

การพัฒนาระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวงภายใต้ข้อจำกัด ด้านงบประมาณ

สมชาย เดชภีรัตน์มงคล¹ , สิทธิชัย วณานูเวชพงศ์² และ เอกสิทธิ์ ไหมวัฒนา^{3,*}

Development of Pavement Management System for Department of Highways under budget constraint Somchai Dejpipattanamongkol¹ , Sittichai Vananuvethapong² and Akesit Maiwattana^{3,*}

¹ผู้อำนวยการสำนักทางหลวงที่ 4 (พิษณุโลก) สำนักทางหลวงที่ 4 กรมทางหลวง จ.พิษณุโลก วิศวกรโยธา 8 วช. สำนัก
บริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง จ.กรุงเทพฯ วิศวกรโยธา 5 สำนักทางหลวงที่ 4 กรมทางหลวง จ.พิษณุโลก

¹Director of Bureau of Highways 4 (Phitsanulok), Department of Highways, Phitsanulok.

²Civil Engineer 8 Prof. of Bureau of Highway Maintenance Management, Department of Highways, Bangkok.

³Civil Engineer 5 of Bureau of Highways 4 (Phitsanulok), Department of Highways, Phitsanulok.

*Corresponding author. E-mail : key22@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ แนวทางการพัฒนาของระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวง ภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณในแต่ละปี โดยเริ่มศึกษาจาก วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง และลักษณะความเสียหายของทาง ที่นำไปสู่การออกแบบระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS ในปี พ.ศ. 2530 เป็นระบบจัดเก็บข้อมูลลักษณะทางและสภาพของทาง เพื่อนำไปใช้ในการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม ต่อมาในปี พ.ศ. 2534 กรมทางหลวงได้พัฒนาระบบ TPMS Budgeting Module เป็นระบบที่คำนึงถึงผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด ต่อมาในปี พ.ศ. 2549 กรมทางหลวงได้พัฒนาระบบ HDM-4 เป็นระบบที่สามารถวางแผนงานบำรุงทางหลวง ระยะเวลา 1 -5 ปี และในอนาคต ปี พ.ศ.2552 กรมทางหลวงจะทำการพัฒนาระบบ PMS เป็นระบบที่สามารถจัดสรรงบประมาณตามลำดับความสำคัญและคำนึงถึงความต้องการของผู้ใช้เส้นทาง ชุมชน และการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณ จากการศึกษาพบว่า การพัฒนาของระบบบริหารงานบำรุงทาง ก่อให้เกิดการใช้จ่ายงบประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้ข้อจำกัดของวงเงินงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปี

คำสำคัญ : TPMS, TPMS Budgeting Module, HDM-4, PMS

Abstract

This paper described Development of Pavement Management System for DOH (Department of Highways) under budget constraint each year. The starting point studied Road Treatment Determination and Road Deterioration into the design of TPMS (Thailand Pavement Management System) in 1987. TPMS is the Data Storage Systems and road conditions for optimistic choice of Pavement Maintenance System. TPMS Budgeting Module was launched in 1991 to consider the method for maximum estimating the economic rate of returns. HDM-4 (Highway Development and Management System-4) was launched in 2006 for short to long-term (1 -5 years) forecasts of funding requirements for specified target road maintenance standards. In future, PMS (Pavement Management System) will be launched in 2009 for priority budget allocation in road maintenance and consideration to road users, urban area and the National Economic and Social Development under budget constraint. From the study, Development of Pavement Management System for DOH is an effective tool to the data of budget allocation in road maintenance under budget constraint.

Key words : TPMS, TPMS Budgeting Module, HDM-4, PMS

บทนำ

ทางหลวงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของคนไทยในปัจจุบัน และ เป็นโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ด้านขนส่ง และโลจิสติกส์ เพื่อเชื่อมโยง ระบบขนส่งแบบครบวงจรสู่ประเทศเพื่อนบ้าน และเป็นผู้นำศูนย์กลางภูมิภาค ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550 - 2554) ยกตัวอย่าง โครงการเชื่อมโยงเส้นทางเศรษฐกิจแนวตะวันออกสู่ตะวันตก (East West Economic Corridor, EWEC) ซึ่งเชื่อมโยงประเทศลาว ที่ชายแดนมุกดาหาร สู่ประเทศพม่า ที่ชายแดนแม่สอด ถือเป็นช่องทางการขนส่งทางบกที่มีความสำคัญในแง่การอำนวยความสะดวก และลดระยะเวลา-ลดต้นทุนการขนส่งสินค้าทางการเกษตรของไทย สู่ต่างประเทศ โดยกรมทางหลวงเป็นหน่วยงานหลักที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงเพื่อการขนส่งในประเทศ และเชื่อมโยงระหว่างประเทศไทยกับประเทศเพื่อนบ้าน รวมระยะทางทั้งสิ้น 61,210 กิโลเมตร (กรมทางหลวง, 2550) ในขณะที่งบประมาณที่ได้รับในแต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่งบประมาณบำรุงทางหลวง มีแนวโน้มคงที่ ซึ่งไม่เพียงพอต่อปริมาณงานบำรุงทางหลวงทั้งหมดทั่วประเทศ ซึ่งมีความจำเป็นต้องบำรุงทางหลวงเพื่อให้ถนนได้มาตรฐาน สามารถให้บริการประชาชน ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย ดังนั้น ในปี พ.ศ. 2530 กรมทางหลวงได้นำระบบบริหารบำรุงทาง TPMS (Thailand Pavement Management System) คือ ระบบที่ใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพความเสียหายของผิวทางแอสฟัลท์ (ทางลาดยาง) เพื่อประกอบการพิจารณาจัดทำแผนงานบำรุงทางของสำนักทางหลวง และแขวงทางหลวง ระบบดังกล่าวทำการสำรวจข้อมูลโดยใช้เจ้าหน้าที่ของหมวดการทางเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดต่ำ เช่น เทปวัดระยะ เหล็กปาด (Straight Edge) และใช้สายตาในการตรวจวัดความเสียหายของผิวทาง (Visual Inspection) ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้รับมีความคลาดเคลื่อน และไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้การกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงและการจัดทำแผนงานบำรุงทางไม่สอดคล้องกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง และระบบ TPMS ไม่ได้คำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง (Total Transportation Cost) ดังนั้นในปี พ.ศ. 2534 กรมทางหลวงได้ทำการปรับปรุงระบบ TPMS เพื่อวิเคราะห์การตัดสินใจวางแผนงานซ่อมบำรุงทาง ที่พิจารณาผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์และเกณฑ์มาตรฐานงานซ่อมบำรุง (Maintenance Standard) เป็นหลักสำคัญ และเรียกชื่อระบบ TPMS Budgeting Module ระบบดังกล่าวเริ่มนำมาใช้ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2537 เพื่อการวิเคราะห์และจัดทำแผนงานบำรุงทางหลวงประจำปี (ณัฐพล, 2545) แต่การบำรุงทางหลวงที่ต้นนี้ จำเป็นต้องวางแผนการจัดสรรงบประมาณ ระยะสั้น ทุกๆ 1 ปี ระยะกลาง ทุกๆ 3 ปี และระยะยาว ทุกๆ 5 ปี ดังนั้นในปี พ.ศ. 2549 กรมทางหลวงได้นำระบบบริหารบำรุงทาง HDM-4 (Highway Development and Management System) คือ ระบบที่ช่วยในการจัดลำดับความสำคัญของแผนงานตามผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์หรือความคุ้มค่าในการลงทุน (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550). โดยสามารถประยุกต์ใช้กับงานบำรุงทางหลวง ได้ตั้งแต่ ขั้นตอนการวางแผน (Planning) การกำหนดแผนงาน (Programming) การเตรียมการดำเนินงาน (Preparation) และ การปฏิบัติงาน (Operations) การนำระบบ HDM-4 มาใช้ในปัจจุบันนี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่น

เพิ่มเติม เพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหาร ได้แก่ ความต้องการของประชาชนในพื้นที่ การพัฒนาทางหลวงเพื่อการท่องเที่ยว การพัฒนาทางหลวงด้านความมั่นคงและปลอดภัยของชาติ และการพัฒนาทางหลวงเพื่อการอนุรักษ์โบราณสถาน โบราณวัตถุ และเพื่อสิ่งแวดล้อม และ สร้างเครื่องมือเพื่อช่วยในการจัดลำดับความสำคัญของงานบำรุงทางหลวง (สมชาย และคณะ, 2551) คณะผู้บริหารของกรมทางหลวงได้เล็งเห็นถึงข้อจำกัดในการนำระบบ HDM-4 มาใช้งาน และในอนาคตอันใกล้ พ.ศ. 2552 กรมทางหลวงมีแนวทางที่จะพัฒนาระบบบริหารบำรุงทาง PMS (Pavement Management System) ที่สามารถจัดลำดับความสำคัญและงบประมาณของแผนงานบำรุงทาง เพื่อใช้ในการวางแผนระยะเวลา 1-5 ปี รวมทั้งมีการพัฒนาแบบจำลองสภาพความเสียหายของผิวทาง แบบจำลองทำนายค่าใช้จ่ายต่อผู้ใช้ทาง แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลของการซ่อมบำรุงทาง และ ศึกษาผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม กรมทางหลวงทำการพัฒนาระบบบริหารบำรุงทางอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นการใช้จ่ายงบประมาณเพื่อการบำรุงทางหลวงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ภายใต้ข้อจำกัดของวงเงินงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปี

วัตถุประสงค์และวิธีการ

การวางแผนงานบำรุงทางหลวงที่มีประสิทธิภาพนั้น จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมและด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อคัดสรรวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม และเมื่อพิจารณาถึงวิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง แบ่งออกเป็น 5 งานบำรุงทางหลวง ดังนี้

1.งานบำรุงตามปกติ(Routine Maintenance) คือ งานบำรุงทางหลวงเป็นประจำทุกปี เพื่อให้ทางหลวงอยู่ในสภาพใช้งานได้ตามปกติ และป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายรุนแรงเพิ่มขึ้น ได้แก่ งานอุดรอยแตกของถนน งานปรับระดับของถนน และงานปะซ่อมผิวของถนน เป็นต้น

2.งานบำรุงตามกำหนดเวลา(Periodic Maintenance) คือ งานบำรุงทางหลวงเมื่อถึงเวลาที่กำหนดตามลักษณะของโครงสร้างทาง เพื่อให้ทางหลวงแต่ละเส้นทางคงสภาพ ขนาด และความแข็งแรงใกล้เคียงกับสภาพของทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ ได้แก่ งานฉาบผิวแอสฟัลท์ และ งานเสริมผิวแอสฟัลท์ เป็นต้น

3.งานบำรุงพิเศษและบูรณะ(Special Maintenance and Rehabilitation) คือ งานบำรุงทางหลวงที่อยู่ในสภาพเสียหายมากจนไม่สามารถซ่อมบำรุงตามปกติและบำรุงตามกำหนดเวลาได้ โดยทำการคืนสภาพทางให้เหมือนเดิม และทำการป้องกัน แก้ไข ปรับปรุง และเพิ่มเติมสิ่งอำนวยความสะดวกและปลอดภัยต่อผู้ใช้เส้นทางต่อไปได้

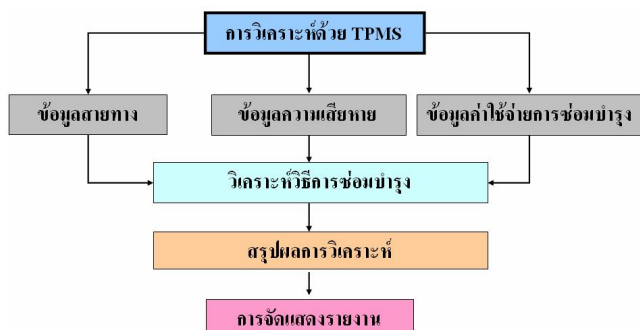
4.งานอำนวยความสะดวก(Road Safety) คือ งานบำรุงทางหลวงเพื่อปรับปรุง แก้ไข และเพิ่มเติม ความปลอดภัยในการใช้เส้นทาง ตามหลักวิศวกรรมจราจร รวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายต่าง ๆ เช่น ราวกันอันตราย

5.งานฉุกเฉิน(Emergencies) คือ งานบำรุงทางหลวงที่เกิดความชำรุดเสียหายจากอุบัติเหตุต่าง ๆ โดยทำการซ่อมแซม และคืนสภาพผิวทางให้สามารถใช้งานได้ตามปกติ

จากวิธีการซ่อมบำรุงทางหลวงดังกล่าว พบว่า งานบำรุงตามปกติ และงานบำรุงตามกำหนดเวลา เป็นประเภทงานบำรุงที่ต้องวางแผนป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น แต่เนื่องด้วย

งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดในแต่ละปี และความต้องการงบประมาณสำหรับงานซ่อมบำรุงทางหลวง มีมูลค่าสูงกว่างบประมาณที่ได้รับในแต่ละปี ประมาณ 2 – 4 เท่าของงบประมาณที่ได้รับ จึงทำให้กรมทางหลวงไม่สามารถบำรุงทางหลวงได้ครบทุกสายทางในช่วงเวลาที่กำหนด ดังนั้นกรมทางหลวงได้มีการนำระบบ BSM (Burrow and Snaith Management System) ที่พัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษ มาปรับปรุงระบบให้สอดคล้องกับสภาพทางและปริมาณการจราจรในประเทศไทย และปรับเปลี่ยนชื่อเรียก เป็นระบบการบำรุงทางหลวง TPMS (Thailand Pavement Management System) ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2530 และกรมทางหลวงได้กำหนดให้หน่วยงานในสังกัดนำมาใช้เพื่อการคัดสรรสายทางที่มีความสำคัญในการซ่อมบำรุงทางหลวง ตามลำดับก่อนหลัง สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย ระบบ TPMS แสดงดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 อธิบายถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย ระบบ TPMS (N.D., 1992). เริ่มจากการนำเข้าข้อมูลสายทาง คือ ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางด้านวิศวกรรม ข้อมูลวัสดุสร้างทาง และปริมาณจราจร ต่อมา นำเข้าข้อมูลความเสียหาย คือ ข้อมูลแสดงสภาพความเสียหายของทางที่อาจจะเกิดขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้ ความเสียหายเบาะที่ผิวจราจร ความเสียหายหนักที่ผิวจราจร ความเสียหายของขอบผิวทาง ความเสียหายไหล่ทางต่ำกว่าผิวทาง ความเสียหายของไหล่ทาง และร่องล้อ ต่อมา นำเข้าข้อมูลค่าใช้จ่ายการซ่อม คือ ข้อมูลที่แสดงค่าใช้จ่ายที่อาจจะเกิดขึ้นของวิธีการซ่อมบำรุงทางแต่ละประเภท จากการนำเข้าข้อมูลเบื้องต้น ขั้นตอนต่อมาทำการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุง ด้วย ระบบวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง Treatment Matrix เมื่อได้วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง จากนั้นรวบรวมข้อมูลทุกสายทางและทำการสรุปผลการวิเคราะห์ และจัดทำรายงานต่อไป

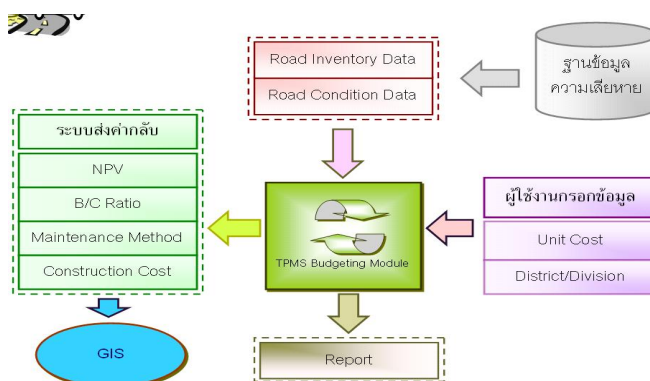


รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย ระบบ TPMS

ผลการวิเคราะห์ด้วยระบบ TPMS พบว่า การจัดลำดับความสำคัญของงานบำรุงทางหลวงไม่สอดคล้องกับสำนักวางแผน ของกรมทางหลวง ที่พิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลักสำคัญ รวมทั้งระบบ TPMS ขาดความยืดหยุ่นในการใช้งาน เพราะระบบ TPMS นำเข้าข้อมูลผ่านระบบปฏิบัติการ OS-DOS และยังไม่ได้นับถึงผลกระทบต่อผู้ใช้เส้นทาง (Road User Effects) และผลกระทบต่อสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม (Socio-Economic and Environmental Effects) ดังนั้น ในปี พ.ศ. 2534 กรมทางหลวง ได้พัฒนาและปรับปรุงระบบ TPMS โดยเน้นการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด และเรียกชื่อระบบใหม่ว่า TPMS Budgeting Module ซึ่งอาศัยหลักการคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการใช้เส้นทาง (Total Transportation Cost) ได้แก่ ค่า

ก่อสร้าง (Construction Cost) คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดจากการดำเนินการก่อสร้างเส้นทาง และค่าเวนคืนที่ดิน ค่าบำรุงรักษา (Maintenance Cost) คือ ค่าบำรุงรักษาทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการบำรุงทางในพื้นที่ หรือในช่วงระยะเวลาที่กำหนด และค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (Vehicle Operating Cost) คือ ค่าน้ำมัน ค่ายางรถ ค่าบำรุงรักษารถ ตลอดจนค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการใช้รถยนต์

สำหรับหลักการวิเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูล TPMS Budgeting แสดงดังรูปที่ 2 อธิบายขั้นตอนการทำงาน TPMS Budgeting เริ่มจาก ฐานข้อมูลนำเข้าความเสียหายทาง ประกอบด้วย ข้อมูลเขตทาง Road Inventory Data และข้อมูลสภาพทาง Road Condition Data ต่อมาผู้ใช้โปรแกรม ใส่ข้อมูลราคาซ่อมบำรุงต่อหน่วย และกำหนดค่าสำนักทางหลวง พร้อมทั้งระบุแขวงทางหลวง หมายเลขทางหลวง ตอนควบคุม ช่วงหลักกิโลเมตร ที่ต้องการสืบค้นข้อมูล จากนั้นระบบจะทำการประมวลและส่งค่ากลับ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน B/C วิธีการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ ผลลัพธ์ที่ได้คือรายงานแสดงผล



รูปที่ 2 หลักการวิเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูล TPMS Budgeting

สำหรับวิธีการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ ตามระบบ TPMS Budgeting Module จะใช้วิธีการเลือกการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุด โดยแสดง ค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน Benefit Cost Ratio (B/C) และ ค่าปัจจุบันสุทธิ Net Present Value (NPV) ในแต่ละช่วง ของทุกสายทาง จากนั้นจะทำการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุด ลดหลั่นกันตามลำดับผลตอบแทนต่อการลงทุน (B/C)

แม้ว่าระบบ TPMS Budgeting Module จะสามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อพิจารณาถึงความเป็นโครงข่ายทางหลวงในประเทศไทย จำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบที่สามารถวางแผนระยะยาว วางแผนระยะกลาง วางแผนงบประมาณประจำปี และการวางแผนระดับปฏิบัติการ ตลอดจนมีการปรับปรุงให้สามารถตอบสนองและเหมาะสมต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น ดังนั้นกรมทางหลวงจึงได้พัฒนาระบบ HDM-4 (Highway Development and Management System) โดยเริ่มทดลองดำเนินการใช้ในปี พ.ศ. 2550

ระบบ HDM-4 คือ โปรแกรมบริหารจัดการงบประมาณอย่างมีหลักวิชาการ ให้ได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยอาศัยหลักการของระบบการบริหารบำรุงทางหลวงแบบครบวงจร คือ มีความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการ โดยแบ่งตามลำดับขั้นตอนการบริหารจัดการสายทาง ดังนี้

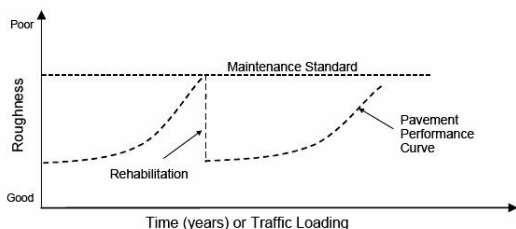
ขั้นตอนการวางแผน (Planning Processing) คือ ขั้นตอนการวางแผนระดับนโยบายของ ผู้บริหารระดับสูง โดยครอบคลุมระบบยุทธศาสตร์ ระบบโครงข่ายสายทาง และระบบบริหารงานบำรุง ทาง

ขั้นตอนการกำหนดแผนงาน (Programming Processing) คือ ขั้นตอนการจัดลำดับ ความสำคัญของสายทาง การจัดสรรงบประมาณ และการกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงทั้งในระยะสั้น และ ระยะยาว

ขั้นตอนการเตรียมการดำเนินงาน (Preparation Processing) คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ ประเมินค่าโครงการบำรุงทางหลวงในแต่ละทางเลือก โดยอาศัยการประมาณค่าทางเศรษฐศาสตร์ และ ทางด้านวิศวกรรม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละโครงการ

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Operations processing) คือ ขั้นตอนการจัดการโครงการ ด้าน บริหารงานบำรุงทาง ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์ ด้านการเงินและบัญชี เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานเป็นไป ตามที่วางแผนไว้ตามระบบ HDM-4

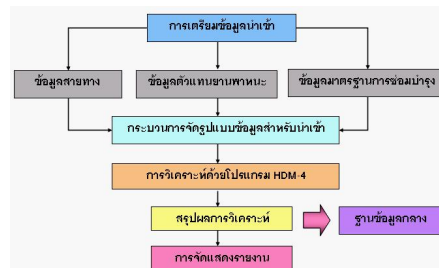
นอกจากนี้ระบบ HDM-4 คำนึงถึงสภาพผิวทางตลอดอายุการใช้งาน ได้แก่ การเสื่อมสภาพ ของผิวทาง คือ ลักษณะความเสียหายของผิวทางที่เกิดขึ้นจากการใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่าง การเกิดรอยร้าว ร่องล้อ และหลุมบ่อ เป็นต้น โดยสามารถอธิบายในรูปของความขรุขระของผิวทาง และ อายุการใช้งานหรือปริมาณงานจราจร ดังรูปที่ 3 แสดงว่า เมื่อถนนใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง จะส่งผล ให้ค่าความขรุขระเพิ่มขึ้น IRI หรือ ผิวถนนมีสภาพแย่ขึ้น จนถึงระดับมาตรฐานที่จำเป็นต้องบำรุงทาง (Maintenance Standard) และเมื่อทำการบูรณะผิวทาง (Rehabilitation) ถนนจะอยู่ในสภาพพร้อมใช้ งานอีกครั้ง หรือ ค่าความขรุขระอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปได้ระยะหนึ่ง ถนนก็จะ เริ่มเสื่อมสภาพอีกครั้ง จึงจำเป็นต้องทำการซ่อมบำรุงทางทุกระยะทางควบคุม



รูปที่ 3 ค่าความขรุขระของผิวทางเมื่อถนนถูกใช้งานในระยะเวลาหนึ่ง

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย ระบบ HDM-4 (UI-Islam, 2004) ดังรูปที่ 4 เริ่มจาก การเตรียมข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ข้อมูลสายทาง ข้อมูลตัวแทนยานพาหนะ และข้อมูลมาตรฐานการซ่อม บำรุง จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการจัดรูปแบบข้อมูลสำหรับนำเข้า เพื่อสร้างระบบจัดสรรข้อมูล และทำ การวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรูปแบบในการวิเคราะห์ 3 รูปแบบ ได้แก่ การวิเคราะห์แผนระดับโครงการ (Project Analysis) คือ รูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์เลือกวิธีการซ่อมในแต่ละสายทาง การวิเคราะห์ แผนงบประมาณซ่อมบำรุง (Program Analysis) คือ รูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์แผนงาน ระยะกลาง 1-5 ปี และ ระยะสั้น โดยพิจารณาทุกช่วงสายทางที่ถูกกำหนด และ การวิเคราะห์แผนระดับกล

ยุทธศาสตร์ (Strategy Analysis) และเมื่อทำการประมวลผลขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเสร็จสิ้น ระบบ HDM4 จะทำการสรุปผลการวิเคราะห์ ส่งข้อมูลเข้าระบบฐานข้อมูลกลาง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งต่อไป และสุดท้ายทำการจัดพิมพ์รายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยระบบ HDM-4



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย ระบบ HDM-4

และเมื่อพิจารณาถึงการจัดสรรทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังรูปที่ 5 เริ่มจากการนำเข้าข้อมูล ยานพาหนะ ข้อมูลสายทาง จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองตามลำดับ (Dhingra et al., 2005). ดังนี้

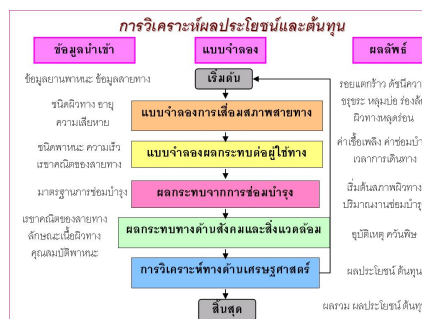
แบบจำลองการเสื่อมสภาพสายทาง นำเข้าข้อมูลเพิ่มเติม ได้แก่ ชนิดผิวทาง อายุ และความเสื่อม ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าแสดงรอยแตกกว้าง ดัชนีชีวิตความขรุขระผิวทาง หลุมบ่อ ร่องล้อ และผิวทางที่หลุดร่อน

แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง นำเข้าข้อมูลเพิ่มเติม ได้แก่ ชนิดยานพาหนะ ความเร็ว และเรขาคณิตของสายทาง ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ไป ค่าซ่อมบำรุง และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง

แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง นำเข้าข้อมูลเพิ่มเติม ได้แก่ มาตรฐานการซ่อมบำรุง ผลลัพธ์ที่ได้คือ ลักษณะผิวทางที่จะทำการซ่อมบำรุง และปริมาณงานซ่อมบำรุง

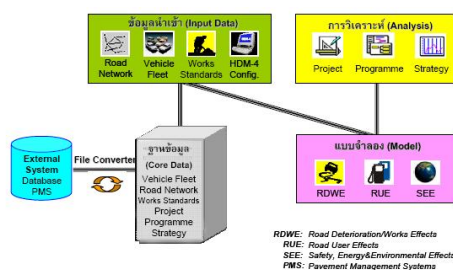
แบบจำลองผลกระทบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม นำเข้าข้อมูลเพิ่มเติม ได้แก่ ลักษณะเรขาคณิตของสายทาง เช่น ทางลาดขึ้น-ลง โค้งซ้าย-ขวา มากน้อยเพียงไร ลักษณะของผิวทาง และคุณสมบัติของยานพาหนะ ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้น และปริมาณของควันพิษ

แบบจำลองการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ นำข้อมูล แบบจำลองนำเข้าก่อนหน้า มาทำการคำนวณค่า ผลตอบแทนต่อการลงทุน และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เพื่อคำนวณผลประโยชน์สูงสุดที่ได้รับ



รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ผลประโยชน์และต้นทุนรวม

จากการนำระบบ HDM-4 มาทดลองใช้ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550 พบว่า ระบบดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการจัดลำดับความสำคัญของงานบำรุงทางหลวง และความแม่นยำทางการเปรียบเทียบแบบจำลอง ดังนั้น ในอนาคตอันใกล้ ปี พ.ศ. 2552 กรมทางหลวงจะทำการพัฒนาระบบ PMS (Pavement Management System) คือ ระบบที่นำข้อมูลและวิธีการบางส่วนจากระบบ HDM-4 มาพัฒนา โดยเน้นการจัดลำดับความสำคัญและงบประมาณตามแผนด้วยวิธี Network Optimization คือ วิธีการทางอัลกอริทึม (algorithm) เพื่อการจัดการระบบเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อใช้ในการวางแผนในระยะเวลา 1 – 5 ปี และสามารถวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เมื่องบประมาณที่ได้รับ ไม่เพียงพอ นอกจากนี้ระบบ PMS ให้มีความสำคัญกับการปรับปรุงแบบจำลองสภาพความเสียหายของสายทาง แบบจำลองทำนายค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงทาง และแบบจำลองจากผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม เพื่อหาผลกระทบจากมลภาวะที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะและการใช้พลังงานที่มีต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย ระบบ PMS

รูปที่ 6 แสดงหลักการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นบนผิวทาง รวมทั้งผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ทาง เช่น สภาพความเสียหายของผิวทาง ปริมาณจราจร เป็นต้น จากนั้นจึงประเมินผลตอบแทนด้านเศรษฐกิจในแต่ละทางเลือก ทั้งนี้ความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ ขึ้นอยู่กับข้อมูลนำเข้าและ การเปรียบเทียบแบบจำลองให้เหมาะสม และการตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ ในโปรแกรม เพื่อการนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้เส้นทาง ชุมชน และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณ

ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาแนวทางการพัฒนาของระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวง ภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณ พบว่า ระบบบริหารงานบำรุงทาง ทุกระบบ สามารถคัดสรรวิธีการซ่อมบำรุงทางที่เหมาะสมกับความต้องการในการบำรุงทางหลวง ณ เวลานั้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปี

ปีงบประมาณ	งบประมาณ(ล้านบาท)	งบประมาณบำรุงทาง (ล้านบาท)
2546	28,651	7,609
2547	31,328	12,962
2548	42,788	11,389
2549	39,053	12,921
2550	45,178	12,482

เมื่อพิจารณาถึงการจัดสรรทรัพยากรด้านการเงินให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังตารางที่ 1 แสดงงบประมาณที่ได้รับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 - 2550 พบว่า งบประมาณรวมในแต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่งบประมาณบำรุงทางหลวง ช่วงปี พ.ศ. 2547-2550 มีแนวโน้มคงที่ ซึ่งไม่เพียงพอต่อปริมาณงานบำรุงทางหลวงทั้งหมดทั่วประเทศ ดังนั้นควรจะนำแบบจำลองการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์มาใช้งาน เพื่อเป็นเครื่องมือในการกลั่นกรองการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ระบบวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง Treatment Matrix ดังตารางที่ 2 แสดงปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกวิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง คือ ค่าความขรุขระสากล IRI ค่าความเสียหายของสภาพผิวทาง ประกอบไปด้วย ค่าความเสียหายหลัก และค่าความเสียหายรอง และค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อปี AADT สำหรับวิธีการซ่อมบำรุงประกอบด้วย ค่า RM คือ งานบำรุงปกติ ค่า SEAL คือ งานฉาบผิวแอสฟัลท์ ค่า OL คือ งานเสริมผิวแอสฟัลท์ REH คือ งานบูรณะทาง ยกตัวอย่างทางหลวงหมายเลข 11 ตอนควบคุม 502 กิโลเมตรที่ 10 - 11 ค่าความขรุขระสากล IRI เท่ากับ 1.57 ค่าความเสียหายสภาพผิวทางหลัก เท่ากับ 0 % และค่าความเสียหายสภาพผิวทางรอง เท่ากับ 0 % และค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อปี AADT เท่ากับ 5658 คันต่อวัน จากนั้น นำไปเปรียบเทียบกับวิธีการซ่อมบำรุง ด้วยระบบวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง Treatment Matrix พบว่า วิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุด ของทางหลวงหมายเลขดังกล่าว คือ การซ่อมบำรุงตามปกติ(Routine Maintenance)

ตารางที่ 2 แสดงระบบวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง Treatment Matrix

Roughness Range (IRI m/km)	Deterioration Minor Major	Traffic Range - AADT							
		< 200	201 - 500	501 - 1,000	1,001 - 2,000	2,001 - 4,000	4,001 - 6,000	6,001 - 10,000	> 10,000
< 3	< 30% < 10%	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM
	> 30% < 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal
	> 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	OL-50
3 - 4	< 30% < 10%	RM	RM	RM	RM	OL-50	OL-50	OL-50	OL-60
	> 30% < 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	OL-60
	> 10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	REH-AC
4 - 5	< 30% < 10%	RM	RM	OL-50	OL-60	OL-60	OL-60	OL-60	REH-AC
	> 30% < 10%	Seal	Seal	OL-50	OL-60	OL-60	OL-60	OL-60	REH-AC
	> 10%	Seal	Seal	OL-50	OL-60	OL-60	OL-60	REH-AC	REH-AC
5 - 6		OL-50	OL-50	OL-60	OL-60	OL-60	OL-80	REH-AC	REH-AC
6 - 8		OL-50	OL-50	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
8 - 10		REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
> 10		REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC

ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทาง ด้วยระบบ TPMS

แขวงทางหลวงชุมพร	ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 0201	กม.44+200 - 44+000 (ชาล่อง)
IRI = 4.86	Deterioration Minor = 19 %	Deterioration Major = 0 %
AADT = 18,220	วิธีการซ่อมบำรุง = REH-AC	

จากตารางที่ 3 แสดงตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทาง ด้วย ระบบ TPMS ของ

แนวทางการทางชุมพร ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 0201 กม.44+200 – 44+000 (ชาล่อง)
 ค่าความขรุขระสากล IRI เท่ากับ 4.86 ค่าความเสียหายสภาพผิวทางหลัก เท่ากับ 19 % และค่าความ
 เสียหายสภาพผิวทางรอง เท่ากับ 0 % และค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อปี AADT เท่ากับ 18,220 คัน
 ต่อวันต่อปี จากนั้น นำไปเปรียบเทียบกับวิธีการซ่อมบำรุง ด้วยระบบวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทางหลวง
 Treatment Matrix ดังตารางที่ 2 พบว่า วิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุด ของทางหลวงหมายเลข
 ดังกล่าว คือ งานซ่อมบูรณะทางผิวแอสฟัลท์ REH-AC (Rehabilitation with Granular Base and
 50mm Asphaltic Concrete)

ข้อสังเกต ระบบ TPMS นำมาใช้ในการกำหนดทางเลือกในการซ่อมบำรุงทางเท่านั้น และไม่สามารถศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละโครงการเพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการดำเนินงานตามโครงการว่าคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการหรือไม่

จากรูปที่ 7 แสดงตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ด้วย ระบบ TPMS Budgeting ของแขวงทางหลวง
เชียงใหม่ที่ 2 ทางหลวงหมายเลข 1317 ตอนควบคุม 101 ระหว่าง กม.11+000 ถึง กม.20+000
พบว่า ระหว่าง กม.11+400 - 11+600 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value, NPV) สูงสุด เท่ากับ
9.4 ล้านบาท และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (Benefit cost Ratio, B/C) สูงสุด เท่ากับ 21.8
เมื่อทำการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงทางงานบูรณะทางผิวแอสฟัลท์ (R2) และจำเป็นต้องใช้งบประมาณ
250,000 บาท สำหรับการบำรุงรักษาบริเวณดังกล่าว

ข้อสังเกต ระบบ TPMS Budgeting เหมาะสมในคัดเลือกวิธีการบำรุงทางหลวง ภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณ โดยสามารถวางแผนการบำรุงทางหลวงระยะสั้น ทุก 1 ปี เท่านั้น ไม่สามารถวางแผนงานบำรุงทางหลวงระยะกลาง ถึงระยะยาว และไม่สามารถวางแผนงานบำรุงทางระดับโครงข่ายสายทาง

[illegible]

รูปที่ 7 แสดงตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทาง ด้วยระบบ TPMS Budgeting

[illegible]

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงทาง ด้วยโปรแกรม ระบบ HDM-4

จากรูปที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงและค่าซ่อมบำรุง ของแผนงานทางในสังกัดสำนักงานหลวงที่ 4 (พิษณุโลก) ด้วยโปรแกรม HDM-4 ของแผนงบประมาณ 5 ปี พบว่า ในแต่ละแผนงานทางในสังกัด จะมีวิธีการซ่อมบำรุงทางแตกต่างกัน ตามสภาพความจำเป็นในการบำรุงทาง โดยระบบ HDM-4 จะทำการวิเคราะห์วิธีการที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงทาง ภายใต้งบประมาณอันจำกัด

ข้อสังเกต ระบบ HDM-4 สามารถวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงเพื่อการทำแผนงบประมาณระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว แต่ไม่สามารถจัดลำดับความสำคัญของโครงการ และสร้างระบบเครือข่ายเชื่อมโยงเพื่อการจัดการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 4 สรุปการเปรียบเทียบระบบบริหารงานบำรุงทาง

ชื่อระบบ	เริ่มใช้งาน	ข้อมูลที่ใช้	หลักการ/วิธีการวิเคราะห์	ผลลัพธ์/รายงาน	หมายเหตุ
TPMS	2530	ความเรียบผิวทาง	Treatment Matrix	ค่าความเสียหายผิวทาง	วิเคราะห์ด้านความเสียหายผิวทาง
TPMS Budget	2534	ความเรียบผิวทางและอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน	Treatment Matrix and B/C ratio	ค่าความเสียหายผิวทาง และ ผลตอบแทนต่อการลงทุน	วิเคราะห์ด้านความเสียหายผิวทาง และวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์
HDM-4	2549	ความเรียบผิวทาง อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุนและโครงข่ายทางหลวง	Treatment Matrix, B/C ratio and Sensitivity Analysis	ค่าความเสียหายผิวทาง ผลตอบแทนต่อการลงทุน และ งบประมาณในแต่ละปี	วิเคราะห์ด้านความเสียหายผิวทาง วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ และวิเคราะห์งบประมาณ
PMS	2552	ความเรียบผิวทาง อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน โครงข่ายทางหลวง ข้อมูลสิ่งแวดล้อม และงบประมาณโดยรวม	Treatment Matrix, B/C ratio, Sensitivity Analysis and Budget Scenario Analysis	ค่าความเสียหายผิวทาง ผลตอบแทนต่อการลงทุน งบประมาณในแต่ละปี และ ลำดับความสำคัญของโครงการ	วิเคราะห์ด้านความเสียหายผิวทาง วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ วิเคราะห์งบประมาณ และวิเคราะห์ระดับโครงการ

สรุปผลการศึกษา

กรมทางหลวงให้ความสำคัญต่อการพัฒนาของระบบบริหารงานบำรุงทางอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มจากการพัฒนาระบบ TPMS เน้นการคัดเลือกวิธีการซ่อมบำรุงทางหลวงที่เหมาะสม ต่อมาระบบ TPMS Budgeting เน้นการศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ ต่อมาระบบ HDM-4 เน้นการวางแผนจัดสรรงบประมาณระยะยาว และการพัฒนาในอนาคต ระบบ PMS เน้นการจัดสรรงบประมาณตามลำดับความสำคัญ และการสร้างระบบเครือข่ายเชื่อมโยงเพื่อการจัดการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวิธีการซ่อมบำรุง การจัดสรรงบประมาณ และการจัดลำดับความสำคัญของโครงการภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณ

ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าจะมีการพัฒนาระบบบริหารงานบำรุงทางอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญใน

การช่วยตัดสินใจของผู้บริหารด้านการวางแผนการบำรุงทางหลวง แต่ยังต้องคำนึงถึงองค์ประกอบเสริม ได้แก่ ความต้องการของประชาชนในพื้นที่ การพัฒนาทางหลวงเพื่อการเมือง การปกครอง การพัฒนาทางหลวงเพื่อความมั่นคง การพัฒนาทางหลวงเพื่อความปลอดภัย และการพัฒนาทางหลวงในเชิงอนุรักษ์ และเหนืออื่นใด การมีวิสัยทัศน์ที่มองการณ์ไกล ของผู้บริหารกรมทางหลวงเป็นสิ่งสำคัญต่อการจัดสรรโครงการที่เหมาะสม และสอดคล้องกับงบประมาณที่จำกัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์บริการวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความร่วมมือในการศึกษาโครงการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสภาพความเสียหายของทางพื้นที่ภาคเหนือ ด้วยดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2550). **โครงการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสภาพความเสียหายของทางพื้นที่ภาคเหนือ**. ศูนย์บริการวิชาการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐพล ทองภูเกียรติกุล. (2545). **การวางแผนงานบำรุงรักษาผิวทางโดยใช้แบบจำลองค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่เหมาะสม**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมชาย เดชภักดีนวมงคล และคณะ. (2551). **การจัดสรรงบประมาณตามลำดับความสำคัญของงานบำรุงรักษาทางหลวงในพื้นที่สำนักทางหลวงที่ 4 (พิษณุโลก) ด้วยระบบวิเคราะห์วิธีซ่อมบำรุงทาง (HDM-4)**. การประชุมวิชาการ “นเรศวรวิจัย” ครั้งที่ 4 การบริหารนวัตกรรม ปีการศึกษา 2551. พิษณุโลก. สถาบันบริหารงานวิจัยและพัฒนา. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- Dhingra S. L , Daba Shabara, and Habtamu Melese Zelelew. (2005). **Predicting Flexible Pavement Performance Using Highway Development and Management(HDM-4)**. Accepted the Third Gulf Conference on Roads (TGCR06).
- N.D. Lea International Ltd. (1992). **Final Report, Road Maintenance Project, Thailand (ADB TA-1106-THA)**. Department of Highways. Thailand.
- Ul-Islam, R. and K. Tsunokawa. (2004). Identification of Appropriate Routine Maintenance Works for Main Roads and Local Roads using HDM-4. Proc. of the 6th International Conference on Managing Pavements (ICMP-6). Brisbane. Queensland. Australia.