บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้เป็นการนำเสนอรายละเอียดของเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานบำรุงปกติงานทาง โดยได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นห้าส่วนได้แก่ ความหมายกิจกรรมงานบำรุงปกติงานทาง บทบาทของกรมทางหลวงชนบทในกิจกรรมบำรุงปกติงานทาง งานวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับการวางแผนงบประมาณกิจกรรมบำรุงปกติ การศึกษาแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง และปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพทาง และบทสรุปการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดของประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ความหมายของกิจกรรมงานบำรุงปกติงานทาง

Haas (1978) ได้ร่วมกับ National Association of Australian State Road Authorities (NAASRA) จัดตั้งคณะกรรมการขึ้นคณะหนึ่งในปี ค.ศ.1973 เพื่อกำหนดมาตรฐานและวิธีการบำรุงรักษาทางขึ้น โดยได้แบ่งลักษณะงานบำรุงรักษาทางออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1. Routine Maintenance
2. Specific Maintenance
3. Restoration Works

ขอบข่ายของงานบำรุงทางทั้ง 3 ลักษณะคล้ายกับกิจกรรมงานบำรุงปกติ กิจกรรมงานบำรุงพิเศษและบูรณะ และกิจกรรมงานฉุกเฉินของกรมทางหลวง โดยที่กิจกรรมงานบำรุงปกติงานทาง (Robinson et al., 1998) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การซ่อมบำรุงตามรอบระยะเวลา (Cyclic Maintenance) ได้แก่ การทำความสะอาดถนน การตัดหญ้า การทำความสะอาดร่องน้ำและระบบระบายน้ำ และการเก็บขยะ โดยความถี่ในการดำเนินแต่ละกิจกรรมนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณฝน เป็นต้น
2. การซ่อมบำรุงเชิงรับ (Reactive Maintenance) เป็นการดำเนินการซ่อมบำรุงรักษาซึ่งเป็นความเสียหายรอง (Minor Defects) โดยเกิดขึ้นทั้งจากสิ่งแวดล้อม และการจราจร เช่น การอุดรอยแตก การปะซ่อมหลุมบ่อ เป็นต้น

กิจกรรมงานบำรุงปกติงานทาง (Routine Maintenance) ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง หมายถึง งานกำกับดูแล และซ่อมแซมบำรุงรักษา ทำความสะอาด เสริมแต่งทางหลวง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องทำเป็นประจำ โดยมีปริมาณงานไม่มากนัก ทั้งนี้รวมถึงการแก้ไข ปรับปรุง เปลี่ยนแปลงหรือต่อเติมได้บ้างตามความเหมาะสม เพื่อให้ทางหลวงคงสภาพใช้งานได้ดี สามารถอำนวยความสะดวก และความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ทาง (กรมทางหลวง, 2551)

กิจกรรมงานบำรุงปกติงานทาง (Routine Maintenance) ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท คือ การบำรุงรักษาทางอยู่เป็นประจำเพื่อให้ทางอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี ผู้ใช้ถนนได้รับความสะดวก รวดเร็วและปลอดภัยในการขับขี่ และป้องกันมิให้ความเสียหายลุกลามแผ่วงกว้างออกไป แต่ทั้งนี้งานบำรุงปกติจะไม่รวมถึงงานที่เกี่ยวกับการเสริมแต่งปรับปรุงเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติม เพื่อทำให้ทางหลวงมีสภาพดีกว่าเดิม (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

2.2 บทบาทของกรมทางหลวงชนบทในกิจกรรมบำรุงปกติงานทาง

กรมทางหลวงชนบท (2552) แบ่งส่วนราชการของกรมทางหลวงออกเป็น 24 สำนัก สำหรับหน่วยงานของกรมทางหลวงชนบทที่รับผิดชอบต่อการบำรุงรักษาทางในกิจกรรมบำรุงปกติ ได้แก่ สำนักบำรุงทาง สำนักทางหลวงชนบท และสำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัด ซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สำนักบำรุงทาง โดยมีหน้าที่กำกับดูแล ดำเนินงาน ติดตาม เร่งรัด และประเมินผลการบำรุงรักษาทางและสะพาน รวมถึงการกำหนดกลยุทธ์ แผนงาน โครงการบำรุงรักษาทางและสะพาน
2. สำนักทางหลวงชนบท ประกอบไปด้วย 18 สำนักทางหลวงกระจายอยู่พื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ โดยมีหน้าที่หลักในการวางแผน สำรวจ ออกแบบ ตรวจสอบ และวิเคราะห์ทางวิศวกรรมในงานปรับปรุง และบำรุงรักษาทางหลวงชนบทในความรับผิดชอบ ตลอดจนดำเนินการและควบคุมการบำรุงรักษาทาง และสะพานในความรับผิดชอบ
3. สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัด โดยในสำนักทางหลวงชนบทแต่ละแห่งจะมีสำนักงานทางหลวงชนบทในความรับผิดชอบ 4 – 5 สำนักทางหลวงชนบทจังหวัด ซึ่งสำนักงานทางหลวงชนบทต่างๆ นั้นจะมีหน้าที่โดยตรงในการดูแล

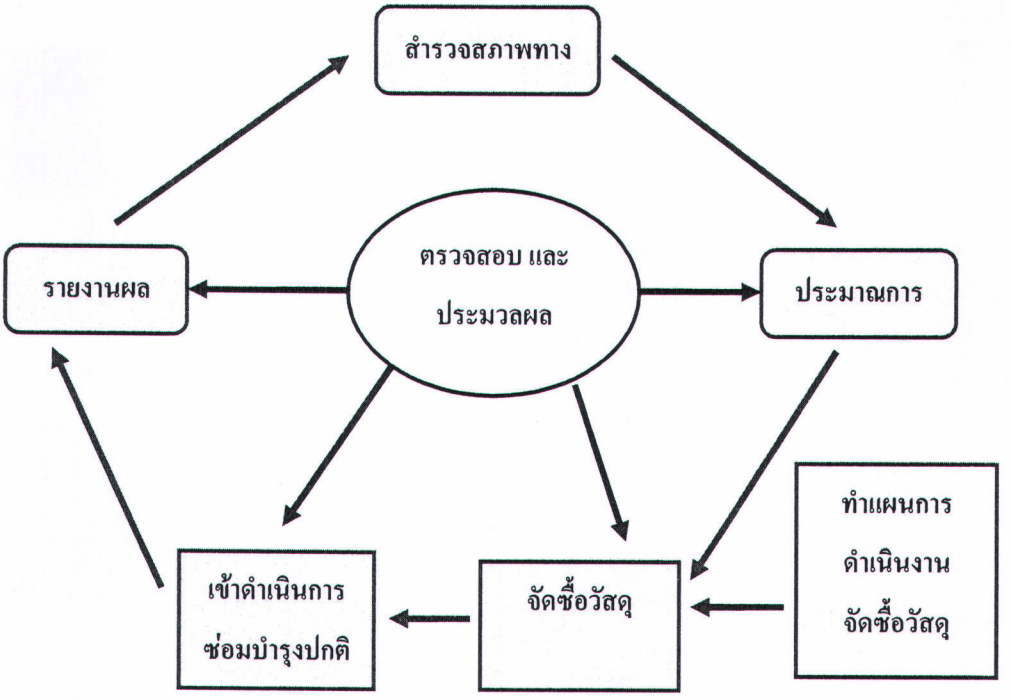
งานดูแลรักษาถนนในกิจกรรมงานบำรุงปกติ โดยที่สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดมีหน้าที่โดยตรงในการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงโดยจำนวนชุดซ่อมบำรุงจะมีมากน้อยต่างกันไปในแต่ละสำนักทางหลวงชนบทจังหวัด โดยพิจารณาตามความเหมาะสมจากปริมาณถนนในความรับผิดชอบ อัตรากำลังของข้าราชการพนักงาน และจำนวนเครื่องจักร เครื่องมือที่มีอยู่ในหน่วยงาน เพื่อให้การซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างต่อเนื่องและทันต่อเหตุการณ์ โดยแบ่งออกเป็นชุดซ่อมบำรุงผิวทาง ชุดรับผิดชอบงานจราจรสงเคราะห์ ทำความสะอาดโครงสร้างระบายน้ำ ตัดหญ้า 2 ข้างทาง เป็นต้น

2.2.1 การดำเนินงานบำรุงปกติในปัจจุบันของกรมทางหลวงชนบท

งานบำรุงปกติเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญในการป้องกันมิให้ความเสียหายของผิวทางลุกลามออกไป และมีสภาพการใช้งานที่ดีตลอดอายุการใช้งาน เป็นการประหยัดงบประมาณแผ่นดินที่มีอยู่อย่างจำกัด กรมทางหลวงชนบท (2549) มีแนวทางปฏิบัติสำหรับงานบำรุงปกติดังต่อไปนี้

1. กระบวนการในการปฏิบัติงานบำรุงปกติ

กระบวนการในการปฏิบัติงานบำรุงปกติ เริ่มตั้งแต่ก่อนเดือนตุลาคมของทุกปี (ต้นปีงบประมาณ) โดยเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง จะจัดชุดออกสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของสายทาง เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาคัดเลือกว่าสายทางใดควรดำเนินการซ่อมบำรุงโดยกิจกรรมใด เมื่อคัดเลือกสายทางที่เหมาะสมที่จะทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธีบำรุงปกติแล้วนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในสนามมาจัดทำประมาณการค่าใช้จ่าย จัดส่งให้หน่วยงานตามสายบังคับบัญชาเป็นผู้ตรวจสอบ และอนุมัติ จากนั้นทำการจัดซื้อวัสดุ พร้อมทั้งจัดเตรียมแผนการดำเนินงาน บุคลากร เครื่องมือ และเครื่องจักรกลในการซ่อมบำรุง และเข้าดำเนินการตามแผนงาน เมื่อดำเนินการแล้วเสร็จจะจัดทำรายงานผลการดำเนินงาน ในขณะเดียวกันหลังจากดำเนินการซ่อมบำรุงแล้วเสร็จเจ้าหน้าที่ชุดบำรุงรักษาจะเข้าตรวจสอบสภาพทางอยู่เสมอ หากพบเห็นความเสียหาย จัดเตรียมแผนเข้าซ่อมบำรุงในรอบต่อไป โดยการตรวจสอบและซ่อมบำรุงปกติจะทำอย่างต่อเนื่องตลอดปีงบประมาณ เมื่อใกล้สิ้นปีงบประมาณ จึงเริ่มต้นกระบวนการในการปฏิบัติตามที่กล่าวไว้ข้างต้น กระบวนการปฏิบัติงานบำรุงปกติดังแสดงภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการปฏิบัติงานบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

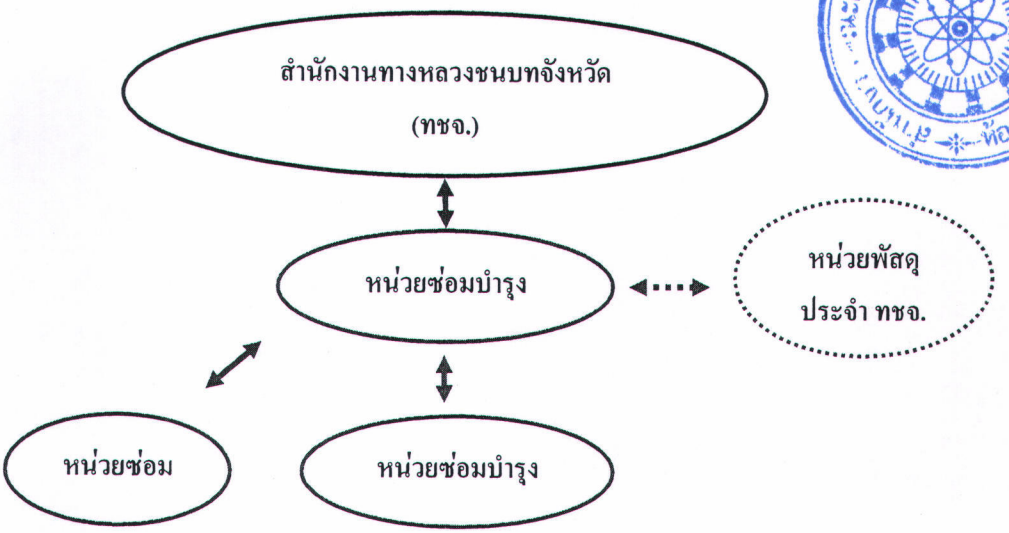
2. การจัดการโครงสร้างงานบำรุงปกติ

เพื่อให้การบริหารจัดการงานบำรุงปกติเป็นไปอย่างมีระบบ กรมทางหลวงชนบทจึงได้กำหนดโครงสร้างภายใน และจัดทำคำสั่งมอบหมายหน้าที่รับผิดชอบอย่างชัดเจน ซึ่งจะทำให้การควบคุม ตรวจสอบ กำกับดูแล การติดตามประเมินผลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการมอบหมายงานตามโครงสร้างนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของปริมาณถนนในความรับผิดชอบ อัตรากำลังของข้าราชการ เจ้าหน้าที่ของรัฐ จำนวนเครื่องจักร และเครื่องมือที่มีอยู่ในหน่วยงาน เพื่อให้มีความเหมาะสมในการจัดจำนวนชุดซ่อมบำรุง และเพื่อให้การซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างต่อเนื่องและทันต่อเหตุการณ์ นอกจากนี้ในแต่ละชุดซ่อมบำรุงอาจมีหน้าที่แตกต่างกันเพื่อความคล่องตัวในการดำเนินงาน เช่น ชุดซ่อมบำรุงที่ 1 ดำเนินการซ่อมบำรุงผิวทาง ในขณะที่ชุดซ่อมบำรุงที่ 2 ดำเนินการงานจราจรสงเคราะห์ เป็นต้น รายละเอียดดังภาพที่ 2.2

3. ประเภทกิจกรรมบำรุงปกติ และวิธีการซ่อมบำรุงกิจกรรมบำรุงปกติ

กิจกรรมบำรุงปกติผิวทางลาดยางในส่วนที่เป็นความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบทได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท (กรมทางหลวงชนบท, 2549) ได้แก่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



ภาพที่ 2.2 ผังโครงสร้างงานบำรุงปกติ (กรมทางหลวงชนบท, 2549)

1. **กิจกรรมบำรุงปกติผิวทาง** โดยทั่วไปวิธีการซ่อมบำรุงผิวทางแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การซ่อมบำรุงสำหรับถนนที่มีความเสียหายเบา มีลักษณะความเสียหายเกิดขึ้นที่ผิวทางเท่านั้นไม่เสียหายลึกถึงชั้นโครงสร้างทาง และการซ่อมบำรุงสำหรับถนนที่มีความเสียหายหนัก มีลักษณะความเสียหายลึกถึงโครงสร้างชั้นทาง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

   1.1 <u>การปะซ่อมผิวทาง (Skin Patching)</u> หมายถึง การบำรุงรักษาผิวทางที่แตก หรือเป็นหลุมบ่อด้วยวัสดุแอสฟัลต์ เช่น Pre – mix ซึ่งการบำรุงรักษาโดยวิธีปะซ่อมผิวทางดำเนินการเฉพาะถนนซึ่งเสียหายเฉพาะผิวทางเท่านั้น ไม่ลึกลงไปถึงโครงสร้างชั้นพื้นทาง

   1.2 <u>การขุดซ่อมผิวทาง (Deep Patching)</u> หมายถึง การบำรุงรักษาผิวทางที่แตกชำรุดเสียหายเป็นหลุมบ่อหรือเป็นแอ่ง ซึ่งลักษณะความชำรุดเสียหายนั้นเกิดขึ้นถึงชั้นโครงสร้างของถนน ไม่ใช่เสียหายเฉพาะผิวทางเท่านั้น ซึ่งการซ่อมต้องขุดเอาวัสดุในชั้นต่างๆ ที่เสียหายออกให้หมด เช่น ชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นคันทาง แล้วจึงทำการซ่อมโดยใช้วัสดุผสมแอสฟัลต์ Pre – mix หรือวัสดุที่มีคุณภาพตามชั้นโครงสร้างทางทดแทน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 9 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 247630
เลขเรียกหนังสือ

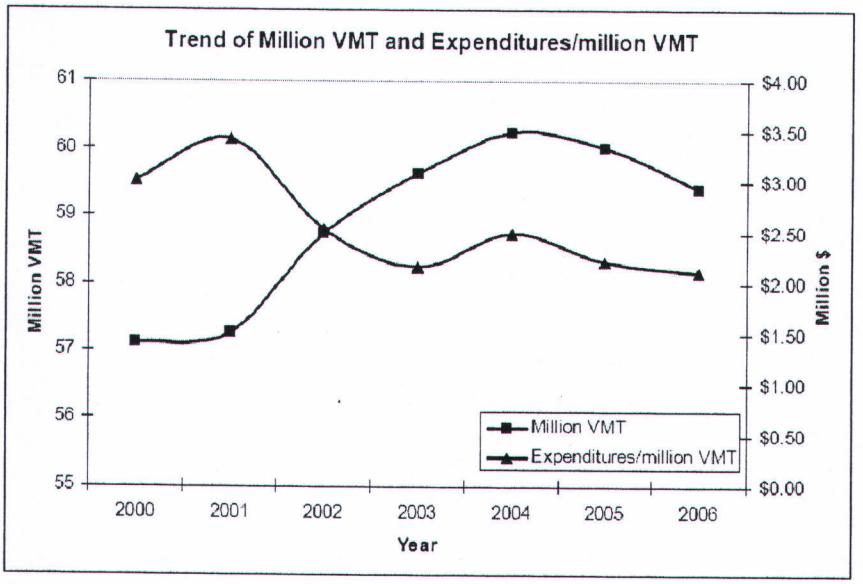
2. **กิจกรรมบำรุงปกติประเภทงานจราจรสงเคราะห์** แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ การซ่อมบำรุงรักษาสินทรัพย์ประเภทงานจราจรสงเคราะห์ และการทดแทนสินทรัพย์ประเภทงานจราจรสงเคราะห์ โดยสินทรัพย์ประเภทงานจราจรสงเคราะห์ประกอบไปด้วย ป้ายจราจร สัญญาณไฟจราจร หลักกิโลเมตร ราวป้องกันการตก (Guard Rail) หลักนำโค้ง (Guide Post) เครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง ไฟฟ้าส่องสว่าง เป็นต้น
3. **กิจกรรมบำรุงปกติประเภทงานตัดหญ้า และดูแลเขตทาง** เป็นการดำเนินงานตัดหญ้าบริเวณเขตทางให้มีลักษณะสั้นเท่ากันสม่ำเสมอ การดำเนินการจะตัดตั้งแต่จุดสิ้นสุดไหล่ทาง ไปจนกระทั่งสุดเขตทาง โดยทั่วไปจะดำเนินงานตัดหญ้าจะตัดหญ้าจากไหล่ทางออกไปเป็นระยะประมาณ 1.0 – 1.5 เมตร
4. **กิจกรรมบำรุงปกติประเภทอาคารระบายน้ำ** โดยทั่วไปแบ่งกิจกรรมบำรุงปกติประเภทอาคารระบายน้ำออกเป็น 2 ประเภทคือ งานทางระบายน้ำ หมายถึง งานทำความสะอาด ขุดลอก ตกแต่ง ต่อเติม หรือซ่อมแซมทางระบายน้ำ หรือร่องระบายน้ำข้างทาง และงานท่อระบายน้ำ หมายถึง งานทำความสะอาด ขุดลอก ตกแต่ง ต่อเติม หรือซ่อมแซมท่อระบายน้ำ และส่วนประกอบ

2.3 งานวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับการวางแผนงบประมาณกิจกรรมบำรุงปกติงานทาง

Essam, et al. (1991) ได้ศึกษาค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ พบว่า ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการได้แก่ สภาพของผิวทางเดิมก่อนทำการซ่อมบำรุงราคาท้องถิ่น (Local Prices) และหลักเกณฑ์ในการซ่อมแซมผิวตามสภาพพื้นที่ (Local Repair Policy)

Abdullah, et al. (1994) ได้รวบรวมข้อมูลจากหน่วยงาน Indiana Department of Transportation (INDOT) ระหว่างปี 1984 – 1987 เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่าย โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติและงานบำรุงตามกำหนดเวลา การวิเคราะห์แบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติได้กำหนดให้ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน (AADT) และดัชนีสภาพบริการ (PSI) เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมมีลักษณะความสัมพันธ์ในรูปแบบ Exponential

จากการศึกษาเรื่องค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงปกติงานทางของ Juni et al. (2008) ซึ่งเก็บข้อมูลจาก Wisconsin Department of Transportation (WisDOT) จำนวน 72 เมือง ระหว่างปี 2004 – 2006 พบว่าปริมาณพาหนะที่เพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี แต่ในขณะเดียวกันงบประมาณสำหรับนำมาบำรุงปกติมิได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณพาหนะที่เพิ่มขึ้น ทำให้การบำรุงปกติมิได้ครอบคลุมความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย และการเสื่อมสภาพของสายทาง นอกจากนั้นปริมาณพาหนะในปี ค.ศ. 2000 ถึงปี ค.ศ. 2006 เพิ่มขึ้น 3 ล้านคันต่อปีต่อไมล์ (VMT) แต่งบประมาณบำรุงปกติกลับลดลง 1 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ต่อยานพาหนะ 1 ล้านคันต่อปีต่อไมล์ (VMT) ในช่วงเวลาเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.3



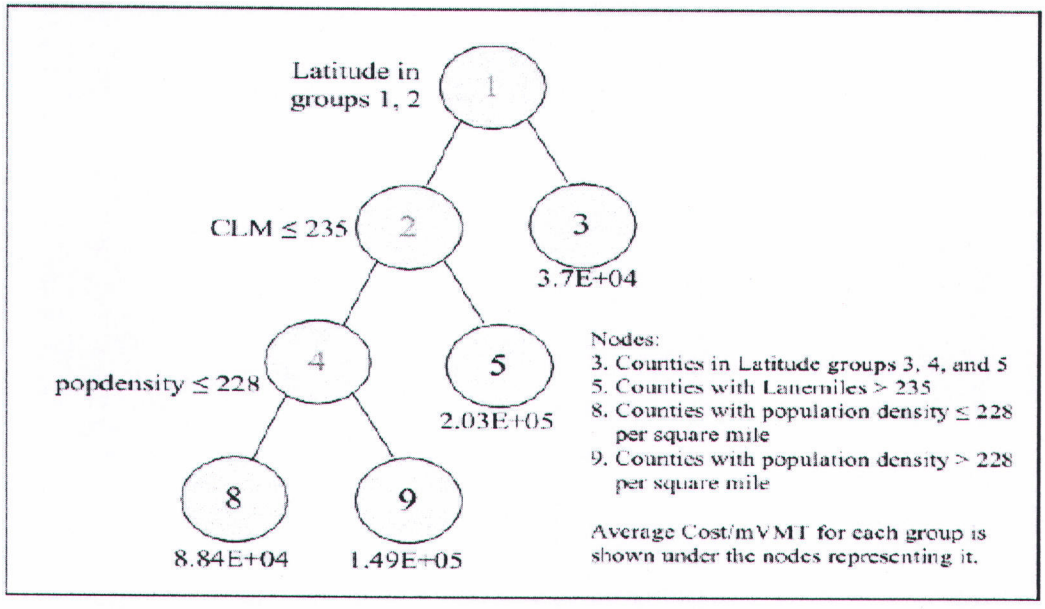
ภาพที่ 2.3 ปริมาณยานพาหนะต่อปีต่อไมล์ (VMT) และปริมาณงบประมาณงานบำรุงปกติในแต่ละปี (Juni et al., 2008)

ดังนั้น Juni et al. (2008) ได้พัฒนาแบบจำลองโดยอาศัยการวิเคราะห์ที่เรียกว่า Regression Tree model โดยแบ่งแบบจำลองซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างงบประมาณ และการซ่อมบำรุงรักษาออกเป็น 2 ลักษณะคือ แบบจำลองเพื่อทำนายสภาพการใช้งานในอนาคตที่เกิดจากการใช้งบประมาณที่ได้รับการอนุมัติในปัจจุบัน และแบบจำลองเพื่อประมาณการงบประมาณที่ต้องการใช้ในการซ่อมบำรุงสภาพการใช้งานที่ได้ทำนายไว้ โดยแบบจำลองค่าใช้จ่ายอยู่ในลักษณะของสมการตัวแทนทางคณิตศาสตร์ ตัวปรับปรุงสมการตัวแทนทางคณิตศาสตร์จากปีอดีต และปัจจัยเพิ่มเติมซึ่งส่งผลกระทบต่อแบบจำลองดังกล่าว และนำไปคำนวณร่วมกับ Regression Tree Model

โดยตัวอย่างสมการคำนวณแบบจำลองค่าใช้จ่าย และตัวอย่างการคำนวณ Regression Tree Model เพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการตัดหญ้า แสดงในภาพที่ 2.4 และภาพที่ 2.5

Element	Valid conditions	Equation
Concrete Traveled Way	$Age_{concrete} \leq 16$ yrs	Backlog = -0.018 – 0.000014(Cost) + 1.89($Age_{concrete}$) + 0.0043($LM_{concrete}$)
Asphalt Traveled Way	All	Backlog = -0.452 + 0.0000011(Cost) + 0.39($Age_{asphalt}$)
		Backlog = -0.484 + 0.00014($CLM_{Asphalt}$) + 0.107($Age_{asphalt}$) + 0.000000004(truck VMT)
Unpaved Shoulder	All	Cost = -30915(backlog) + 19.07(mVMT) + 0.00025(TruckVMT) + 585.62(CLMups) + 42310(Labor rate factor)
Litter Pickup	Income ≤ 41,768	Cost = -3653.5(backlog) + 32.3(mVMT) – 305.79(LM) + 185(CLM) + 0.52(cost change) + 39774(backlog change) – 442.29(laborratefactor)
Woody Vegetation	All	Cost = 787891 – 2805.8(Backlog) + 13.9(mVMT) – 83790($Soil_{pH}$) – 894($Soil_K$) – 1798($Soil_P$) + 339(CLM)

ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างแบบจำลองค่าใช้จ่ายสำหรับองค์ประกอบต่างๆ (Juni et al, 2008)



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการคำนวณ Regression Tree Model เพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการตัดหญ้า (Juni et al, 2008)

จากการสำรวจข้อมูล (ฝ่ายสถิติงานบำรุง กรมทางหลวง, 2539) พบว่าแต่ละแขวงการทางจะมีราคาวัสดุท้องถิ่น ซึ่งหมายถึงราคาวัสดุหินคลุกและลูกรังในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของแต่ละแขวงอาจไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงอาจสรุปในเบื้องต้นได้ว่าสภาพพื้นที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง ซึ่งลักษณะแบบจำลองที่นำมาวิเคราะห์สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติกับปัจจัยที่มีผลกระทบได้ดังนี้

$$RMC \propto f\,(DC, L)$$

เมื่อ RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (บาทต่อกม.ต่อ 2 ช่องจราจร)

DC = สภาพความเสียหายของผิวทางอันเป็นผลมาจากอายุบริการ สภาพแวดล้อม และลักษณะทางกายภาพของสายทางนั้นๆ ปริมาณจราจร

L = สภาพพื้นที่ที่มีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่น แบ่งเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้

จากงานวิจัยขององค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น (Japan International Cooperation Agency: JICA) และกรมทางหลวง ในการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองลำปาง – เชียงใหม่ (2540) พบว่าได้มีการพัฒนาแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติสำหรับใช้ในการประมาณงบประมาณบำรุงปกติ ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวได้ทำการวิจัยโดยใช้ข้อมูลในประเทศไทยสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง โดยกำหนดให้มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. ปัจจัยที่มีผลต่อสภาพความเสียหายของผิวทาง ได้แก่ อายุบริการนับจากการเสริมหรือบูรณะผิวแอสฟัลต์ สภาพปริมาณจราจร สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ ซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง
2. ปัจจัยที่มีผลต่อราคาวัสดุท้องถิ่น สำหรับความแตกต่างของราคาวัสดุท้องถิ่นในแต่ละพื้นที่ ถูกกำหนดโดยค่าดัชนีราคาหินคลุกและลูกรังส่งถึงโครงการ (Rock and Laterite Price at Construction Site Index: Km) ซึ่งจากงานวิจัยของ

JICA ร่วมกับกรมทางหลวงระบุว่า Km มีผลต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติอย่างมีนัยสำคัญ โดยได้นำเสนอแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติไว้ดังสมการที่ 2.1

$$RMC = K + b * AADT \quad (2.1)$$

เมื่อ RMC = ค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติ (บาทต่อกม. ต่อ ความกว้าง 7.00 ม.)

K = Ka×Km* ค่าบำรุงมาตรฐาน

Ka = Road Characteristic Factor คำนวณจากตารางที่ 2.1

Km = ดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง

b = Constant Parameter = 1.75

AADT = ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี

ตารางที่ 2.1 ตัวแปรสำหรับคำนวณค่า Ka

Factor	Description	Value		
X1	Surface $ Subbase	High 0	Intermediate 0.5	Low 1.0
X2	Subgrade	Poor 1.0	Medium 0.25 – 0.75	Good 0
X3	AADT (veh./day)	< 500 0	to to	>2,000 2.25
X4	Service life (yrs)	0 0	to to	>12 1.8
X5	Pavement Width (m)	5 0	to to	7 0.19
Y1	Right – of - Way	60 0.1	to to	100 0.3
Y2	Shoulder Width (m)	2 0.1	2.25 0.15	2.5 0.2
Y3	Traffic Service	Flat 0	Hilly 0.24	Mountainous 0.63
Y4	Terrain & Drainage	Flat 0	Hilly 0.2	Mountainous 0.36
Y5	Bridge Works (m /km.)	<20 0	to to	>30 0.06

ที่มา : รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองลำปาง – เชียงใหม่ (2540)

หมายเหตุ Ka = $1 + 0.05 (X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + Y1 + Y2 + Y3 + Y4 + Y5)$

Km = $0.80 Kr + 0.14 Ks + 0.58$

Kr = Cost of Rock at Construction Site

Ks = Cost of Laterite at Construction Site

กชกร โง้วศิริ (2544) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการวางแผนงบประมาณกิจกรรมบำรุงปกติในการกำหนดคาบเวลางานเสริมผิวแอสฟัลต์โดยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของถนนซึ่งแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติดังสมการที่ 2.2

$$RMC = 5,125 \times K_m(Age^{0.234} \times AADT^{0.150}) \quad (2.2)$$

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

K_m = ดัชนีราคาหินคลุก และลูกรัง

Age = อายุ (ปี) เริ่มนับจากปีที่ทำการเสริมผิว

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

สำหรับราคางานบำรุงปกติที่ใช้งานในปัจจุบัน กรมทางหลวงได้คำนวณเป็นราคาต่อหน่วยโดยกำหนดราคาต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจรที่ความกว้าง 7.00 เมตรเพื่อความสะดวกในการจัดสรรงบประมาณให้แต่ละแขวงการทางทั่วประเทศ ซึ่งราคาต่อหน่วยดังกล่าวพัฒนาโดยแขวงการทางเพชรบูรณ์ที่ 1 สำนักทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์) จากการเอกสารรายละเอียดราคาต่อหน่วยงานบำรุงรักษาทางหลวงของสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง (2548) พบว่าค่าบำรุงรักษาทางหลวงในส่วนของงานบำรุงปกติผิวทางแอสฟัลต์ราคาเท่ากับ 79,400 บาทต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจร

ราคาต่อหน่วยดังกล่าวครอบคลุมงานบำรุงรักษาผิวทาง งานบำรุงรักษาไหล่ทาง ทางเท้า ทางเชื่อม และเกาะแบ่งถนน งานระบบระบายน้ำ สะพาน และโครงสร้าง งานจราจร สงเคราะห์ และสิ่งอำนวยความปลอดภัย และงานบริเวณข้างทาง และที่พักริมทาง

ในส่วนของกรมทางหลวงชนบทจากการศึกษาของมานพ สุสิงห์ (2551) เกี่ยวกับการพัฒนาการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาโครงข่ายทางหลวงชนบทพบว่า การจัดสรรงบประมาณบำรุงปกติในปัจจุบันจัดสรรเป็นราคาต่อหน่วยต่อความยาวของถนน โดยแต่ละสายทางได้รับการจัดสรรงบประมาณเท่ากับ 24,000 บาทต่อกิโลเมตรต่อ 2 ช่องจราจร

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการวางแผนงบประมาณบำรุงปกติงานทางพบว่า การวางแผนงบประมาณบำรุงปกติส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลองในการประมาณค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติ โดยปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติประกอบไปด้วยดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง อายุการใช้งาน และปริมาณจราจร ซึ่งแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติดังกล่าวมิได้พิจารณาถึงวิธีการซ่อมบำรุงในแต่ละประเภททำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานบำรุงปกติงานทางได้อย่างเหมาะสม และเกิดความคลาดเคลื่อนสูง

2.4 การศึกษาแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง และปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพทาง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมทาง (Pavement Performance Model) มีการวิจัยและทดลองกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา จุดประสงค์หลักเพื่อจะได้อาศัยแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ทำนายพฤติกรรมของผิวทางในอนาคตได้อย่างแม่นยำ รวมทั้งใช้ประโยชน์ในการและวางแผนการบำรุงรักษาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานจริง นอกจากนี้การอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับสภาพผิวทางและการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองทำให้สามารถเลือกวิธีการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาพของสายทางนั้นได้ (AI-Suleiman, et al. 1992)

การพัฒนาแบบจำลองพฤติกรรมทางในช่วงเริ่มต้นมีปัญหาเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูลที่นำมาใช้พัฒนาแบบจำลอง กล่าวคือในงานวิจัยบางชิ้นประสบปัญหาเนื่องจากฐานข้อมูลที่ใช้มีข้อมูลไม่เพียงพอ ความคลาดเคลื่อนสูง และกระจัดกระจายในหลายหน่วยงาน ทำให้การรวบรวมข้อมูลเป็นไปอย่างลำบาก รวมทั้งการจัดเก็บมักอยู่ในรูปแบบที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์ (Lee, et al. 1993) ต่อมาเมื่อมีการจัดเก็บที่ดีขึ้น ข้อมูลอยู่ในรูปแบบของไฟล์คอมพิวเตอร์ที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ประกอบกับการจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์แบบจำลองได้กระทำอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ทำให้มีการพัฒนาแบบจำลองพฤติกรรมทางกันอย่างกว้างขวางในเวลาต่อมา

สำหรับการเลือกรูปแบบจำลองที่เหมาะสมนั้นได้มีการทำวิจัยและนำเสนอในหลายรูปแบบขึ้นกับสภาพพื้นที่และความสามารถในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเป็นการวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการทางสถิติร่วมกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Martin, 1996) สำหรับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองมีการนำเสนอไว้ดังนี้

Friedrich (1986) ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับพฤติกรรมของถนนลาดยางโดยเก็บข้อมูลในรัฐ Ontario ประเทศแคนนาดาระหว่างปี 1974 – 1976 จากการวิเคราะห์พบว่าฟังก์ชั่นที่เหมาะสมควรอยู่ในรูปแบบสมการที่ 2.3

$$N = At^{b} \tag{2.3}$$

โดยที่ N = อายุการใช้งานของถนนใน 1 คาบ ก่อนทำการ Overlay (ปี)

t = ความหนาในการ Overlay (มม.)

A, b = ค่าคงที่ขึ้นกับสภาพบริการต่ำสุดที่ยอมรับได้ในที่นี้ใช้ Pavement Condition Index (PCI) เป็นตัวกำหนด

จากสมการที่ 2.3 พบว่าการวิจัยคำนึงถึงปัจจัยเรื่องความหนาของการ Overlay ที่ส่งผลต่ออายุของสายทางเป็นสำคัญ แต่ทั้งนี้สมการดังกล่าวก็มีข้อจำกัดเนื่องจากไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการใช้งานในปัจจุบัน กับอายุของสายทางได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่นซึ่งถูกนำมาใช้ในรัฐ Ontario เรียกว่า PARS Model (Program and Financial Planning in Pavement Rehabilitation Model) ซึ่งใช้ค่า PCI เป็นตัวกำหนดสภาพบริการ แต่พิจารณาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมได้แก่ ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) โดยนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างสภาพบริการกับอายุของสายทาง ดังสมการที่ 2.4.

$$PCI = 95 - KX^{a} t^{-b'} T^{c} \tag{2.4}$$

โดยที่ X = อายุของสายทางหลัง Overlay (ปี)

t = ความหนาในการ Overlay (มม.)

T = ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT)

K, a, b', c = ค่าคงที่

Ramaswamy และ Ben-Akiva (1990) ได้จัดกลุ่มปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมทางไว้ 4 ประเภทดังนี้

1. ลักษณะของผิวทาง (Pavement Characteristics) ได้แก่ ความแข็งแรงของผิวทาง (Pavement Strength) ความหนาผิวทาง (Surface Thickness) ชนิดของชั้นพื้นทาง (Base Type) ชนิดของผิวทาง (Surface Type)
2. ประวัติการซ่อมบำรุง (Pavement History) ได้แก่ ระยะเวลานับจากการซ่อมบำรุงครั้งสุดท้าย (Time Since Last Rehabilitation) อายุของถนน (Total Pavement Age)

3. ลักษณะการจราจร (Traffic Characteristics) ได้แก่ ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic: ADT) ปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Traffic) สัดส่วนรถบรรทุก (Percentage of Trucks)
4. ลักษณะสภาพแวดล้อม (Environmental Characteristics) ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน (Average Monthly Precipitation) อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในรอบปี (Average Annual Minimum Temperature)

Hajek, Phang, และ Prakash (1990) วิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมทางย้อนหลัง 40 ปี ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางมีมากกว่า 30 อย่าง โดยสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. ปริมาณจราจร (Traffic)
2. ลักษณะสภาพแวดล้อม (Environmental Characteristics)
3. พฤติกรรมทางในช่วงแรกหลังก่อสร้างเสร็จ (Initial Pavement Performance)
4. ความหนาในการ Overlay (Overlay Thickness)
5. วิธีในการซ่อมบำรุง (Maintenance Policy)
6. พฤติกรรมทางในช่วงหลัง Overlay และสภาพบริการ ณ เวลาซ่อมบำรุง (Overlay Performance and Terminal Serviceability)

นอกจากนี้ยังได้หาอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Pavement Condition Rating (PCR) ที่เกิดขึ้นในระยะ 5 ปี หลังจากการ Overlay โดยเก็บข้อมูลกว่า 50 โครงการในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าชนิดและสภาพความเสียหาย เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า PCR ตัวอย่างเช่น ความเสียหายแบบ Surface Deformation และ Cracking รวมกันอาจส่งผลมากกว่าความ เสียหายประเภท Corrugations หรือ Shoring ดังนั้นถ้ามีการชะลอหรือไม่ซ่อมบำรุงตามกำหนดก็จะส่งผลให้อัตราการลดลงของ PCR เร็วขึ้น

Rajagopal และ George (1991) ได้ทำการเก็บข้อมูลทางหลวงกว่า 2,000 ไมล์ใน North Mississippi เพื่อมาสร้างแบบจำลองพฤติกรรมทางโดยใช้ค่า PCR เป็นเกณฑ์ในการกำหนดสภาพบริการ จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าโครงสร้างของชั้นทางเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางซึ่งในที่นี้จะกำหนดโดยค่า MSN หรือ Modified Structural Number ของแต่ละสายทาง นอกจากนี้จากการศึกษาโครงการกว่า 30 โครงการ ระหว่างปี 1986 – 1989 ทำให้พบปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจ คือความสัมพันธ์ระหว่างค่า PCR ก่อนทำการ Overlay กับ PCR หลัง Overlay และได้สมการฟังก์ชั่นดังสมการที่ 2.5

$$PCR_{AOL} = 23.9984\,(PCR_{BOL})^{0.2883}(T)^{0.0389} \qquad (2.5)$$

โดยที่ PCR_{AOL} = PCR ภายหลังจากการเสริมผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต

PCR_{BOL} = PCR ก่อนการเสริมผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต

T = ความหนาในการเสริมผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต (นิ้ว)

Essam, et al. (1991) ได้ศึกษาโครงการโดยใช้ฐานข้อมูลจาก U.S. Army Corps. Of Engineers รวมทั้งสิ้น 2,517 โครงการ โดยการศึกษามุ่นเน้นวิธีการซ่อมบำรุงเป็นหลักเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการ overlay ในแต่ละสภาพบริการที่กำหนด โดยค่า PCI โดยนำเสนอแบบจำลองที่วิเคราะห์ไว้ดังสมการที่ 2.6

$$PCI = 100 - bx^{1.5} \tag{2.6}$$

โดยที่ X = อายุของสายทาง (เดือน)

B = ค่าคงที่ขึ้นกับประเภทของวิธีการซ่อมบำรุง เช่น Thin Overlay จะให้ค่า b = 0.0158 หรือ Thick Overlay จะให้ค่า b = 0.0129

Collura, Spring และ Black (1993) กล่าวว่าการประมาณอายุและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่แม่นยำและน่าเชื่อถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับการบริหารจัดการงานทาง โดยการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบในหลายด้าน เช่น ปัจจัยทางด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสังคม ในการวางแผนงานบำรุงทางที่ดีไม่ควรพิจารณาเฉพาะการกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น แต่ควรพิจารณาถึงวิธีการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิผลด้วย

ดังนั้นการกำหนดคาบเวลาและวิธีซ่อมบำรุงที่เหมาะสม จำเป็นต้องมีแบบจำลองพฤติกรรมทางเพื่อนำมาใช้ในการทำนายสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งในงานวิจัยได้เก็บข้อมูลสภาพและอายุของถนนในมลรัฐ Massachusetts ภายใต้ปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ประเภทการซ่อมบำรุง สภาพความเสียหายของถนน สภาพโครงสร้างชั้นทาง และปริมาณจราจร โดยได้นำเสนอแบบจำลองพฤติกรรมทางในรูปแบบ Exponential ดังสมการที่ 2.7

$$PCI = a\, e^{bt} + k \tag{2.7}$$

โดยที่ t = อายุบริการของถนน

a, b และ k = ค่าคงที่สัมพันธ์กับปัจจัยที่มีผลต่อแบบจำลอง

นอกจากนี้ยังได้เก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายของงานบำรุงแต่ละประเภทได้แก่ Sand และ Chip Seal รวมทั้งวิธี Bituminous Overlay เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการซ่อมบำรุง ซึ่งผลการวิเคราะห์สรุปว่า

1. วิธีการบำรุงโดยการ Overlay สำหรับถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำถึงปานกลางทำให้ถนนมีอายุการใช้งานเฉลี่ยนานกว่าการบำรุงด้วยวิธี Chip และ Sand Seal ประมาณ 4.8 ปี และ 5.6 ปี ตามลำดับ
2. เมื่อพิจารณาตัวแปรสภาพชั้นโครงสร้างทางและสภาพความเสียหายผิวทาง พบว่าปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลค่อนข้างสูงต่ออายุการใช้งานของถนน นอกจากนี้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ถนนที่มีสภาพโครงสร้างชั้นทางดีกว่าจะมีอายุเฉลี่ยนานกว่าถนนที่มีโครงสร้างชั้นทางเลวกว่าประมาณ 6 ปี
3. เมื่อพิจารณารวมกับสภาพความเสียหายของผิวทางสามารถสรุปได้ว่า ถนนที่มีการดูแลรักษาให้มีสภาพดีทั้งผิวทางและโครงสร้างชั้นทางจะยืดอายุบริการให้นานกว่าถนนที่ไม่ได้รับการดูแลรักษาประมาณ 8.5 – 10 ปี

Sharma et al. (1994) ทำการศึกษาแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางที่ประเทศอินเดีย ซึ่งเป็นผิวทางลาดยาง และผิวทางคอนกรีต จำนวน 113 สายทาง ในการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และทางที่ก่อสร้างใหม่ โดยใช้ข้อมูลจากช่วงแรกมาทำการวิเคราะห์ ตัวแปรในการศึกษานี้ประกอบไปด้วยสถานะของทาง ปริมาณจราจร ภูมิอากาศ สภาพทาง ชนิดผิวทาง และระดับการบำรุงรักษา แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ตัวอย่างแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทางตามดังสมการที่ 2.8

$$CRT = [0.55\ (MSN) - 5\ e\ (m \times PAGE)] + (m \times CRI \times t) \qquad (2.8)$$

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)

Paterson (1987) ได้เสนอแบบจำลองเพื่อทำนายความเสียหายของผิวทางประเภทรอยแตก (Cracking) โดยแบบจำลองนี้สามารถใช้ทำนายได้ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยทางด้านอายุการใช้งาน หรือปริมาณจราจร แต่มีข้อเสียคือ มิได้ครอบคลุมทุกประเภทของผิวทาง ตัวอย่างแบบจำลองความเสียหายของผิวทางประเภทรอยแตกดังสมการที่ 2.9

$$CR_{it} = (1\text{-}z)\ 50 + z\ [z\ a_0\ a_1\ t_{ci} + z\ 0.5^{a1} + (1\text{-}z)\ 50^{a1}]^{1/a1} \quad (2.9)$$

โดยที่ CR_{it} = Area of Cracking at time t (% of the surface area)

t_{ci} = Time since Crack Initiation in time – based model (years)

z = $1, t_{ci} \leq t_{50}$, otherwise $z = -1$

t_{50} = $(50^{a1} - 0.5^{a1}) / a_0\ a_1$

$a_0\ a_1$ = Coefficient Values

สำหรับแบบจำลองความเสียหายผิวทางประเภทหลุมบ่อ (Pothole) นั้น Paterson (1987) ได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลที่ประเทศบราซิล กาน่า และเคนย่า โดยแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณหลุมบ่อนั้นจะมีปัจจัยที่ก่อให้เกิดหลุมบ่อ ได้แก่ รอยแตกผิวทางขนาดใหญ่ การหลุดร่อนของผิวทาง และการขยายตัวของหลุมบ่อเดิม ต่อมา Odoki (1997) ได้นำเสนอปัจจัยเพิ่มเติมซึ่งส่งผลต่อการเกิดหลุมบ่อเพิ่มเติม คือ ระยะเวลาในการดำเนินการปะซ่อมหลุมบ่อ

ขณะเดียวกัน Paterson (1987) ได้เก็บข้อมูลจาก Brazil – UNDP เพื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองความเสียหายของผิวทางสำหรับการเกิดร่องล้อ (Rutting) โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 2,546 ตัวอย่าง พบว่าร้อยละ 95 มีความลึกของร่องล้อตัวอย่างน้อยกว่า 8 มิลลิเมตร โดยแบบจำลองสำหรับการทำนายความลึกเฉลี่ยของร่องล้อ ดังตัวอย่างดังสมการที่ 2.10

$$RDM = AGE3^{0.166}\ SNC^{-0.502}\ COMP^{-2.3}\ NE_4^{ERM} \quad (2.10)$$

โดยที่ ERM = 0.0902 – 0.009 (RH) + 0.0384 (DEF) + 0.00148 (MMP) (CRX)

RDM = Mean Rut Depth (mm.)

NE_4 = Cumulative Number of Equivalent Standard Axles (esa)

SNC = Modified Structural Number of the Pavement

DEF = Mean Benkelman Beam Deflection in both Wheelpaths (mm.)

AGE3 = Age of Pavement since last Overlay or Construction (years)

COMP = Relative compaction in the Base, Sub – Based and Selected Subgrade Layers

MMP = Mean Monthly Precipitation (m/month)

CRX = Area of Indexed Cracking (%)

RH = Rehabilitation Factor

พรรณภา เหราบัตร และ สืบพงศ์ ไพศาลวัฒนา (2543) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อทาง เพื่อพัฒนาการเสื่อมสภาพทางในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูล HDM – III ผลการศึกษาปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อทาง ได้แก่ การพังทลายแบบหนัก การพังทลายแบบเบา และปริมาณจราจร เป็นต้น แบบจำลองที่พัฒนามี 2 กลุ่ม คือ Post Maintenance และ Pre Maintenance โดยขึ้นอยู่กับการรวบรวมข้อมูล และแต่ละกลุ่มมี 2 แบบจำลองการเสื่อมสภาพคือ แบบจำลองการพังทลายแบบหนัก และแบบจำลองการพังทลายแบบเบา ตัวอย่างแบบจำลองการเสื่อมสภาพแบบหนักของภาคตะวันออกดังสมการที่ 2.11

$$Y = 0.00165\ (A \times 0.39766)\ (B \times 0.39601) \qquad (2.11)$$

โดยที่ Y = พื้นที่เสียหาย (%)

A = Change of Time Service

B = Change of Cumulative Equivalent Single Axe Load

วิศณุ ทรัพย์สมพล และคณะ (2543) ศึกษาพฤติกรรมของสายทางลาดยางในประเทศไทยเพื่อพัฒนาสภาพความเสียหายของสายทางลาดยาง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลกับปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบได้แก่ อายุของสายทางภายหลังการเสริมผิวหรือบูรณะผิวทางแอสฟัลต์ ปริมาณจราจร สัดส่วนรถบรรทุกหนัก ปริมาณน้ำฝนต่อปี และความลาดชันของภูมิประเทศ โดยลักษณะความลาดชันของภูมิประเทศเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ กำหนดจากลักษณะความลาดชันของพื้นที่ (%Gradient) ไว้ 3 กลุ่มดังนี้ ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ (Gradient 0 – 3%) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนิน (Gradient 3 – 5%) ลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินสลับภูเขาจนถึงภูเขาสูง (Gradient > 5%) ผลการศึกษาสรุปว่าลักษณะความสัมพันธ์ของแบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุดเป็นฟังก์ชัน Exponential โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ระหว่าง 0.6 – 0.8 โดยแบบจำลองแสดงดังสมการที่ 2.12

$$IRI = a \times e^{[(b1 \times AGE) + (b2 \times AVG.AADT) + (b3 \times \%HV)]} \qquad (2.12)$$

โดยที่ IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม. / กม.)

AGE = อายุของสายทางภายหลังการเสริมผิวหรือบูรณะผิวทางแอสฟัลต์

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

%HV = สัดส่วนรถบรรทุกหนัก (%)

a, b_1, b_2, b_3 = ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ

Al-Omari และ Darter (1995) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากล กับค่าสภาพการให้บริการของทาง และความเสียหายของทาง (PSR) ในทางลาดยางและทางคอนกรีต โดยการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่อยู่ใน Strategic Highway Research Program's Long Term Pavement Performance (SHRP LTPP) โดยใช้ข้อมูลความเสียหาย คือ ร่องล้อ และดัชนีความขรุขระสากล ในการวิเคราะห์การถดถอย ผลการศึกษาความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันเส้นตรงดังสมการที่ 2.13

$$IRI = (57.56 \times RD) - 334.28 \quad (2.13)$$

โดยที่ IRI = ค่าดัชนีความเรียบสากล (ม. / กม.)

RD = ความลึกร่องล้อ (มม.)

Abdullah, Mansour และ Kumares (1994) ได้รวบรวมข้อมูลจาก Indiana Department of Transportation (INDOT) ระหว่างปี 1984 – 1987 เพื่อหาคาบเวลาและเกณฑ์ที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันด้วยวิธี Sand และ Chip Seal Coating โดยปัจจัยที่เลือกมาวิเคราะห์แบบจำลองพฤติกรรมทาง ประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

1. ปัจจัยสภาพแวดล้อม แบ่งออกเป็น ภาคเหนือ และ ภาคใต้
2. ปัจจัยปริมาณจราจร (AADT) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ
   - 2.1 ปริมาณจราจรสูง: AADT > 2,000
   - 2.2 ปริมาณจราจรต่ำ: AADT $\leq$ 2,000

Martin (1996) ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองพฤติกรรมทางในรูปแบบ Deterministic Prediction Model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีผลต่อแบบจำลองโดยได้แบ่งประเภทของแบบจำลองไว้ดังนี้

1. **Mechanistic Model** ถูกพัฒนามาจากกระบวนการทดลองทางวิศวกรรมซึ่งดำเนินการในห้องปฏิบัติการหรือโครงการนำร่องต่างๆโดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเช่น ทฤษฎีอีลาสติก เพื่อศึกษาพฤติกรรมของถนนภายใต้น้ำหนักบรรทุกและสภาพแวดล้อมต่างๆ จากนั้นจึงนำมาสร้างเป็นแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปเช่น การแอ่นตัวของชั้นโครงสร้าง

และผิวทาง กำลังวัสดุ และลักษณะทางกายภาพอื่นๆของถนนกับตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองดังกล่าว

2. **Mechanistic-Empirical Model** เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาโดยอ้างอิงหลักฐานทางทฤษฎีที่มีการพิสูจน์ในอดีตเกี่ยวกับผลกระทบต่อแบบจำลองจากตัวแปรอิสระต่างๆ ทฤษฎีส่วนใหญ่มาจากการทดลองแบบจำลอง Mechanistic แต่ได้มีการปรับแก้โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหารูปแบบสมการที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยโดยข้อมูลต่างๆมาจากการสำรวจภาคสนามและค้นคว้าจากฐานข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองดังกล่าวต้องมีการกำหนดขอบเขตและข้อจำกัดการนำไปใช้งานซึ่งเหมาะสมเฉพาะในบางสถานการณ์เท่านั้น นอกจากนี้แบบจำลองยังสามารถเชื่อมโยงรูปแบบความสัมพันธ์ที่มีปฏิกิริยาต่อกันระหว่างความเสียหายแต่ละชนิดเช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง Rutting กับ Cracking เป็นต้น ดังนั้นเมื่อสามารถทราบถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวประกอบกับการปรับแก้แบบจำลองอย่างถูกต้องตามทฤษฎีก็อาจนำมาประยุกต์ใช้ในงานที่นอกเหนือจากขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่ได้
3. **Empirical Model** ถูกวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการทางสถิติเป็นหลัก ส่วนใหญ่จะใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยจากข้อมูลที่รวบรวมมาจากภาคสนามจริง แบบจำลองดังกล่าวมีประโยชน์อย่างมากเมื่อไม่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมโดยวิธี Mechanistic ได้ อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่ได้มีขอบเขตการใช้งานและไม่เหมาะสมที่จะนำมาคาดการณ์ในส่วนที่นอกเหนือจากขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่

จากที่กล่าวมาตอนต้นทำให้ทราบว่าลักษณะของแบบจำลองที่มีการใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ 2 และ 3 แต่การเข้าใจลักษณะพื้นฐานที่แตกต่างกันของแบบจำลองแต่ละประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ สำหรับในงานวิจัยฉบับนี้วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองลักษณะที่ 2 เป็นเกณฑ์ เนื่องจากปัจจัยบางตัวได้นำมาจากการค้นคว้าในงานวิจัยที่ผ่านมาและนำมาปรับปรุงให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทยแต่ทั้งนี้การวิเคราะห์แบบจำลองดังกล่าวมีข้อจำกัดที่สำคัญ 2 ลักษณะได้แก่

1. **Multicolinearity** แบบจำลองประเภท Mechanistic-Empirical และ Empirical จะมีปัญหาในเรื่องการมีปฏิสัมพันธ์เชิงซ้อน โดยตัวแปรอิสระบางกลุ่มที่นำมาวิเคราะห์จะมีความสัมพันธ์กันเองและบางครั้งก็มีนัยสำคัญ ซึ่งที่ทราบกันโดยทั่วไปก็ได้แก่ ตัวแปรอายุถนนกับตัวแปรปริมาณจราจร โดยเฉพาะเมื่อ

แปลงปริมาณจราจรให้มาอยู่ในรูปของ Cumulative Equivalent Standard Axles (CESA) จะทำให้มีความสัมพันธ์กันสูงมาก

2. **Model Fit** ในอดีตแบบจำลองที่พัฒนาได้จะมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ตัวอย่างเช่น Cracking และ Rutting Model ของธนาคารโลกมีค่า R^2 เพียง 0.37 หรือ ARRB Roughness Progression ที่มีการพัฒนาขึ้นภายหลังก็ให้ค่า R^2 เพียง 0.5 เท่านั้น แต่ในปัจจุบันมีแบบจำลองหลายลักษณะที่มีการใช้ดัชนีพฤติกรรมทางเช่น PCI หรือ PSI เป็นตัวแปรตามซึ่งทำให้ค่า R^2 สูงขึ้น

ดังนั้นจากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมทางสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. สภาพแวดล้อม (Environmental Characteristics)
2. ปริมาณจราจร (Traffic)
3. ความหนาในการ Overlay (Overlay Thickness)
4. ชนิดและสภาพความเสียหาย (Distress Type and Density)
5. โครงสร้างชั้นทาง (Structural of Pavement)
6. สภาพบริการก่อนการ Overlay (Serviceability before Overlay)
7. วิธีการซ่อมบำรุง (Treatment Policy)

นอกจากนี้อาจสังเกตได้ว่าลักษณะของแบบจำลองพฤติกรรมทางมีความแตกต่างกันตามสภาพของแหล่งข้อมูลและความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน โดยคำนึงถึงกลุ่มปัจจัยอิสระที่มีความสำคัญกับการพัฒนาแบบจำลองเป็นหลัก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมควรคำนึงถึงสภาพพื้นที่ ความสมบูรณ์และความสามารถในการเก็บข้อมูล และที่สำคัญที่สุดควรสอดคล้องต่อการนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิผล

2.5 สรุป

งานบำรุงรักษาทางหลวงชนบทนั้น หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบได้แก่ สำนักบำรุงทาง สำนักทางหลวงชนบท และสำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัด ในส่วนของกิจกรรมงานบำรุงปกตินั้นทางสำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศเป็นผู้ปฏิบัติงาน และสำนักบำรุงทางเป็นผู้จัดสรรงบประมาณให้แก่สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดทั่วประเทศ กิจกรรมงานบำรุงปกติในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบทแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่ งานบำรุงปกติผิวทาง งานบำรุงปกติประเภทงานจราจรสงเคราะห์ งานตัดหญ้าและดูแลเขตทาง และงานดูแลอาคาร

ระบายน้ำ โดยกิจกรรมงานบำรุงปกติเป็นกิจกรรมซึ่งการบำรุงรักษาทางอยู่เป็นประจำเพื่อให้ทางอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี ผู้ใช้ถนนได้รับความสะดวก รวดเร็วและปลอดภัยในการขับขี่ และป้องกันมิให้ความเสียหายลุกลามแผ่วงกว้างออกไป แต่ทั้งนี้งานบำรุงปกติจะไม่รวมถึงงานที่เกี่ยวกับการเสริมแต่งปรับปรุงเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติม เพื่อทำให้ทางหลวงมีสภาพดีกว่าเดิม

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการวางแผนงบประมาณบำรุงปกติงานทางพบว่าการวางแผนงบประมาณบำรุงปกติส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลองในการประมาณค่าใช้จ่ายในงานบำรุงปกติ โดยปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติประกอบไปด้วยดัชนีราคาหินคลุกและลูกรัง อายุการใช้งาน และปริมาณจราจร ซึ่งแบบจำลองค่าใช้จ่ายงานบำรุงปกติดังกล่าวมิได้พิจารณาถึงวิธีการซ่อมบำรุงในแต่ละประเภททำให้ไม่สามารถนำมาใช้การวางแผนงบประมาณงานบำรุงปกติงานทางได้อย่างเหมาะสม และเกิดความถูกต้อง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อผิวทาง ประกอบไปด้วยหลายปัจจัย เช่น อายุการใช้งานของผิวทาง ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี สภาพแวดล้อม การซ่อมบำรุงรักษา คุณภาพในการดำเนินงานก่อสร้าง ตลอดจนคุณภาพของวัสดุ ซึ่งในแต่ละประเทศย่อมมีความแตกต่างกัน อีกทั้งแต่ละปัจจัยย่อมส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในระดับที่มาก และน้อยแตกต่างกัน โดยในการนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณปริมาณงานบำรุงปกติผิวทางจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาปัจจัยซึ่งสอดคล้องกับสภาพปัจจุบันเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพ มีความเที่ยงตรง และตลอดจนความเหมาะสมกับข้อมูลภายในประเทศเพื่อให้การนำไปใช้ในการวิจัยให้เกิดผลลัพธ์ที่ต้องการ มีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้งานได้จริง