

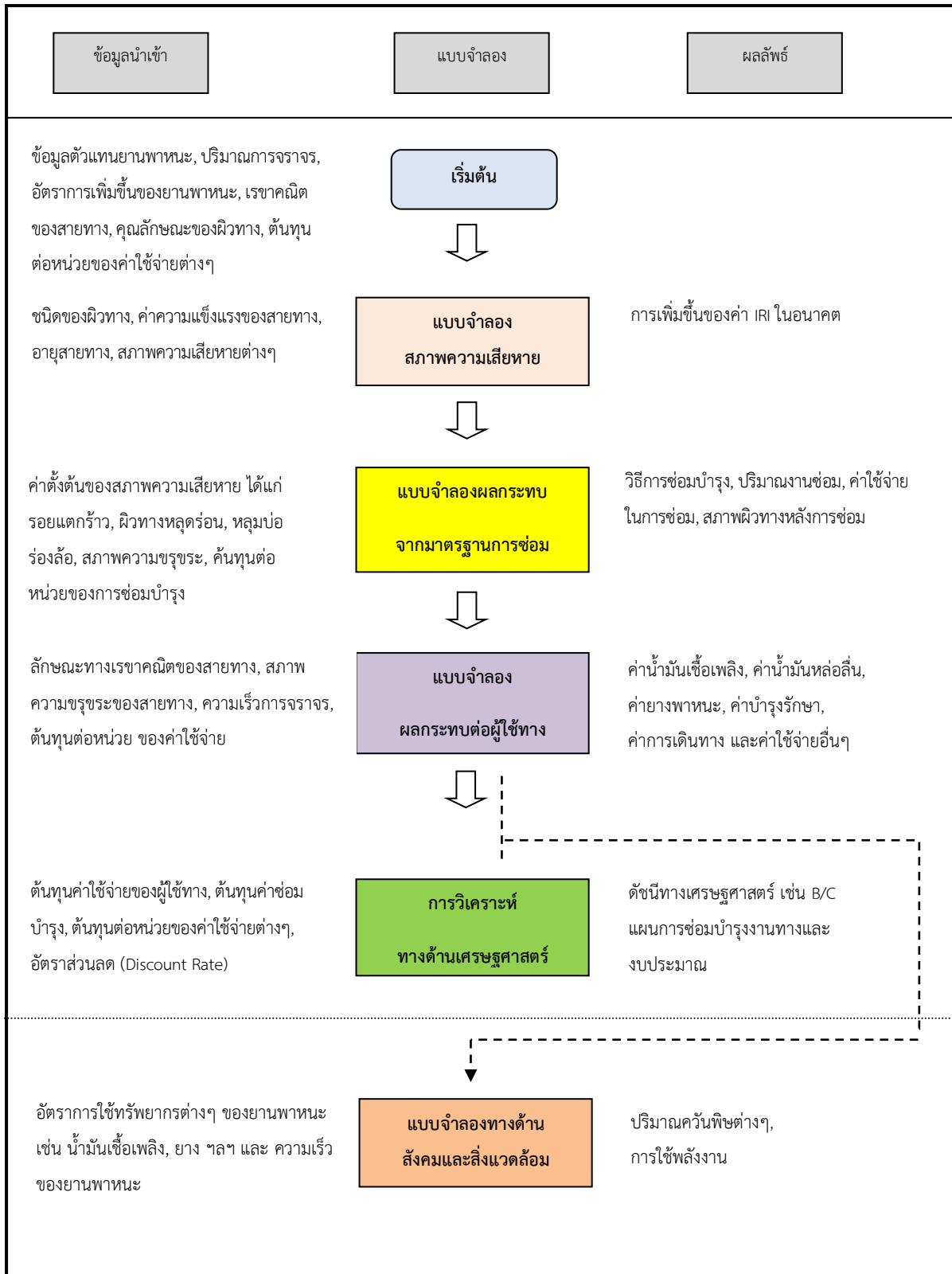
คู่มือการดูแลรักษาระบบบริหารงานบำรุงทาง

กรมทางหลวง มุ่งมั่นและให้ความสำคัญในด้านการบำรุงทาง โดยสำนักบริหารบำรุงทาง เป็นหน่วยงานหลักที่มีหน้าที่ในงานดำเนินการก่อสร้างควบคุม บำรุง และบำรุงรักษาทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง ซึ่งมีมากกว่า 60,000 กิโลเมตร กรมทางหลวงจึงได้นำระบบบริหารงานบำรุงทางมาใช้งาน ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2530 และได้พัฒนาโปรแกรมบริหารงานบำรุงทางในปี พ.ศ. 2552 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาแผนการซ่อมบำรุงรักษาทางที่เหมาะสมต่อสภาพความเสียหายและลักษณะการใช้งานสายทาง

แต่ในปัจจุบัน ทางกรมทางหลวงได้มีการปรับปรุงและสอบเทียบ (Calibrate) สมการต่างๆ ในแบบจำลองของโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง รวมถึงวิธีการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงมีการพัฒนาให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้นตามเทคโนโลยีด้านการทางที่พัฒนาขึ้น จึงควรนำข้อมูลที่มีอยู่มาเพิ่มเติมและพัฒนาต่อยอดระบบโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (TPMS) นอกเหนือจากนั้นเนื่องจากโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (TPMS) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นเวลานานจึงมีข้อจำกัด เช่น โปรแกรม TPMS ไม่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลเข้ากับระบบฐานข้อมูลสภาพทางของกรมทางหลวงอย่างสมบูรณ์ การใช้งานโปรแกรม TPMS ต้องติดตั้งโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่โปรแกรมฯ จึงควรมีการปรับปรุงรูปแบบ เงื่อนไขในการวิเคราะห์ วิธีการซ่อมบำรุง รูปแบบการนำเสนอผลการวิเคราะห์ ตลอดจนปรับปรุงโปรแกรมให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน และรูปแบบรายงานให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานในปัจจุบันของกรมทางหลวง

1. ข้อมูลพื้นฐาน และแบบจำลองต่างๆ ในโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (TPMS)

ข้อมูลแบบจำลองต่างๆ ภายในโปรแกรม TPMS ประกอบไปด้วยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ จัดสรรงบประมาณบำรุงทาง ได้แก่ แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทาง (Deterioration Model) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect Model) แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง (Road User Effect Model) แบบจำลองทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม (Social & Environmental Model) และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการซ่อมบำรุงและจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุง ซึ่งแบบจำลองทั้งหมดที่กล่าวมานั้นมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงต่อกัน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความเชื่อมโยงของแบบจำลองต่างๆ ในการวิเคราะห์งบประมาณบำรุงทาง

1. แบบจำลองการเสื่อมสภาพความขรุขระของผิวทาง

แบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทางลาดยาง ใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เป็นดัชนีชี้วัดสภาพความขรุขระผิวทาง โดยในแบบจำลองต้นแบบของ HDM-4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความขรุขระผิวทาง ได้แก่ ความแข็งแรงโครงสร้างทาง ปริมาณจราจร ความเสียหายผิวทาง และสภาพแวดล้อม ซึ่งได้ปรับแก้แบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่าย โดยไม่นำตัวแปรปริมาณความเสียหายผิวทาง (รอยแตก ร้าว ร่องล้อ หลุมบ่อ) ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความขรุขระผิวทาง มารวมในสมการทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง แต่ใช้อายุการใช้งานของผิวทางเป็นตัวแทนผลกระทบของความเสียหายผิวทางที่มีต่อความขรุขระผิวทาง

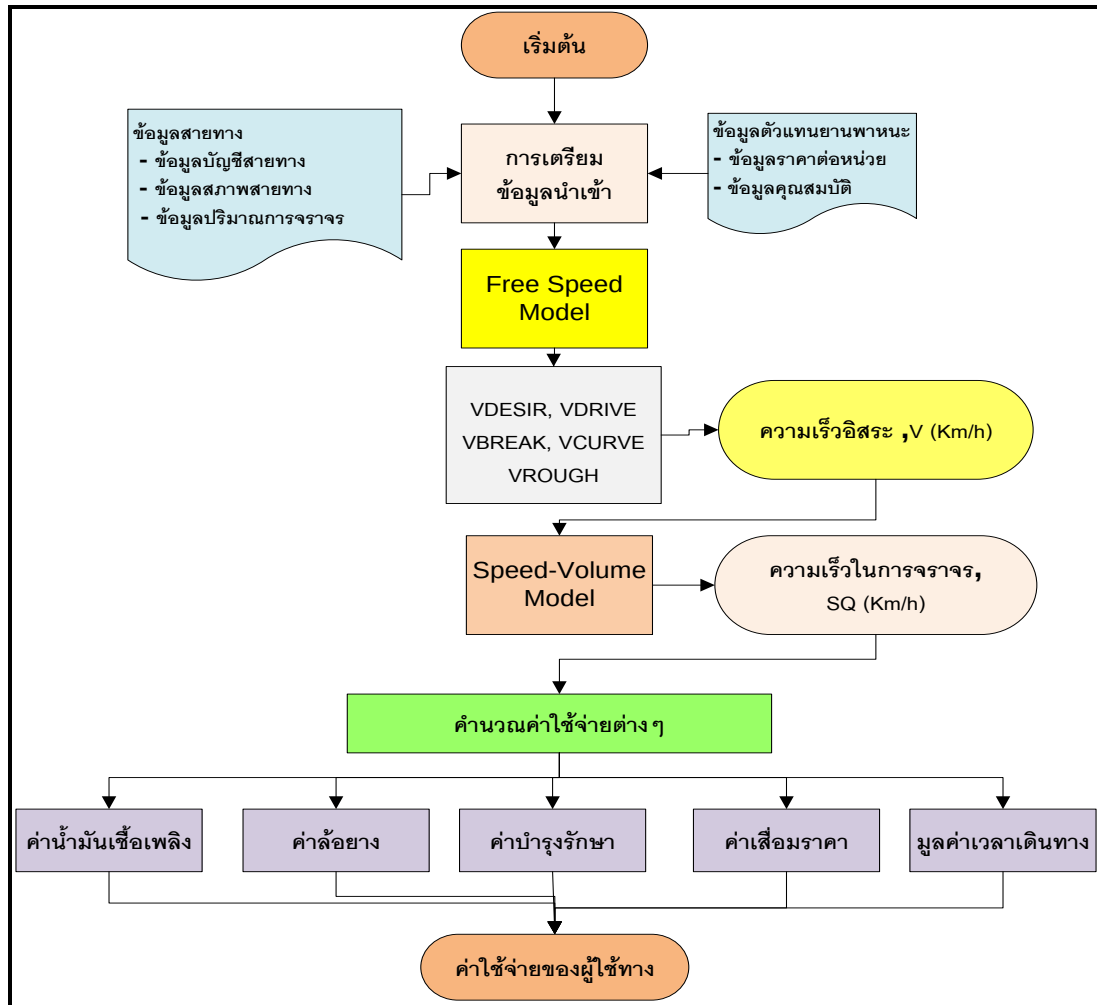
2. แบบจำลองผลกระทบจากมาตรฐานการซ่อมบำรุง (Work Effect Model)

แบบจำลองผลกระทบจากมาตรฐานการซ่อม เป็นการศึกษาดังสภาพสายทางแอสฟัลต์หลังการซ่อมบำรุง ซึ่งวิธีการซ่อมบำรุงต่างกันจะส่งผลให้สภาพสายทางหลังการซ่อมมีความแตกต่างกัน สำหรับแบบจำลองผลกระทบจากมาตรฐานการซ่อมนี้ได้พัฒนาขึ้น เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในการวิเคราะห์แผนงบประมาณการซ่อมบำรุงทาง โดยมีความสัมพันธ์กับแบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทาง (Deterioration Model) และแบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง (Road User Effect Model)

3. แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง (Road User Effect Model)

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่กระทบต่อผู้ใช้ทางนั้น ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง จะพิจารณาเฉพาะกลุ่มตัวแทนยานพาหนะที่มีเครื่องยนต์ โดยการเลือกยี่ห้อและรุ่นของตัวแทนยานพาหนะแต่ละประเภท โดยคัดเลือกจากสถิติการจดทะเบียนของกรมขนส่งทางบก เพื่อใช้สำหรับกำหนดราคาตัวแทนยานพาหนะในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางตัวอย่างตัวแทนยานพาหนะ

โดยแบบจำลองเริ่มจากการวิเคราะห์ความเร็วที่ได้รับผลกระทบจากปริมาณจราจร โดยพิจารณา ร่วมกับ ความกว้างของผิวทาง ซึ่งความเร็วในการขับจะแปรผกผันกับปริมาณการจราจรและจะแปรผันตามความกว้างของผิวทาง เมื่อสามารถคำนวณค่าความเร็วนี้ได้ ลำดับถัดมาจะนำความเร็วนี้ไปใช้ในการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองและค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผู้ใช้ทาง ซึ่งได้แก่ ค่าพลังงานเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าซ่อมบำรุงรักษา ค่าเสื่อม และค่าเวลาในการเดินทาง ในลำดับสุดท้ายจะเป็นการรวมค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ต่อไป ขั้นตอนการคำนวณดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการคำนวณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง

4. แบบจำลองผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม (Social & Environmental Model)

การพัฒนาแบบจำลองทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมสำหรับโครงการนี้ได้อ้างอิงแบบจำลองในระบบ HDM-4 โดยปรับให้เหมาะสมกับการใช้งานซึ่งต้องสอดคล้องกับระบบฐานข้อมูล ซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบัน ประกอบด้วยแบบจำลอง 2 ส่วน ได้แก่ Energy Model และ Emission Model ผลลัพธ์ของแบบจำลองทั้งสองจะแสดงให้เห็นผลกระทบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมในรูปของค่าความแตกต่างของปริมาณพลังงานที่ใช้ที่เกิดจากการเลือกใช้ทางเลือกในการซ่อมบำรุงแนวทางต่างๆ

2. การสอบเทียบในแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง และแบบจำลองผลกระทบจากมาตรฐานการซ่อมบำรุง

การสอบเทียบในแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง และแบบจำลองผลกระทบจากมาตรฐานการซ่อมบำรุง เป็นการสอบเทียบแบบจำลองดังกล่าวโดยคำนึงถึงลักษณะข้อมูลของกรมทางหลวงในปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

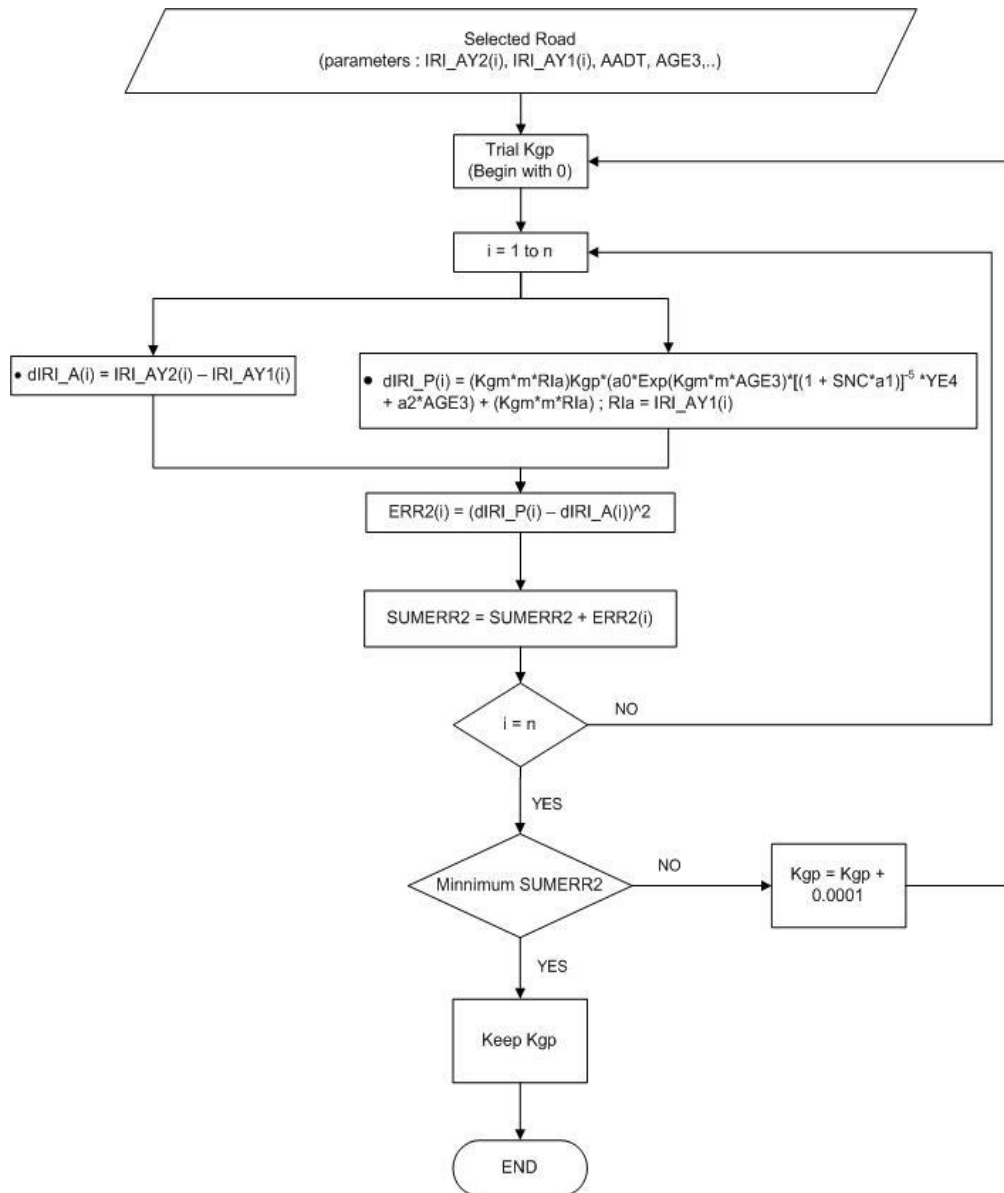
1. แบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทางลาดยาง

การทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทางลาดยาง จะมีตัวแปรที่จำเป็นจะต้องมีการปรับแก้ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานของกรมทางหลวง ซึ่งจะมีการปรับแก้ค่า KGP ซึ่งในการสอบเทียบค่า KGP จำเป็นต้องคัดเลือกสายทางของกรมทางหลวงที่มีการจัดเก็บดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) เพิ่มขึ้นตลอดทุกปีต่อเนื่องกันเป็นข้อมูลตัวอย่าง จากนั้นหาค่าความแตกต่างของ IRI จากค่าจริงของแต่ละช่วงกิโลเมตร (dIRI_Actual) และคำนวณค่าความแตกต่างของ IRI ของช่วงกิโลเมตรเดียวกันจากแบบจำลอง (dIRI_model) โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยสายทางที่ใช้ในการพิจารณาจะเป็นสายทางที่ไม่มีการดำเนินงานซ่อมบำรุงประเภทอื่นๆ นอกเหนือจากการซ่อมบำรุงปกติ (Routine Maintenance)

การปรับแก้ค่าคงที่ Kgp โดยวิธีการคัดเลือกค่า Kgp ที่ส่งผลให้ค่า IRI ที่คำนวณได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่า IRI จริงมากที่สุด จากนั้นตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างข้อมูลจริงที่สำรวจกับค่าดัชนีความขรุขระสากลที่ได้จากการทำนาย ซึ่งหากค่า R^2 ยังมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันสูงซึ่งการปรับแก้ค่า Kgp นี้ สำหรับวิธีการปรับแก้ค่า Kgp มี 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

■ การคัดเลือกค่า Kgp ที่ส่งผลให้ค่า IRI ที่คำนวณได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่า IRI จริงมากที่สุด

วิธีการคัดเลือกเริ่มจากการคัดเลือกสายทางที่ค่า IRI เพิ่มขึ้นตลอดทุกปีต่อเนื่องกันเป็นข้อมูลตัวอย่าง จากนั้นหาค่าความแตกต่างของ IRI จากค่าจริงของแต่ละช่วงกิโลเมตร (dIRI_Actual) และคำนวณค่าความแตกต่างของ IRI ของช่วงกิโลเมตรเดียวกันจากแบบจำลอง (dIRI_model) โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ตามสมการที่ (1) ซึ่งจะทำการสมมติค่า Kgp ขึ้นมาก่อน 1 ค่า หลังจากนั้นหาค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Error Square) ของความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าจากแบบจำลอง สำหรับช่วงกิโลเมตรนั้นๆ แล้วจึงรวมค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Sum of Error Square) ของทุกช่วงกิโลเมตรตัวอย่าง ทำการเปลี่ยนค่า Kgp แล้วคำนวณซ้ำ เพื่อหาค่า Kgp ที่ดีที่สุด ซึ่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองโดยรวมของ dIRI น้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปตาม Flow Chart ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Flow Chart แสดงขั้นตอนการปรับแก้ค่า Kgp

■ การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างข้อมูลจริงที่สำรวจกับค่าดัชนีความขรุขระสากลที่ได้จากการทำนาย ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง โดยใช้สมการนี้ในการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

$$R^2 = 1 - (\sum (dIRI_{model} - dIRI_{actual})^2) / (\sum (dIRI_{actual} - IRI_{avg})^2)$$

โดยที่ R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

$dIRI_{model}$ = ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่พยากรณ์ได้โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

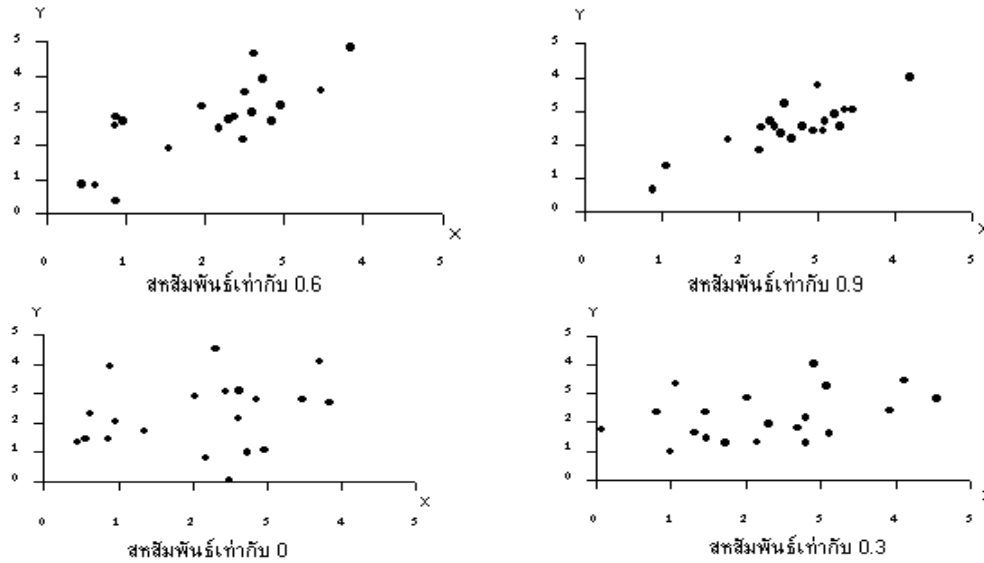
$dIRI_{actual}$ = ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริง

IRI_{avg} = ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริง

การหาค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ใช้สัญลักษณ์ R^2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกันและความใกล้เคียงเท่าไร โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ดังรูปที่ 4

- ถ้า R^2 มีค่าสูง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีความใกล้เคียงกันมาก มีความสัมพันธ์กันสูง
- ถ้า R^2 มีค่าต่ำ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีความใกล้เคียงกันน้อยมีความสัมพันธ์กันต่ำ
- ถ้า R^2 มีค่าเป็น 0 แสดงว่าตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

การวิเคราะห์แบบจำลองที่พัฒนาว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด สามารถดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) แบบจำลองยิ่งที่มีค่า R^2 ใกล้ 1 แสดงว่าผลที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับสภาพหน้างานจริงมีความสัมพันธ์กันมาก สามารถพยากรณ์ค่าความขรุขระสากลได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

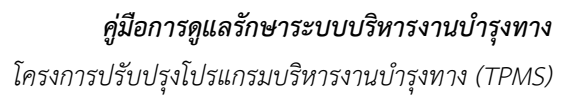


รูปที่ 4 การกระจายของข้อมูลที่มีค่ากลางและการกระจายเหมือนกันแต่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน

จากที่ได้กล่าวข้างต้น วิธีการคัดเลือกเริ่มจากการคัดเลือกสายทางที่ค่า IRI เพิ่มขึ้นตลอดทุกปี ต่อเนื่องกันเป็นข้อมูลตัวอย่าง โดยในช่วงปีที่นำมาใช้ในสอบเทียบจะต้องไม่มีการดำเนินการซ่อมบำรุง ดังนั้น ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการสอบเทียบมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- รหัสทางหลวง ตอบควบคุม
- กม.เริ่มต้น และ กม.สิ้นสุด
- จำนวนช่องจราจร
- อายุการใช้งาน (ปี)
- ดัชนีความขรุขระสากลในแต่ละปี (ม./กม.)
- ปริมาณจราจร (AADT) ปริมาณรถบรรทุกหนัก
- ค่าการแอ่นตัวของผิวทาง (ถ้ามี)
- มาตรฐานชั้นทางของสายทางที่คัดเลือก
- ประวัติการซ่อมบำรุงผิวทาง

ซึ่งดำเนินการ ดังกล่าวสามารถใช้ข้อมูลจาก สำนักบริหารบำรุงทาง เพื่อดำเนินการสอบเทียบข้อมูล และทดสอบความน่าเชื่อถือ ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลเพื่อสอบเทียบค่า KGP

2. แบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทาง

การสอบเทียบแบบจำลองค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทางเป็นการตรวจสอบข้อมูลตัวแทนยานพาหนะ ซึ่งจดทะเบียนกับกรมการขนส่งทางบก ย้อนหลัง 5 ปี เพื่อคัดเลือกตัวแทนยานพาหนะ และสืบค้นข้อมูล ประกอบอื่นๆ สำหรับใช้ในการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน เช่น ข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน น้ำมัน เชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น อัตราค่าแรงในการซ่อมบำรุง เป็นต้น โดยมีรายละเอียด ที่ได้ทำการปรับปรุงข้อมูล โดยอ้างอิง กรมบัญชีกลาง และ สำนักงานประมาณ ณ มีนาคม 2560 ดังตารางที่ 1



ตารางที่ 1 การปรับปรุงข้อมูลค่าใช้จ่ายผู้ใช้ทาง

รายละเอียด	ยี่ห้อ/รุ่น	%	ราคา (บาท)	ราคาทาง (บาท/เส้น)	ชนิด	จำนวนล้อ
จักรยานยนต์และสามล้อเครื่อง	HONDA/WAVE 110	19.7%	34,400	400	70/90-17M/C	2
รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน	TOYOTA/VIOS	38.0%	531,000	2,050	185/60 R15	4
รถยนต์นั่งเกิน 7 คน	TOYOTA/FORTUNER	57.7%	1,104,000	5,500	265/65 R17	4
รถโดยสารขนาดเล็ก	TOYOTA/COMMUTER	74.1%	1,158,000	2,660	195R15C	4
รถโดยสารขนาดกลาง	SUNLONG/MINIBUS	26.8%	2,500,000	10,000	295/75R22.5	6
รถโดยสารขนาดใหญ่	SUNLONG/BUS	31.6%	3,500,000	10,000	11R22.5	8
รถบรรทุกขนาดเล็ก (4 ล้อ)	TOYOTA/REVO	33.6%	740,000	2,200	205/70R 15C	4
รถบรรทุกขนาด 2 เพลา (6 ล้อ)	ISUZU/ FTR	50.6%	1,500,000	10,000	11R22.5	6
รถบรรทุกขนาด 3 เพลา (10 ล้อ)	ISUZU/ FVM	45.3%	3,500,000	10,000	11R22.5	10
รถบรรทุกพ่วง (มากกว่า 3 เพลา)	HINO/GY SERIES 12 wheels 8x4	32.3%	4,000,000	10,000	11R22.5	32
รถบรรทุกกึ่งพ่วง (มากกว่า 3 เพลา)	HINO/FM Series	35.2%	4,500,000	10,000	11R22.5	32

3. แบบจำลองผลกระทบจากมาตรฐานการซ่อมบำรุง (Work Effect Model)

- แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณค่า IRI หลังจากฉาบผิวทางลาดยางในระบบ TPMS โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$RI_a = RI_b - \text{MAX}\{0, \text{MIN}[A_0 * (RI_b - 2.85), 0.06 * Hsl]\}$$

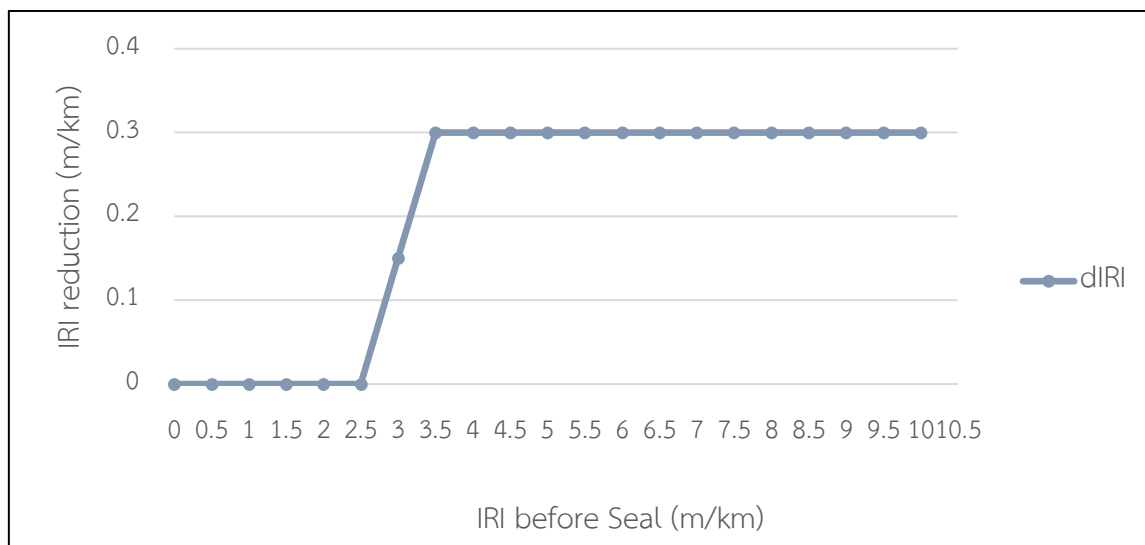
$$RI_a = \text{IRI หลังการฉาบผิว (m/km)}$$

$$RI_b = \text{IRI ก่อนการฉาบผิว (m/km)}$$

$$Hsl = \text{ความหนาของการฉาบผิว (mm)}$$

$$A_0 = 1 \text{ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)}$$

ซึ่งเมื่อทำการสอบเทียบแบบจำลอง ณ มีนาคม 2560 ในการคำนวณค่า IRI หลังจากการฉาบผิวทางลาดยางพบว่า ช่วงของค่า IRI ก่อนการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมในการเลือกวิธีการซ่อมแบบฉาบผิว คือ มากกว่า 2.5 m/km ขึ้นไปเนื่องจากส่งผลให้ค่า IRI หลังการซ่อมบำรุงลดลง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI เมื่อมีการฉาบผิว

- แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณค่า IRI หลังจากเสริมผิวทางในระบบ TPMS ได้อ้างอิงจาก HDM-4 โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$\Delta R_{Ia} = \max\{0, A_0[\min(a_1, R_{Ibw}) - a_2] + a_3 \max[0, (R_{Ibw} - a_1)]\}$$

$$R_{Iaw} = R_{Ibw} - \Delta R_{Ia}$$

โดยที่

A_0 = 0.9 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)

a_1 = $\max\{4.0, 2.1 \exp[0.019 HSNEWaw]\}$

a_2 = $1 + 0.018 \max[0, (100 - HSNEWaw)]$

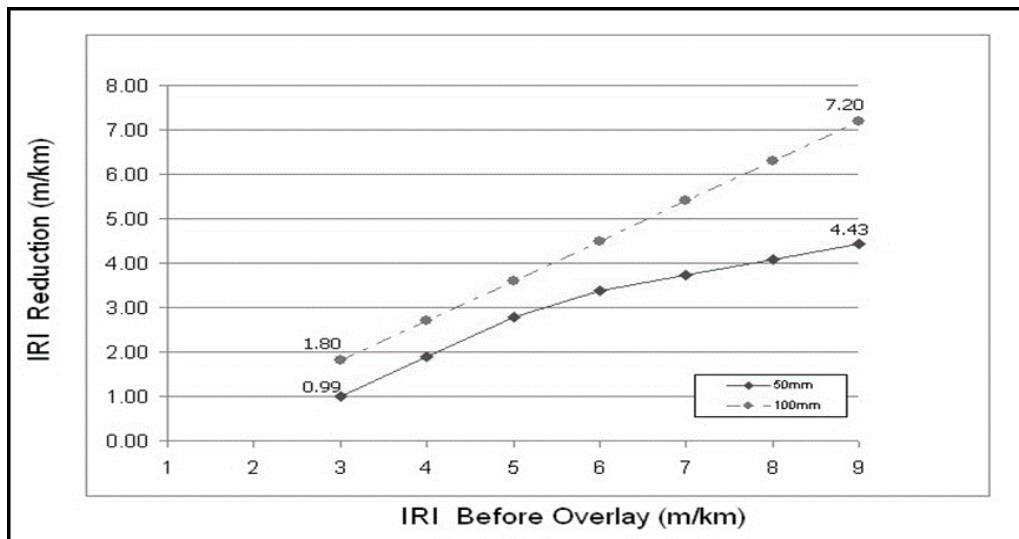
a_3 = $\min\{a_0, \max[0, (0.01 HSNEWaw - 0.15)]\}$

ΔR_{Ia} = การลดค่าของค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง

R_{Ibw} = ค่า IRI ก่อนการเสริมผิวทาง (m/km)

R_{Iaw} = ค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง (m/km)

$HSNEWaw$ = ความหนาของการเสริมผิวทาง (mm)



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI เมื่อทำการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Overlay

- การซ่อมบำรุงด้วยวิธีบูรณะผิวทาง เป็นการรื้อซ่อมตั้งแต่ชั้นโครงสร้างทาง จากนั้นจึงลาดผิวทางใหม่ด้วยแอสฟัลต์ ดังนั้นค่า IRI หลังจากการซ่อมด้วยวิธีนี้จะมีค่าเทียบเท่ากับถนนใหม่ ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลค่า IRI ของกรมทางหลวง พบว่าสายทางที่มีอายุการใช้งานมาแล้วประมาณ 1 ปี จะมีค่า IRI อยู่ประมาณ 1.50 - 2.10 ดังนั้นการกำหนดค่า IRI หลังการซ่อมด้วยวิธีบูรณะผิวทางจึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2.0 m/km

3. เงื่อนไขการเลือกวิธีการซ่อมบำรุง

การกำหนดเงื่อนไขที่ใช้วิเคราะห์สำหรับเลือกวิธีการซ่อมบำรุง โดยจากประชุมรวมระหว่างที่ปรึกษาและคณะทำงานของกรมทางหลวง เพื่อสรุปเงื่อนไขการซ่อมบำรุงข้อมูลที่ต้องใกล้เคียงกับการเลือกวิธีการซ่อมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งได้เงื่อนไขการซ่อม ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางที่ปรับเปลี่ยนตามความต้องการของคณะทำงานกรมทางหลวง

วิธีการซ่อม	เงื่อนไขการซ่อม
Paraslurry	$0 \leq \text{IRI} \leq 2.5$ และ $0\% < \text{Cracking Area} \leq 5\%$ หรือ $\text{Age} \geq 3$ ปี
AC Overlay 5.0 cm	$0 \leq \text{IRI} \leq 3$ และ $0\% < \text{Cracking Area} \leq 5\%$ และ อายุผิวทาง ≥ 2 ปี หรือ $0 \leq \text{IRI} \leq 3$ และ $0 \text{ mm} < \text{Rutting} < 30 \text{ mm}$ และ อายุผิวทาง ≥ 2 ปี
Milling+Overlay 5.0 cm	$0 \leq \text{IRI} \leq 4$ และ $0\% < \text{Cracking Area} \leq 5\%$ และ อายุผิวทาง ≥ 2 ปี หรือ $0 \leq \text{IRI} \leq 4$ และ $0 \text{ mm} < \text{Rutting} < 50 \text{ mm}$ และ อายุผิวทาง ≥ 2 ปี
Recycling 5 cm	$0 < \text{IRI} \leq 100$ และ $0\% < \text{Cracking Area} < 100\%$ และ $\text{AADT} < 2,000$ และ อายุผิวทาง ≥ 2 ปี หรือ $0 \text{ mm} < \text{Rutting} \leq 50 \text{ mm}$ และ $\text{AADT} < 2,000$ และ อายุผิวทาง ≥ 2 ปี
Recycling 10 cm	$0 < \text{IRI} \leq 100$ และ $0\% < \text{Cracking Area} < 100\%$ และ $\text{AADT} \geq 2,000$ และ อายุผิวทาง ≥ 2 ปี หรือ $0 \text{ mm} < \text{Rutting} \leq 50 \text{ mm}$ และ $\text{AADT} \geq 2,000$ และ อายุผิวทาง ≥ 2 ปี



ตารางที่ 3 เงื่อนไขการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตที่ปรับเปลี่ยนตามความต้องการของคณะทำงานกรมทางหลวง

วิธีการซ่อม	เงื่อนไขการซ่อม
FD	$0 < \text{High Cracking}$
FD+SS	$0 < \text{High Cracking}$ และ $0 < \text{Low Crack}$ หรือ $0 < \text{High Cracking}$ และ $0 < \text{Faulting}$
FD+SS+JS	$0 < \text{High Cracking}$ และ $0 < \text{Low Crack}$ และ $0 < \text{Joint Seal Damage}$ หรือ $0 < \text{High Cracking}$ และ $0 < \text{Faulting}$ และ $0 < \text{Joint Seal Damage}$
FD+SS+JS+OL	$0 < \text{High Cracking}$ และ $0 < \text{Low Crack}$ และ $0 < \text{Joint Seal Damage}$ และ $4.5 < \text{IRI}$ หรือ $0 < \text{High Cracking}$ และ $0 < \text{Faulting}$ และ $0 < \text{Joint Seal Damage}$ และ $4.5 < \text{IRI}$
SS	$0 < \text{Low Crack}$ หรือ $0 < \text{Faulting}$
SS+JS	$0 < \text{Low Crack}$ และ $0 < \text{Joint Seal Damage}$ หรือ $0 < \text{Faulting}$ และ $0 < \text{Joint Seal Damage}$
SS+JS+OL	$0 < \text{Low Crack}$ และ $0 < \text{Joint Seal Damage}$ และ $4.5 < \text{IRI}$ หรือ $0 < \text{Faulting}$ และ $0 < \text{Joint Seal Damage}$ และ $4.5 < \text{IRI}$
js	$0 < \text{Joint Seal Damage}$
JS+OL	$0 < \text{Joint Seal Damage}$ และ $4.5 < \text{IRI}$
OL	$4.5 < \text{IRI}$

4. องค์ประกอบภายในระบบ TPMS ที่จะพัฒนา

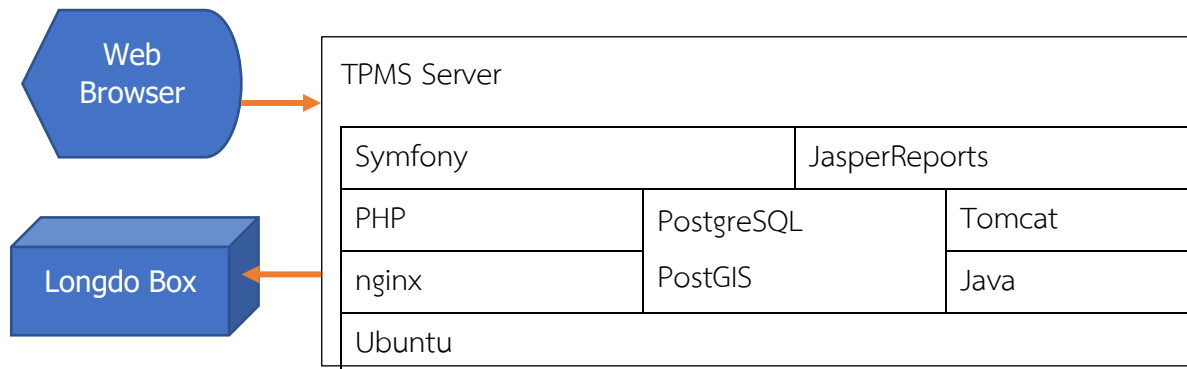
องค์ประกอบในการพัฒนาระบบ TPMS ถูกพัฒนาให้ทำงานในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน กล่าวคือ ผู้ใช้งานสามารถใช้ระบบผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมใดๆ เพิ่มเติม ส่วนโปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายเว็บ มีองค์ประกอบของเทคโนโลยีต่างๆ ที่นำมาใช้และพัฒนาเพิ่มเติม ดังนี้

- PostgreSQL Database และ PostGIS Extension: ทำหน้าที่เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลและจัดการข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศ
- nginx Web Server: ทำหน้าที่เป็นโปรแกรมแม่ข่ายเว็บสำหรับรับคำสั่งจากผู้ใช้งานเว็บเบราว์เซอร์
- PHP Engine: ทำหน้าที่เป็นระบบพื้นฐานเพื่อรองรับการทำงานของเว็บ
- Symfony Content Management Framework: ทำหน้าที่เป็นโปรแกรมบริหารและแสดงข้อมูลภายในเว็บทั้งหมด รวมทั้งส่วนของการบริหารผู้ใช้งาน
- Java Runtime Environment: ทำหน้าที่เป็นระบบพื้นฐานเพื่อรองรับงานประมวลผลข้อมูล
- Apache Tomcat: ทำหน้าที่ประมวลผลคำสั่ง เป็นระบบพื้นฐานที่รองรับการทำงานของระบบย่อยอื่นๆ
- JasperReports Server: ทำหน้าที่สร้างรายงานสำหรับจัดพิมพ์
- Ubuntu Linux: ทำหน้าที่เป็นระบบปฏิบัติการของเครื่องแม่ข่าย

สถาปัตยกรรมของระบบองค์ประกอบต่างๆ ถูกนำไปใช้ร่วมกันในการพัฒนาระบบ TPMS ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ดังต่อไปนี้

1. เว็บไซต์: จะใช้ HTML5, CSS3, AJAX, jQuery เป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบตามแนวคิดเทคโนโลยียุค Web 2.0
2. ฐานข้อมูล: ใช้ฐานข้อมูลเพื่องานภูมิศาสตร์สารสนเทศโดยเฉพาะ มีระบบสำเนา และสำรองข้อมูล
3. รายงาน: สามารถออกรายงานได้ทั้งแบบ PDF, Excel และ HTML เพื่องานพิมพ์ วิเคราะห์ และดูผ่านเว็บเบราว์เซอร์ตามลำดับ
4. แผนที่: ดึงข้อมูลแผนที่พื้นหลังแบบ Raster และแสดงข้อมูล Vector เท่าที่จำเป็น เพื่อความรวดเร็วการแสดงผล

องค์ประกอบต่างๆ เมื่อนำมาใช้ร่วมกันสามารถแสดงได้ดังนี้



สำหรับเวอร์ชันขององค์ประกอบต่างๆ ที่นำมาใช้ในระบบ TPMS ดังตารางที่ 4

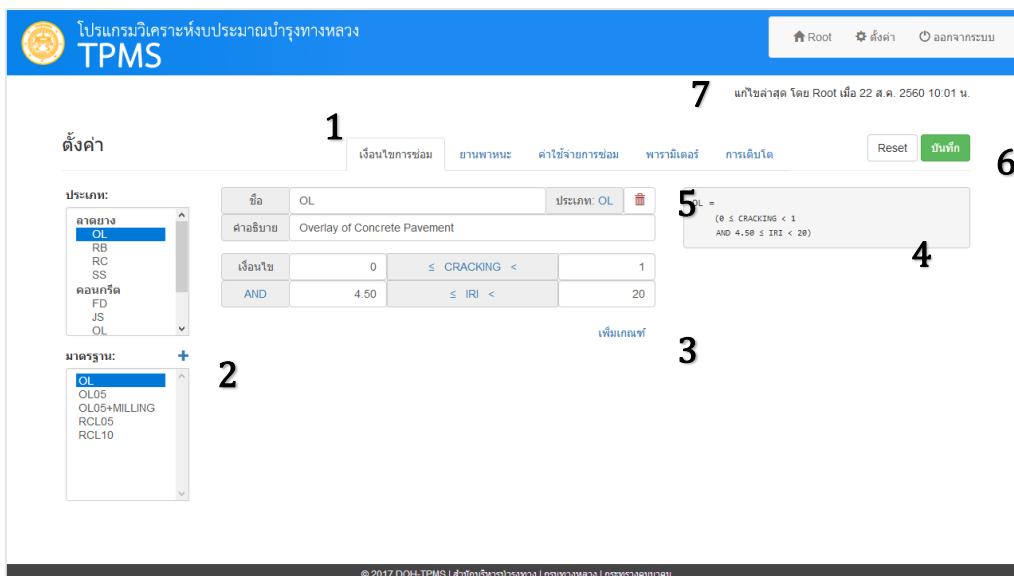
ตารางที่ 4 องค์ประกอบภายในโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (TPMS)

องค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบ	เวอร์ชัน
Symfony CMF	2.0
PHP Engine	7.0
nginx Web Server	1.10
Ubuntu Linux	16.04 LTS
PostgreSQL Database	9.6
PostGIS Extension	1.5
JasperReports Server	6.3
Apache Tomcat	8.5
Java Runtime Environment	8

5. ตั้งค่า – เงื่อนไขการซ่อม

เมื่อกดเมนูตั้งค่า จะแสดงแท็บเงื่อนไขการซ่อมเป็นแท็บแรก ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1. เลือกแท็บที่ต้องการตั้งค่า
2. เลือกมาตรฐานที่ต้องการแก้ไข หรือเพิ่มมาตรฐานใหม่โดยกดปุ่ม +
3. เพิ่มเกณฑ์ และแก้ไขสมการ
4. ทางขวาของหน้าจอจะแสดงสมการตามที่ถูกแก้ไข
5. ปุ่มลบมาตรฐานที่เลือก
6. บันทึกค่าที่แก้ไข
 - Reset เพื่อกลับไปใช้ค่าเริ่มต้น
 - หากไม่ต้องการบันทึกสามารถกดที่ชื่อเว็บไซต์ หรือปุ่มแรกในเมนูเพื่อกลับไปหน้าหลัก
 - ขั้นตอนนี้จะเหมือนกันทุกแท็บ
7. ระบบจะแสดงชื่อผู้แก้ไข และเวลาที่แก้ล่าสุด



รูปที่ 8 หน้าจอตั้งค่าเงื่อนไขการซ่อม

6. ตั้งค่า – ยานพาหนะ

เลือกแก้ไขข้อมูลยานพาหนะ หรือเชื้อเพลิง

ชื่อ	ราคา	น้ำมัน	เชื้อเพลิง	ราคาน้ำมันเฉลี่ย	เพลา	ล้อ	ราคายาง	จำนวนผู้โดยสาร	% ผู้โดยสารที่เดินทางไปทำงาน	มูลค่าเวลาที่เดินทางไปทำงาน	ค่าแรงซ่อมบำรุง
Motorcycle	34,400.00	200.00	Petrol	540.00	2	2	400.00	2	1.00	70.00	55.62
Car < 7	531,000.00	1,500.00	Petrol	540.00	2	4	2,050.00	4	0.20	70.00	55.62
Car > 7	1,104,000.00	2,000.00	Petrol	140.00	2	4	5,500.00	9	0.20	70.00	55.62
Light Bus	1,158,000.00	5,000.00	Diesel	140.00	2	4	2,660.00	14	0.70	70.00	55.63
Medium Bus	2,500,000.00	7,000.00	Diesel	140.00	2	6	12,000.00	34	0.70	70.00	55.63
Heavy Bus	3,000,000.00	10,000.00	Diesel	140.00	3	10	12,000.00	49	0.70	70.00	55.63
Light Truck	740,000.00	4,000.00	Diesel	140.00	2	4	2,200.00	2	0.00	70.00	55.63

รูปที่ 9 หน้าจอตั้งค่ายานพาหนะ

ชื่อ	ราคา
Petrol	38.08
Diesel	29.99

รูปที่ 10 หน้าจอตั้งค่าเชื้อเพลิง

7. ตั้งค่า – ค่าใช้จ่ายการซ่อม

เลือกระดับของหน่วยงาน และประเภทการซ่อม เพื่อแก้ไขค่าซ่อมของมาตรฐานต่างๆ

ระดับสำนัก	ระดับแขวง	ระดับประเทศ	ประเภท	ค่า
OL			OL	500
RB			RB	500
RC			RC	500
SS			SS	500
FD			FD	500
JS			JS	500
OL			OL	500
PD			PD	500
RB			RB	500
SS			SS	500

รูปที่ 11 หน้าจอตั้งค่าค่าใช้จ่ายการซ่อม

8. ตั้งค่า – พารามิเตอร์

เลือกกลุ่มของพารามิเตอร์ เพื่อแสดงสูตรการคำนวณ และแก้ไขค่าพารามิเตอร์

แบบจำลองหลังการซ่อม	ค่า KGP	แบบจำลองความเร็ว	ค่า SNC	ค่า YE
Optimization				0.90
ค่า KGP				0.90
แบบจำลองความเร็ว				0.90
ค่า SNC				0.90
ค่า YE				0.90

รูปที่ 12 หน้าจอตั้งค่าแบบจำลอง



โปรแกรมวิเคราะห์งบประมาณบำรุงทางหลวง
TPMS

Root ตั้งค่า ออกจากระบบ

แก้ไขล่าสุด โดย Root เมื่อ 24 ส.ค. 2560 15:57 น.

ตั้งค่า

เงื่อนไขการซ่อม ยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายการซ่อม พารามิเตอร์ การสืบโด้ Reset บันทึก

แบบจำลองหลังการซ่อม

Optimization

ค่า KGP

แบบจำลองความเร็ว

ค่า SNC

ค่า YE

BC RATIO CONSTRAINT

1.00

DEFAULT DESIGN LIFE

15.00

© 2017 DOH-TPMS | สำนักบริหารบำรุงทาง | กรมทางหลวง | กระทรวงคมนาคม

รูปที่ 13 หน้าจอตั้งค่า Optimization

โปรแกรมวิเคราะห์งบประมาณบำรุงทางหลวง
TPMS

Root ตั้งค่า ออกจากระบบ

ตั้งค่า

เงื่อนไขการซ่อม ยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายการซ่อม พารามิเตอร์ การสืบโด้ บันทึก

แบบจำลองหลังการซ่อม

Optimization

ค่า KGP

แบบจำลองความเร็ว

ค่า SNC

ค่า YE

$$\text{สูตร dIRI} = \text{KGP} * (a_0 * \text{Exp} (\text{KGM} * m * \text{Age}) * (1 + \text{SNC} * a_1) ^{-5} * \text{YE} + a_2 * \text{Age}) + (\text{KGM} * m * \text{IRI})$$

ค่า KGP

ทั้งประเทศ

อายุ/AADT	≤ 1,000	1,000 - 2,500	2,500 - 5,000	5,000 - 10,000	> 10,000
≤ 2 ปี	1.83	1.83	2.50	2.50	2.70
> 2 ปี	1.83	1.83	2.50	2.50	2.70

ภาคกลาง

อายุ/AADT	≤ 1,000	1,000 - 2,500	2,500 - 5,000	5,000 - 10,000	> 10,000
≤ 2 ปี	1.83	1.83	1.83	1.52	1.21
> 2 ปี	1.83	1.83	1.83	1.52	1.21

© 2017 DOH-TPMS | สำนักบริหารบำรุงทาง | กรมทางหลวง | กระทรวงคมนาคม

รูปที่ 14 หน้าจอตั้งค่า Kgp



โปรแกรมวิเคราะห์งบประมาณบำรุงทางหลวง

TPMS

Rootตั้งค่าLogoutระบบ

ตั้งค่า

เงื่อนไขการซ่อมยานพาหนะค่าใช้จ่ายการซ่อมพารามิเตอร์การเติบโตบันทึก

แบบจำลองหลังการซ่อมOptimizationค่า KGPแบบจำลองความเร็วค่า SNCค่า YE

สูตร $SNC = a_0 \cdot DEFA_1$

กรณีตัวอย่าง : $a_0 = 3.2, a_1 = -0.63$
กรณีตัวอย่าง : $a_0 = 2.2, a_1 = -0.63$

ค่า Default ของ SNC

AADT	≤ 1,000	1,000 - 2,500	2,500 - 5,000	5,000 - 10,000	> 10,000
SNC	3.50	4.55	5.04	5.49	6.38

© 2017 DOH-TPMS | สำนักบริหารทางหลวง | กรมทางหลวง | กระทรวงคมนาคม

รูปที่ 15 หน้าจอตั้งค่า SNC

โปรแกรมวิเคราะห์งบประมาณบำรุงทางหลวง

TPMS

Rootตั้งค่าLogoutระบบ

ตั้งค่า

เงื่อนไขการซ่อมยานพาหนะค่าใช้จ่ายการซ่อมพารามิเตอร์การเติบโตResetบันทึก

แบบจำลองหลังการซ่อมOptimizationค่า KGPแบบจำลองความเร็วค่า SNCค่า YE

สูตร $YE = (AADT * (HV / 100) * Lane Factor * Truck Factor * 356 * ((1 + Growth_Rate)^{Design_Life} - 1)) / (Growth_Rate * (Design_Life * 10^6))$

Growth Rate = 0.0001Design Life = 15.00Truck Factor = 1.50
 $x = 0.788$ $y = 6.38$

Num of Lanes2 - 34 - 5> 6

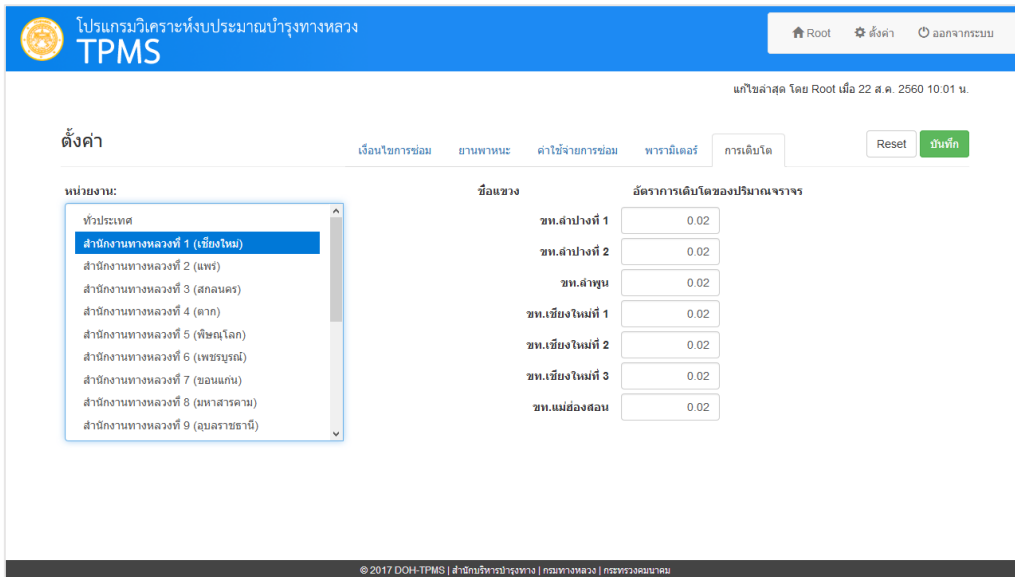
Lane Factor0.500.450.40

© 2017 DOH-TPMS | สำนักบริหารทางหลวง | กรมทางหลวง | กระทรวงคมนาคม

รูปที่ 16 หน้าจอตั้งค่า YE4

9. ตั้งค่า – การเติบโต

เลือกหน่วยงานเพื่อแก้ไขอัตราการเติบโตของปริมาณจราจร



โปรแกรมวิเคราะห์งบประมาณบำรุงทางหลวง
TPMS

แก้ไขล่าสุด โดย Root เมื่อ 22 ส.ค. 2560 10:01 น.

ตั้งค่า

เงื่อนไขการซ่อม ยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายการซ่อม พารามิเตอร์ การเติบโต Reset บันทึก

หน่วยงาน:

- ทั่วประเทศ
- สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)
- สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)
- สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)
- สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)
- สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)
- สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)
- สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)
- สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)
- สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)

ชื่อแขวง อัตราการเติบโตของปริมาณจราจร

ชน.ลำปางที่ 1	0.02
ชน.ลำปางที่ 2	0.02
ชน.ลำพูน	0.02
ชน.เชียงใหม่ที่ 1	0.02
ชน.เชียงใหม่ที่ 2	0.02
ชน.เชียงใหม่ที่ 3	0.02
ชน.แม่ฮ่องสอน	0.02

© 2017 DOH-TPMS | สำนักบริหารทางหลวง | กรมทางหลวง | กระทรวงคมนาคม

รูปที่ 17 หน้าจอตั้งค่าการเติบโตของปริมาณจราจร