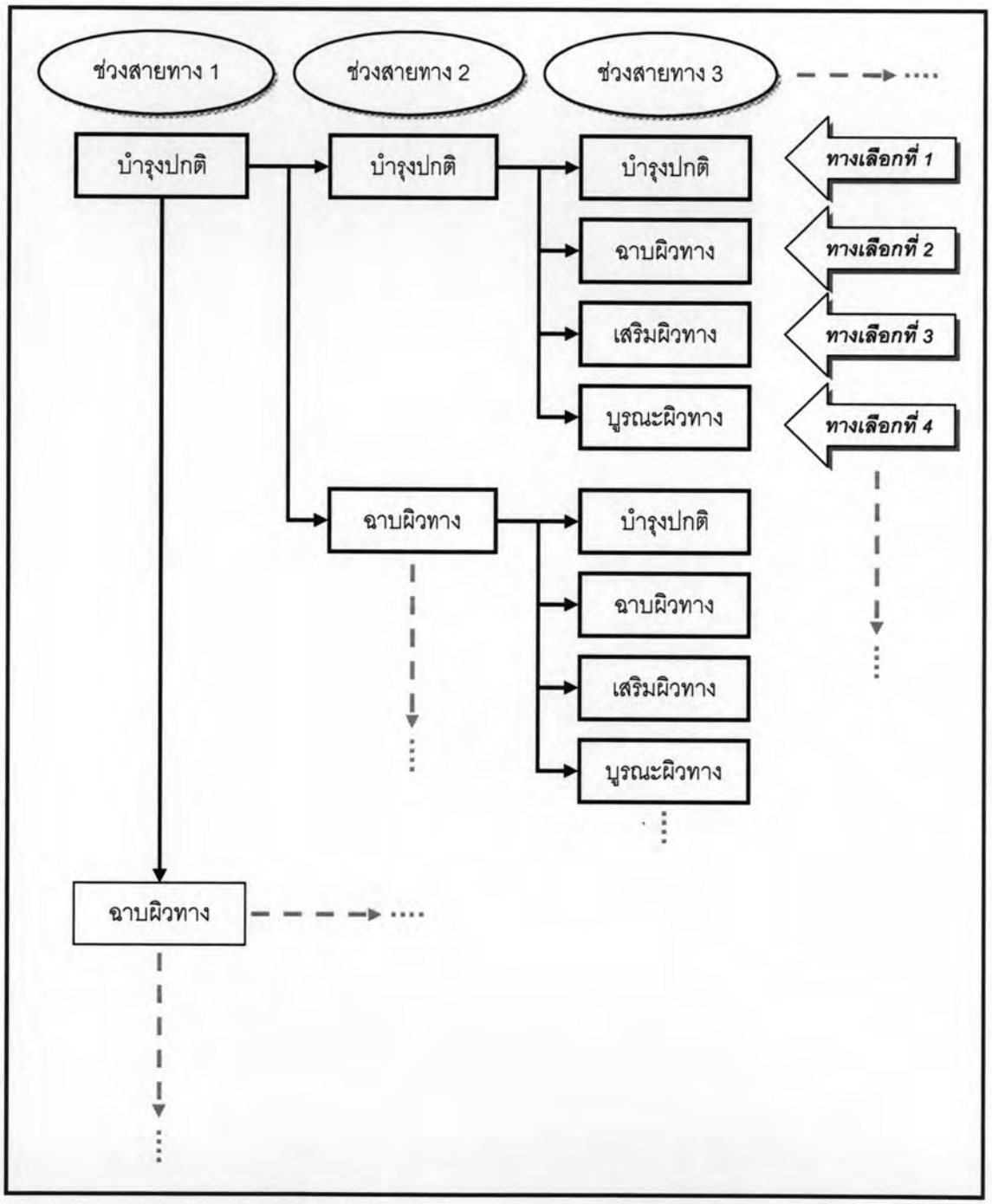
ขั้นตอนการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุง หลังจากทำการคำนวณค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปี (UIRI) ของแต่ละแผนงานครบถ้วน จึงทำการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงที่ทำให้ผลรวมของสภาพทางตลอดอายุใช้งานที่เหลือของทุกสายทางมีสภาพที่ดีที่สุด หรือมีค่ามูลค่าเทียบเท่ารายปีของดัชนีความขรุขระสากลของทุกสายทางน้อยที่สุด ภายใต้กรอบงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด

ในการวิเคราะห์ทางเลือกที่เป็นไปได้ของแผนงานบำรุงรักษาผิวทางได้ใช้หลักการ Enumeration ซึ่งเป็นการคำนวณหากรณีทั้งหมดที่เป็นไปได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาคำตอบหรือแผนงานที่คุ้มค่าที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดดังรูปที่ 3.8 โดยจำนวนทางเลือกทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการวางแผนงานมีจำนวนดังนี้

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

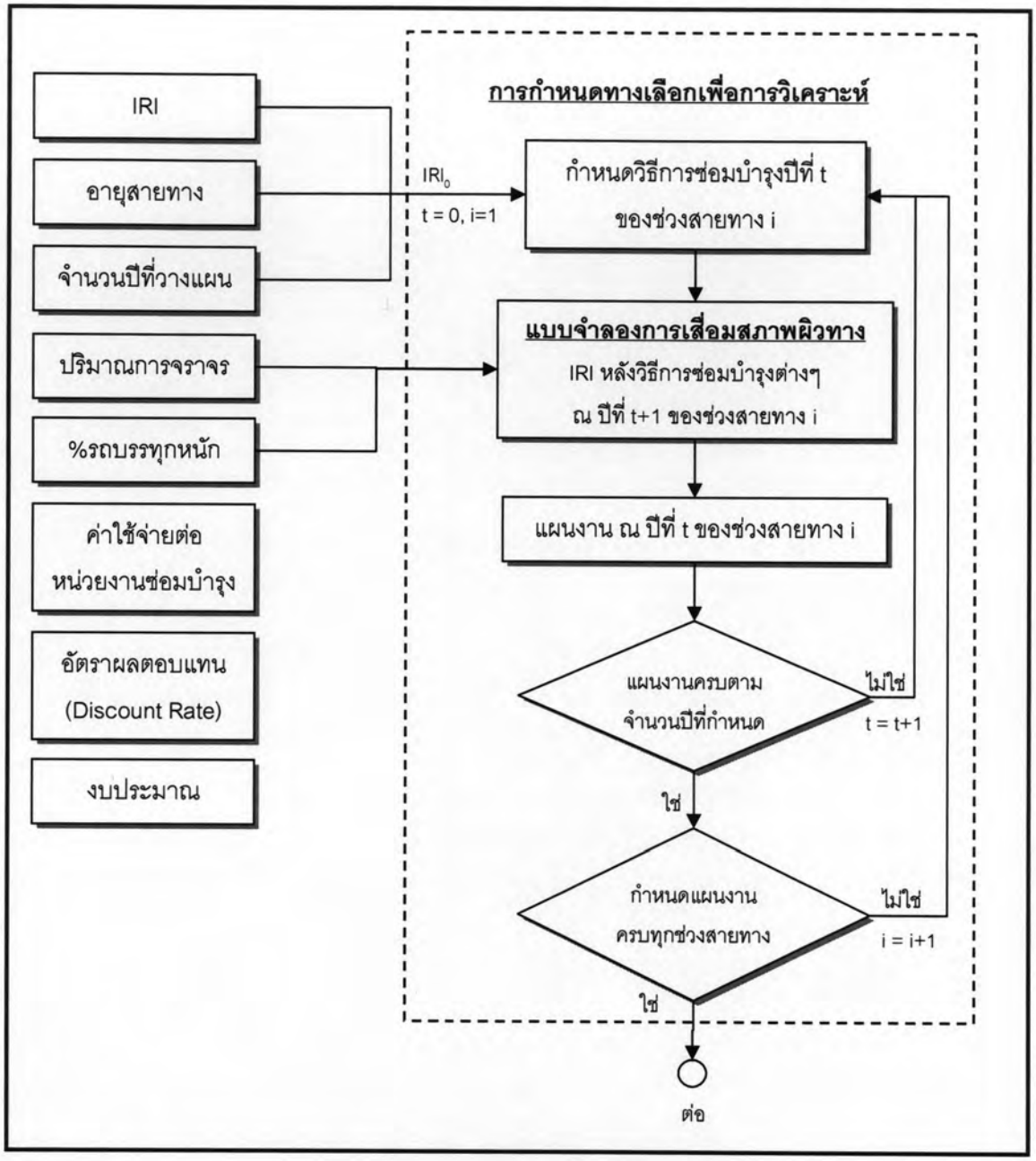
ในส่วนของอัตราผลตอบแทนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีความขรุขระสากลเทียบเท่ารายปีพิจารณาจากอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate of Return, MARR) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 12.0 ต่อปี (Rodrigo, 1999) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของธนาคารโลกในการลงทุนโครงการสาธารณูปโภคพื้นฐาน ซึ่งกำหนดว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดในการดำเนินการโครงการสาธารณูปโภคต้องไม่ต่ำกว่าผลรวมของอัตราผลตอบแท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

ร้อยละ 9.5 และอัตราเงินเฟ้อ (Inflation Rate) ร้อยละ 2.5 ซึ่งทั่วไปแล้วอัตราผลตอบแทนต่ำสุดดังกล่าวนั้น จะกำหนดโดยนโยบายของภาครัฐหรืออ้างอิงกับอัตราเงินกู้เพื่อการลงทุน

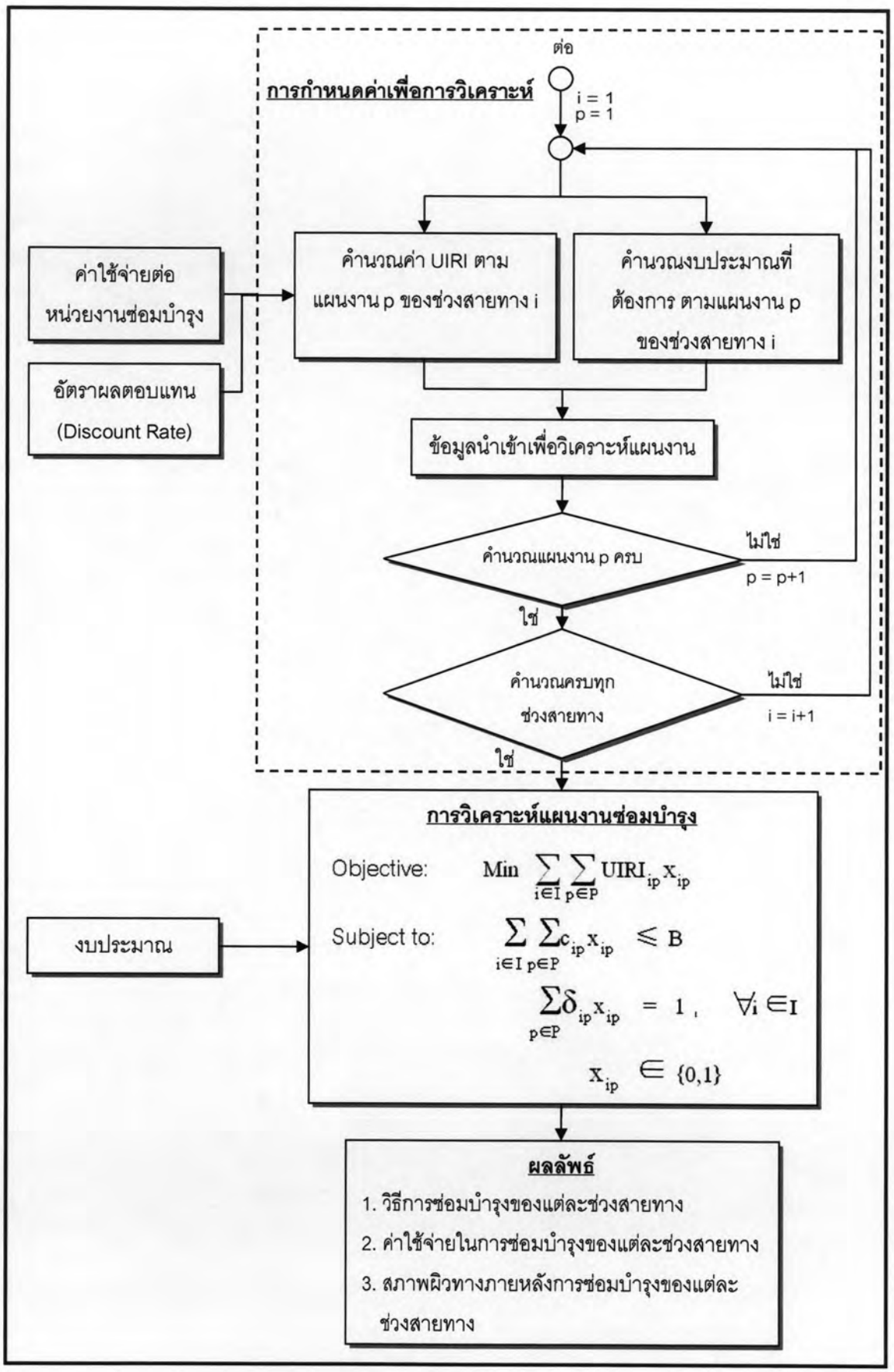


รูปที่ 3.8 รูปแบบของทางเลือกในการวางแผนงาน

ในส่วนของขั้นตอนการวิเคราะห์ของแบบจำลองการวางแผนงานบำรุงรักษาทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำนั้น สามารถสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 3.9 ในส่วนของตัวอย่างการคำนวณจะกล่าวถึงในบทต่อไป



รูปที่ 3.9 ลักษณะการวิเคราะห์ของแบบจำลอง



รูปที่ 3.9 ลักษณะการวิเคราะห์ของแบบจำลอง (ต่อ)

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

3.5.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

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

3.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้เป็นขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลอง และการกำหนดวิธีการในการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทางในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ โดยวัตถุประสงค์ที่ทำให้สภาพผิวทางของโครงข่ายสายทางมีสภาพดีที่สุดตลอดอายุใช้งานของแต่ละช่วงสายทาง และไม่เกินงบประมาณที่กำหนด

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

สำหรับข้อดีของการวางแผนงานในรูปแบบนี้เมื่อเทียบกับรูปแบบการพิจารณาแผนงานบำรุงทางในปัจจุบัน คือ

- เป็นการพิจารณาแผนงานซ่อมบำรุงทางในถนนที่มีปริมาณต่ำซึ่งผลกระทบจากค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางมีไม่สูงนัก ซึ่งทำให้วัตถุประสงค์ของการวางแผนงานบำรุงรักษาเป็นในลักษณะของการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงที่ทำให้สายทางมีสภาพดีที่สุด และใช้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่า

- ใช้วิธีการมูลค่าเทียบเท่ารายปีเพื่อลดความแตกต่างทางด้านอายุคงเหลือของสายทางในการพิจารณาโครงการซ่อมบำรุง

- สามารถพิจารณาโครงการทั้งในกรณีที่จำกัดงบประมาณ และไม่จำกัดงบประมาณได้ โดยการวิเคราะห์ในกรณีที่ไม่จำกัดงบประมาณสามารถใช้วิธีการให้งบประมาณที่จำกัดมีค่ามากๆ เสมือนงบประมาณมีไม่จำกัดได้

- สามารถวางแผนงานบำรุงรักษาทางปีเดียว หรือต่อเนื่องหลายปีได้

- สามารถนำหลักการพิจารณาตลอดอายุใช้งานไปประยุกต์ใช้กับสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูง โดยอาจพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางได้