พระมหากษัตริย์ ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวางแผนงานเกี่ยวกับการบำรุงรักษาระบบทางหลวงที่ดีนั้นต้องทราบเกี่ยวกับสภาพของสายทาง ลักษณะการเสื่อมสภาพและการบำรุงรักษาสายทางในปัจจุบัน และอาศัยแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางในอนาคตที่มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ ในการทำนายความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละสายทาง เพื่อนำไปใช้ในประกอบการพิจารณาในการพัฒนาแบบจำลองในการวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางที่เหมาะสมต่อไป โดยในบทนี้ได้อธิบายถึงพฤติกรรมและลักษณะความเสียหายของผิวทาง ลักษณะของการซ่อมบำรุงรักษาสายทางในปัจจุบัน แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางที่เหมาะสมกับถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ และการศึกษาค้นคว้าทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาทาง

2.1 การบำรุงรักษาสายทางในปัจจุบัน

ถนนทุกประเภทเมื่อทำการก่อสร้างเสร็จและเปิดการจราจรไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง ความชำรุดเสียหายจะเกิดตามมา ซึ่งจะต้องรีบดำเนินการซ่อมทันทีเมื่อตรวจพบเพื่อป้องกันไม่ให้ความเสียหายลุกลามแผ่วงกว้างออกไป ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาเชิงเอกสารของการบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท รวมถึงวิธีการในการซ่อมบำรุงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.1.1 การบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท

ในปัจจุบัน การบำรุงทางหลวงที่มีผิวทางลาดยางของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบทได้จำแนกวิธีการซ่อมบำรุงตามลักษณะความเสียหายของผิวทางที่เกิดขึ้น และวิธีการซ่อมบำรุงเหล่านี้จะนำไปสู่การคำนวณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงผิวทางที่จะเกิดขึ้น

งานด้านการบำรุงทางหลวงที่มีผิวทางลาดยางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ชนบทมีประเภทของงานบำรุงรักษาทางที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งมีข้อแตกต่างอยู่ที่การเลือกวิธีการซ่อมบำรุงในบางส่วนเท่านั้น โดยสามารถสรุปงานด้านการบำรุงรักษาทางของทั้งสองหน่วยงานนี้ได้เป็น 4 ประเภท (กรมทางหลวงชนบท 2546) ดังนี้

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

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

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

4. งานซ่อมฉุกเฉิน (Emergency Maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงทางที่เกิดความเสียหายขึ้นโดยฉับพลันไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า ให้สามารถเปิดการจราจรได้ในขั้นแรกก่อน และซ่อมแซมให้คืนสู่สภาพที่เหมาะสมในภายหลัง ทั้งนี้อาจรวมถึงงานที่ทำเพื่อการป้องกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำซากเป็นประจำทุกปี

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

2.1.2 วิธีการซ่อมบำรุงทาง

วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวงที่มีผิวทางลาดยางของหน่วยงานที่รับผิดชอบ สามารถจำแนกได้เป็น 8 วิธี (กรมทางหลวง 2538) ดังต่อไปนี้

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

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

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

4. การขุดซ่อม (Deep Patch) เป็นการบำรุงรักษาทางที่แตกชำรุดเป็นหลุมบ่อหรือเป็นแอ่ง ซึ่งลักษณะความชำรุดเสียหายเช่นเดียวกับงานปะซ่อมผิว แต่ความเสียหายเกิดขึ้นถึงชั้นโครงสร้างของถนน

5. งานฉาบผิวลาดยางเคพซีล เป็นการบำรุงรักษาทางตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยการลาดยางบนผิวทางเดิมด้วยการฉาบผิวเพื่ออุดรอยแตก เพิ่มความฝืดของผิวทาง และเป็นการป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านลงไปใต้ผิวทาง

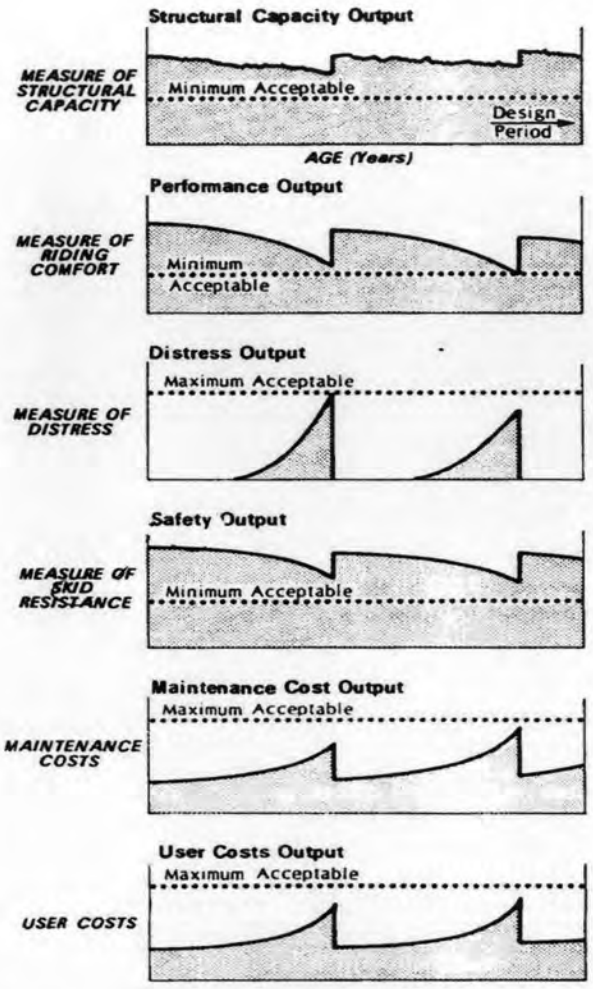
6. งานเสริมผิวลาดยางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete Overlay) เป็นการซ่อมบำรุงผิวทางโดยการลาดยางเสริมผิวด้วยแอสฟัลต์ติกคอนกรีต เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวทางเดิม และอุดรอยแตกบนผิวทางเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมลงไปทำอันตรายโครงสร้างทางชั้นล่าง

7. งานซ่อมสร้างผิวทางเคพซีล (Cape Seal) เป็นการแก้ไขปรับปรุงทางที่ชำรุดเสียหายโดยการขุดรื้อชั้นที่เสียหายออก แล้วเสริมโครงสร้างใหม่ให้แข็งแรงขึ้นตามชนิดวัสดุ และความหนาตามแต่ละชั้นที่ออกแบบไว้

8. งานซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete) เป็นการแก้ไขปรับปรุงทางที่ชำรุดเสียหายโดยการขุดรื้อชั้นที่เสียหายออก แล้วเสริมโครงสร้างใหม่ให้แข็งแรงขึ้นตามชนิดวัสดุ และความหนาตามแต่ละชั้นที่ออกแบบไว้ใหม่แล้วลาดผิวทางด้วยแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

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



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของทางและค่าใช้จ่ายที่ระยะต่างๆ (Haas, 1978)

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

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

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

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

3. แบบจำลอง Probabilistic เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยทฤษฎีสถิติและความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของตัวแปรที่การศึกษา เหมาะกับการสร้างแบบจำลองที่มีข้อมูลน้อยกว่า 2 วิธีแรก เช่น แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ เป็นต้น

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

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

โดยที่ PCR(t) = ค่าระดับของสภาพทางที่เวลา t

Age = อายุของทางตั้งแต่เริ่มใช้งานหรือเสริมผิวทางครั้งสุดท้าย(ปี)

ESAL = Equivalent Single Axle Load

SNC = ค่าความแข็งแรงของทาง

a, b, c = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง

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

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

โดยที่ PCI = ดัชนีสภาพทาง

Age = อายุของทางตั้งแต่เริ่มใช้งานหรือเสริมผิวทางครั้งสุดท้าย(ปี)

Σ ESAL = Equivalent Single Axle Load

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

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

โดยที่ IRI = ค่าดัชนีความขรุขระสากล (มม./ม.)

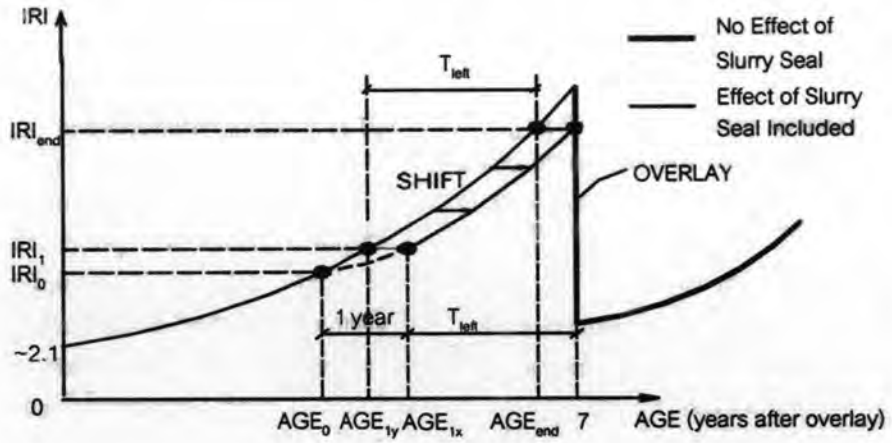
Age = อายุผิวทางหลังการเสริมผิวหรือบูรณะผิวแอสฟัลต์(ปี)

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

%HV = สัดส่วนรถหนัก (%)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

นอกจากนี้วิศณุและคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาผลของการทำฉาบผิวต่อสภาพของผิวทาง โดยทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของผิวทางลาดยางภายหลังได้รับการฉาบผิว ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 พฤติกรรมของผิวทางลาดยางภายหลังได้รับการฉาบผิว (วิศณุและคณะ, 2543)

จากรูปที่ 2.2 พบว่าการอัตราการเสื่อมสภาพของผิวทางภายหลังได้รับการฉาบผิวจะลดลงในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยสภาพผิวทาง 1 ปีภายหลังการทำฉาบผิวจะแสดงด้วยค่า ΔIRI ดังสมการที่ 2.4

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

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

IRI_0 = ค่าดัชนีความขรุขระสากลก่อนได้รับการซ่อมบำรุง (ม./กม.)

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

%HV = สัดส่วนรถหนัก (%)

AVE.RAIN = ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่ (มม./เดือน)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

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

และง่ายต่อการนำไปใช้งานจริง โดยแบ่งค่าดัชนีความขรุขระสากลตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับความเสียหายของผิวทางออกเป็น 10 กลุ่ม ดังนี้

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

อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการในความคลาดเคลื่อนของการทำนายสภาพความเสียหายของทางที่มีกลุ่มของปัจจัย เช่น กลุ่มสายทางของค่าดัชนีความขรุขระสากลที่มีผิวจราจรชนิดพีนีเตรชั่นแมคคาดัม ความชันของภูมิประเทศมากกว่าร้อยละ 5 และมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี 0 - 300 คันต่อวัน เป็นต้น

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

ในส่วนการพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางโดยใช้ดัชนีความขรุขระสากลนั้น ได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ขึ้นในประเทศไทยเป็นเวลานานแล้ว ซึ่งมีข้อดีหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น สามารถสำรวจและเก็บข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลได้ง่ายและรวดเร็ว โดยใช้

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

ต่อมาได้มีการพัฒนาแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ ซึ่งจะเหมาะกับสายทางที่มีข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลในอดีตน้อยกว่า 2 ปี และสามารถทำนายสภาพผิวทางในระยะยาว โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของผิวทาง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการวางแผนงบประมาณบำรุงผิวทางในระยะยาวได้

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

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงทาง

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

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

จากที่กล่าวไว้ข้างต้น Friedrich (1986) ได้เสนอแบบจำลองค่าใช้จ่ายดังนี้

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

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

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

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

t = ความหนาในการเสริมผิวลาดยาง (มม.)

Essem, et al. (1991) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติ และงานบำรุงตามกำหนดเวลา ซึ่งสามารถสรุปจากผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติ เป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซ่อมแซมความเสียหายของผิวทางเดิมก่อนทำการเสริมผิวทาง

2. ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงตามกำหนดเวลาประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

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

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

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

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

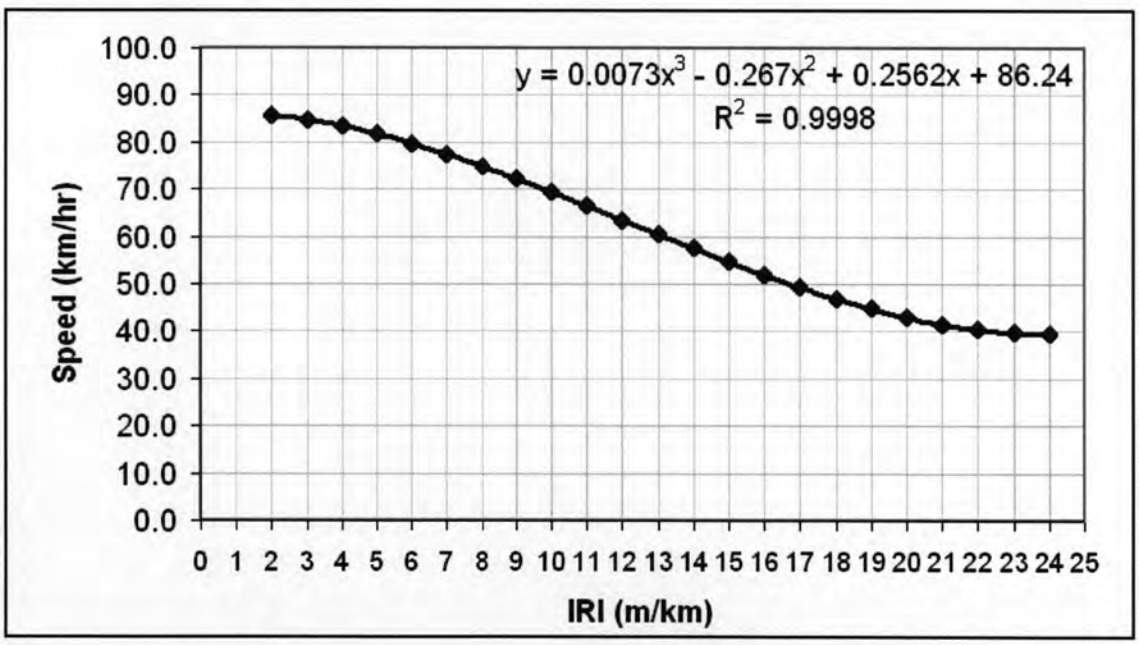
โดยที่ VOC_i = ค่าใช้จ่ายของยานพาหนะแต่ละประเภท (บาท/คัน/กิโลเมตร)

IRI = ค่าดัชนีความขรุขระสากล (เมตร/กิโลเมตร)

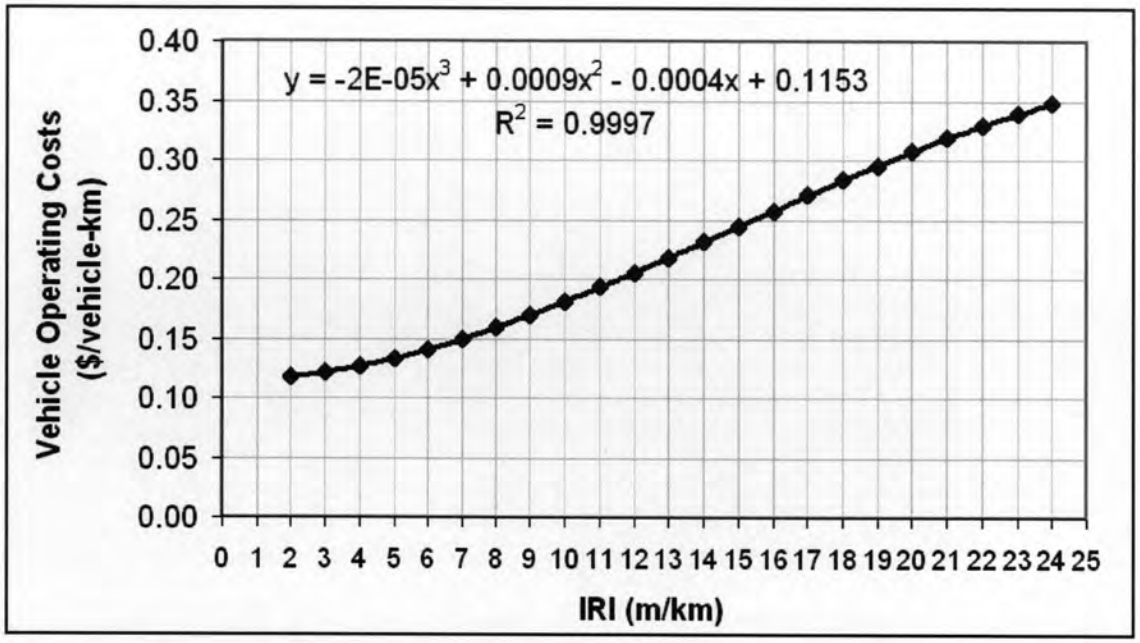
A, B, C = สัมประสิทธิ์ของยานพาหนะแต่ละประเภท

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

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



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับความเร็วยานพาหนะ (Rodrigo, 1999)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับค่าใช้จ่ายยานพาหนะ (Rodrigo, 1999)

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

1. แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ

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

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

K_m = ดัชนีราคาหินคลุก และลูกรัง

Age = อายุ (ปี) เริ่มนับจากปีที่ทำการเสริมผิว

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

2. แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานฉาบผิวทาง

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

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

Fuel = ดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

Cement = ดัชนีราคาปูนซีเมนต์

3. แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานเสริมผิวทาง

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

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

Asph = ดัชนีราคาแอสฟัลต์

Equip = ดัชนีราคาเครื่องจักรกลก่อสร้าง

4. แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบูรณะผิวทาง

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

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

M = ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง ไม่รวมเหล็กและซีเมนต์

เพื่อคาดการณ์แนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองซึ่งสามารถทำนายค่าดัชนีต่างๆโ ดยใช้ราคาในปี พ.ศ.2542 เป็นปีฐาน ดังนี้

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

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

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

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

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

โดยที่ Year = ระยะเวลานับจากการก่อสร้างถนนแล้วเสร็จ (ปี) โดยมีค่าเท่ากับศูนย์ในปีที่เริ่มทำการวิเคราะห์

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

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรับแก้ เทียบสอบ หรือทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ ดังนั้น การนำแบบจำลองค่าใช้จ่ายดังกล่าวเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้จึงต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ของแต่ละแบบจำลองด้วย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง

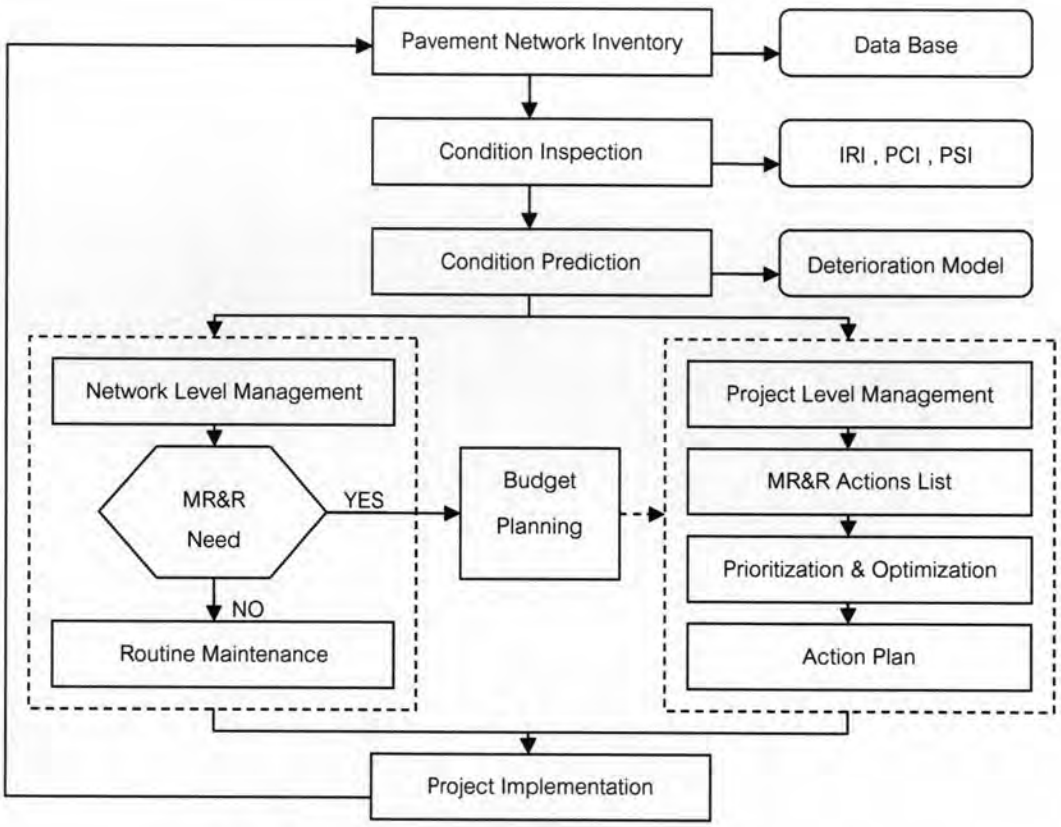
ในส่วนของการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนงานบำรุงรักษาผิวทาง ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ เนื่องจากสามารถช่วยแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อน หรือมีลักษณะโครงข่าย (ดังรูปที่ 2.5) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความชัดเจนในลักษณะของตัวแปรต่างๆ นิยาม ข้อจำกัดที่ใช้ และผลลัพธ์ที่ได้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

2.4.1 การใช้ Optimization Model ในการวางแผนบำรุงทาง

ปัญหาการทำ Optimization เป็นการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยอาจเป็นค่าน้อยที่สุด หรือค่ามากที่สุดของตัวแปรที่เป็นเป้าหมาย จากปัญหาที่อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และสอดคล้องกับเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่กำหนดไว้

รูปแบบของปัญหา Optimization ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

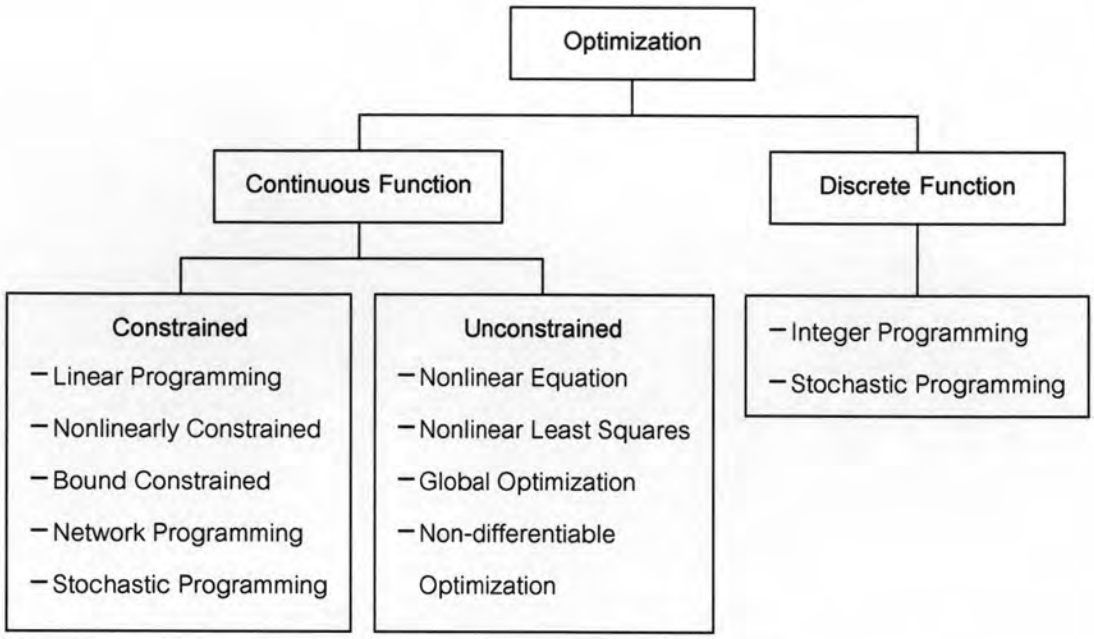
1. กลุ่มสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นสิ่งที่ต้องการจะหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดในการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถมีได้มากกว่า 1 สมการ
2. กลุ่มของตัวแปร (Variables) เป็นสิ่งที่มีผลกระทบต่อค่าของผลเฉลยจากสมการวัตถุประสงค์
3. กลุ่มของข้อจำกัด (Constraints) ที่เป็นเงื่อนไขสำหรับการใช้ตัวแปรทางในสมการวัตถุประสงค์



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนบริหารงานซ่อมบำรุงทาง (Shahin, 1994)

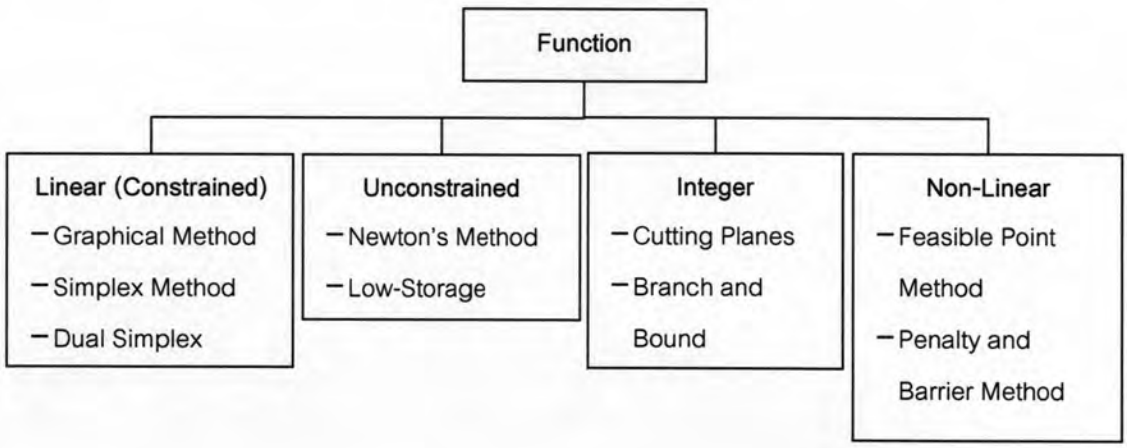
ลักษณะของปัญหา Optimization สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของสมการที่ใช้กำหนดปัญหาได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ ฟังก์ชั่นแบบต่อเนื่อง (Continuous Function) และฟังก์ชั่นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Function) ดังรูปที่ 2.6

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



รูปที่ 2.6 ลักษณะของปัญหา Optimization

วิธีการแก้ปัญหาของสมการสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับสมการปัญหาว่าเป็นในรูปแบบใด โดยแต่ละแบบของสมการนั้นจะมีรูปแบบการแก้ปัญหาได้หลายวิธี ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปแบบการแก้ปัญหา Optimization (Nash and Sofer, 1996)

2.4.2 แบบจำลองการวางแผนบำรุงทางที่มีการใช้ Optimization Model

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

เศรษฐศาสตร์ และข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ซึ่งมีวิธีในการจัดลำดับความสำคัญของการซ่อมบำรุงไว้ 5 แบบ ดังนี้

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

จากการเปรียบเทียบในด้านสภาพการใช้งานของถนนภายใต้นโยบายต่างๆอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 10 ปี พบว่าเกณฑ์การพิจารณาโดยใช้เกณฑ์ Optimization จะให้ผลรวมของสภาพทางที่ดีกว่าเกณฑ์แบบอื่น

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

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

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

โมดูลัสของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างในแต่ละชั้นของโครงสร้างถนน และในการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดตลอดอายุการใช้งานของถนนภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ได้วิเคราะห์โดยใช้วิธี Dynamic Programming Optimization ซึ่งนำเสนออยู่ในรูปของสมการ ดังนี้

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

โดยที่ $C(T_a)$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายรวม

$C_a(T_a)$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายภาครัฐ

$C_u(T_a)$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน

T_a = ระยะเวลาที่วิเคราะห์โดยกำหนดไว้ 20 ปี

w_a = ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าใช้จ่ายภาครัฐ มีค่า 0.9

w_u = ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน มีค่า 0.1

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

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

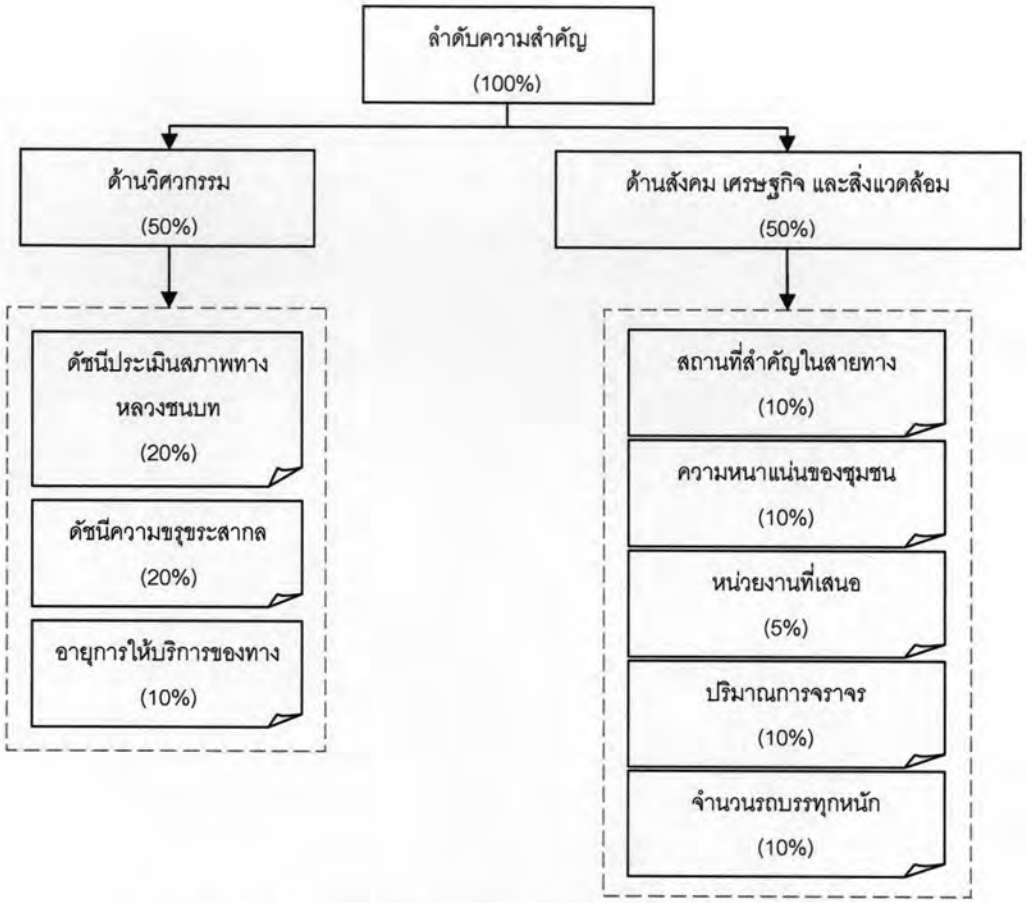
ณัฐพล (2545) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางโดยใช้แบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม ซึ่งเป็นการใช้วิธี Optimization และเทคนิคการแก้ปัญหาแบบ Simulation เพื่อใช้ในการจัดลำดับและวิธีการในการซ่อมบำรุงสายทาง โดยจะพิจารณาจากสาย

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

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

2.4.3 แนวทางจัดสรรงบประมาณบำรุงทางที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวงชนบท

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



รูปที่ 2.8 วิธีการจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุง

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

2.5 สรุป

การบำรุงรักษาผิวทางในปัจจุบันโดยทั่วไปจะเน้นไปที่การซ่อมบำรุงในเชิงป้องกัน และวิธีการในการซ่อมบำรุงนั้นจะแปรผันตามสภาพของผิวทางซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือต่างๆ หรือใช้การประเมินด้วยสายตาของผู้สำรวจ โดยข้อมูลจากการวิเคราะห์นั้นจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น ซึ่งนำไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุง และการจัดสรรงบประมาณต่อไป

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

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

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

จากการศึกษาเชิงเอกสารพบว่า หลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงทางทั่วไปนั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยมีรูปแบบคือ ประเมินสภาพทาง ทำนายสภาพทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง จัดลำดับความสำคัญของสายทาง และวิเคราะห์วิธีการซ่อมที่สอดคล้องกันนโยบายที่กำหนดตามลำดับ เพื่อใช้ในการจัดสรรงบประมาณตามนโยบายที่ที่กำหนดต่อไป