## บทที่ 4 กิจกรรมที่ 3 : การศึกษาวิเคราะห์และคาดการณ์ปัญหาอุปสรรค และผลกระทบของการคมนาคมขนส่งทางถนนจากการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

4.1 ทบทวนผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ คาดการณ์ปัญหา

ผลกระทบของการคมนาคมขนส่งทางถนนจากการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

4.2 ศึกษาวิเคราะห์และคาดการณ์ระดับบริการของโครงข่ายทางหลวงในช่วงเวลา 20 ปี

4.3 ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาอุปสรรค หรือความสอดคล้องระหว่างมาตรฐานการออกแบบและสภาพโครงข่ายทางหลวงในปัจจุบัน

4.4 ศึกษาวิเคราะห์และคาดการณ์ผลกระทบต่อความเสียหายของสภาพถนนและผิวทาง

4.5 ศึกษาวิเคราะห์และคาดการณ์ผลกระทบทางสังคม อุบัติเหตุจราจร และสิ่งแวดล้อม

4.6 การคาดการณ์มูลค่าผลกระทบทางสังคม

4.7 **การประเมินความเป็นไปได้ในการเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทา**ง

4.8 เสนอแนะโครงการพัฒนาปรับปรุงทางหลวงเพื่อลดผลกระทบจากการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

## ศึกษาวิเคราะห์และคาดการณ์ผลกระทบต่อความเสียหายของสภาพถนนและผิวทาง

## การศึกษาวิเคราะห์และคาดการณ์ผลกระทบต่อความเสียหายของสภาพถนนและผิวทางในรายงานฉบับนี้จะสรุปการศึกษาและวิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกรณีปกติ (ไม่รองรับ AEC)และกรณีที่รองรับ AEC ซึ่งมีภาพรวมของการวิเคราะห์ผลกระทบต่อความเสียหายของสภาพถนนและผิวทางแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

* ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการวิเคราะห์สภาพความเสียหาย(Deterioration Model) ที่สอดคล้องกับโครงข่ายทาง
* ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมข้อมูลบัญชีสายทางและข้อมูลสภาพความเสียหายในปัจจุบัน ตลอดจนข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์สภาพความเสียหายในอนาคต เช่น ปริมาณการจราจร
* ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์สภาพความเสียหายของโครงข่ายทางหลวงกรณีปกติที่ยังไม่มีการรองรับ AEC และกรณีที่รองรับ AEC
* ขั้นตอนที่ 4 สรุปเปรียบเทียบผลกระทบความเสียหายของสภาพถนนและผิวทางเมื่อมีการรองรับ AEC

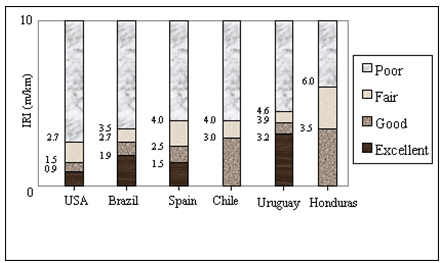
จากข้างต้นสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการดำเนินงานได้ดัง**รูปที่ 4.4-1**



**รูปที่ 4.4-1ขั้นตอนการวิเคราะห์และคาดการณ์ผลกระทบต่อความเสียหายโครงข่ายทาง**

* + 1. **ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการวิเคราะห์สภาพความเสียหาย (Deterioration Model) ที่สอดคล้องกับโครงข่ายทาง**

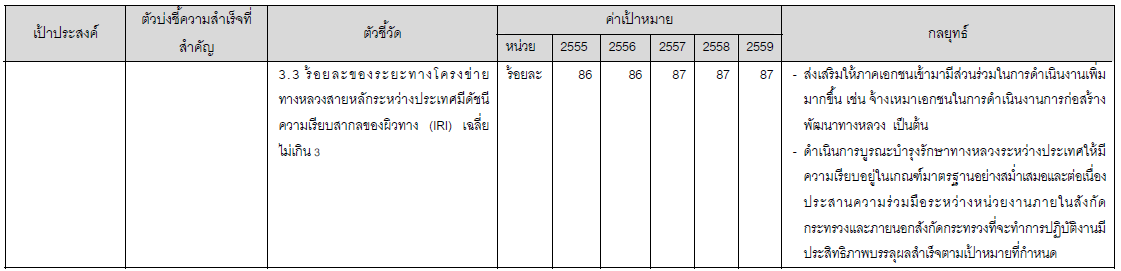
โดยทั่วไปหน่วยงานที่ดูแลรับผิดชอบโครงข่ายทางทั้งในประเทศและต่างประเทศ นิยมใช้ค่า IRI (International Roughness Index) เป็นตัวแทนของดัชนีชี้วัดสภาพโครงข่ายทาง เนื่องจากสามารถใช้เครื่องมือที่เป็นมาตรฐานเดียวกันในการสำรวจ ซึ่งค่า IRI เป้าหมายของแต่ละประเทศแตกต่างกันตามนโยบายและงบประมาณในการบริหาร แสดง**รูปที่ 4.4-2**



**รูปที่ 4.4-2 การประเมินระดับค่า IRI ของประเทศต่างๆ(Ricardo et al., 2006)**

ปัจจุบันกรมทางหลวงได้ใช้ค่า IRI เป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญที่สุดดัชนีหนึ่งในการบริหารงานโครงข่าย  
ทางหลวง จากการศึกษาแผนยุทธศาสตร์กรมทางหลวง พ.ศ. 2555-2559 พบว่า ในส่วนของประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2 เรื่องการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงเพื่อรองรับการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนนั้น กรมทางหลวงกำหนดเป้าประสงค์เกี่ยวกับความสามารถในการดำเนินการพัฒนาระบบโครงข่าย  
ทางหลวงระหว่างประเทศให้ได้ตามแผนงานที่กำหนด โดยใช้ค่า IRI (International Roughness Index) เป็นดัชนีชี้วัด ซึ่งกำหนดให้ร้อยละ 86 ของสายทางระหว่างประเทศในปี พ.ศ. 2555-2556 และ ร้อยละ 87 ของสายทางระหว่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2557-2559 มีค่า IRI ไม่เกิน 3 เมตร/กิโลเมตร แสดงดัง**รูปที่4.4-3**

****

****

**รูปที่ 4.4-3ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2: การพัฒนาโครงข่ายทางหลวงเพื่อรองรับการเข้าสู่**

**ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน**

ดังนั้น กลุ่มที่ปรึกษาจึงมุ่งเน้นในการศึกษาแบบจำลองการทำนายค่า IRI เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาพความเสียหายของโครงข่ายทางหลวงที่จะเกิดในกรณีที่มีการรองรับ AEC โดยนำแบบจำลองการทำนายค่า IRI ของระบบบริหารงานบำรุงทางหลวง (Thailand Pavement management System,TPMS) มาปรับแก้แบบจำลองให้มีความสอดคล้องกับสภาพโครงข่ายทางหลวงในปัจจุบันและประยุกต์ใช้ในโครงการนี้ แบบจำลองการทำนายค่า IRI ที่นำมาพิจารณาแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ แบบจำลองการทำนายค่า IRI ของผิวทางลาดยาง และแบบจำลองการทำนายค่า IRI ของผิวทางคอนกรีต

1. **แบบจำลองการทำนายค่า IRI ของผิวทางลาดยาง**

dIRI = Kgp\*(134\*Exp(Kgm\*m\*AGE3)\*[(1 + SNC\*0.755)]-5 \*YE4 + 0.0121\*AGE3) + (Kgm\*m\*RIa) … (4.4-1)

โดย dIRI = ค่า IRI ที่เพิ่มขึ้นในปีถัดไป (เมตร/กิโลเมตร)

AGE3 = อายุผิวทางตั้งแต่มีการเสริมผิว การบูรณะ หรือ การก่อสร้างใหม่ (ปี)

RIa = ค่าความขุรขระสากลเมื่อต้นปีที่สนใจ (เมตร/กิโลเมตร)

m = ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม (อ้างอิง HDM-4 Volume 6 ตาราง B10-3) ดังตารางที่ 4.4-1

SNC = ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางตั้งแต่มีการก่อสร้าง การเสริมผิว การบูรณะ หรือ การก่อสร้างใหม่ ครั้งล่าสุด (ASSHTO)

YE4 = Annual Number of Equivalent Standard Axles (ล้าน ESAL/ช่องทางจราจร/ปี)

Kgp = ค่าปรับแก้อัตราการเสื่อมสภาพของความขรุขระผิวทาง

Kgm = ค่าปรับแก้ของค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม โดยที่ค่าตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 1 (อ้างอิง HDM-4, Volume 5, P. 93-96)

**ตารางที่ 4.4-1ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม, m**

| **ระดับความชื้น** | **ระดับอุณหภูมิ** | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tropical** | **Sub-tropical Hot** | **Sub-tropical cool** | **Temperate cool** | **Temperate Freeze** |
| Arid | 0.005 | 0.010 | 0.015 | 0.020 | 0.030 |
| Semi-Arid | 0.010 | 0.015 | 0.020 | 0.030 | 0.040 |
| Sub-Humid | 0.020 | 0.025 | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| Humid | 0.025 | 0.030 | 0.040 | 0.050 | 0.060 |
| Pre-Humid | 0.030 | 0.040 | 0.050 |  |  |

ตัวแปร SNC คือ Modified Structural Number หรือค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่รวมชั้นดินคันทางตั้งแต่มีการก่อสร้างหรือปรับปรุงทาง (Overlay, Reconstruction, Rehabilitation) ครั้งล่าสุดคำนวณได้จากรายละเอียดหน้าตัดโครงสร้างทางด้วยสมการที่ (4.4-2)

SNC = SN + 3.51 (log10 CBRs) – 0.85 (log10 CBRs)2 – 1.43 … (4.4-2)

เมื่อ SN =



SN = ค่าความแข็งแรงของทาง

n = จำนวนชั้นทาง

ai = ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของแต่ละชั้นทาง

hi = ความหนาของแต่ละชั้นทาง

CBRs = ค่า CBR ภาคสนามของชั้นดินเดิม

ในกรณีที่มีข้อมูลการทดสอบการแอ่นตัวของโครงสร้างทาง ซึ่งทดสอบด้วย BenkelmanBeam หรือ Falling Weight Deflectometerก็สามารถนำมาคำนวณหาค่า SNC ได้จากสมการของ Paterson (1987) ในสมการดังนี้

SNC = 3.2 DEF-0.63 พื้นทางแบบมวลรวมไม่เชื่อมแน่น (granular bases)

SNC = 2.2 DEF-0.63 พื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์ (cemented bases)

โดย DEF = ค่าการแอ่นตัว (มม.)

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าตัวแปรสำคัญที่ใช้วิเคราะห์ค่า IRI ได้แก่อายุผิวทางค่า IRI ปีก่อนหน้าและ ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางซึ่งทั้ง 3 ตัวแปรนี้ได้จากการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม สำหรับตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม คือ ค่า Kgm จะใช้เท่ากับ 1 และ ค่า m จะใช้เท่ากับ 0.0025เนื่องจากประเทศไทยมีระดับอุณหภูมิ-ระดับความชื้นเป็น Tropical-Humid

ก่อนนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์ที่ปรึกษาได้ปรับแก้ค่าคงที่ Kgpโดยวิธีการคัดเลือกค่า Kgp ที่ส่งผลให้ค่า IRI ที่คำนวณได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่า IRI จริงมากที่สุด จากนั้นตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R2) ระหว่างข้อมูลจริงที่สำรวจกับค่าดัชนีความขรุขระสากลที่ได้จากการทำนาย ซึ่งหากค่า R2ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันสูงซึ่งการปรับแก้ค่า Kgpนี้ ที่ปรึกษาได้คัดเลือกสายทางที่มีประวัติการซ่อมบำรุงปกติ(Routine Maintenance) จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 258 ช่วงสายทาง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก 4.4.1-ก) ในปี พ.ศ. 2551 – 2553 ซึ่งเป็นข้อมูลปีล่าสุดที่ได้เก็บสำรวจจากภาคสนามก่อนเกิดอุทกภัยปี พ.ศ. 2554สำหรับวิธีการปรับแก้ค่า Kgpมี 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การคัดเลือกค่า Kgpที่ส่งผลให้ค่า IRI ที่คำนวณได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่า IRI จริงมากที่สุด

วิธีการคัดเลือกเริ่มจากการคัดเลือกสายทางที่ค่า IRI เพิ่มขึ้นตลอดทุกปีต่อเนื่องกันเป็นข้อมูลตัวอย่าง จากนั้นหาค่าความแตกต่างของ IRI จากค่าจริงของแต่ละช่วงกิโลเมตร (dIRI\_Actual) และคำนวณค่าความแตกต่างของ IRI ของช่วงกิโลเมตรเดียวกันจากแบบจำลอง (dIRI\_model) โดยอาศัยข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง ตามสมการที่ (1) ซึ่งจะทำการสมมติค่า Kgpขึ้นมาก่อน 1 ค่า หลังจากนั้นหาค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Error Square) ของความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าจากแบบจำลอง สำหรับช่วงกิโลเมตรนั้นๆ แล้วจึงรวมค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Sum of Error Square) ของทุกช่วงกิโลเมตรตัวอย่าง ทำการเปลี่ยนค่า Kgpแล้วคำนวณซ้ำ เพื่อหาค่า Kgpที่ดีที่สุด ซึ่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองโดยรวมของ dIRIน้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปดัง Flow Chart ใน**รูปที่ 4.4-4**



**รูปที่ 4.4-4 Flow Chart แสดงขั้นตอนการปรับแก้ค่า Kgp**

1. การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R2) ระหว่างข้อมูลจริงที่สำรวจกับค่าดัชนีความขรุขระสากลที่ได้จากการทำนาย ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันสูง โดยใช้สมการนี้ในการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

R2 = 1 **–**(∑(dIRI\_model*i*-dIRI\_actual*i*)2/∑( dIRI\_actual*i-*IRIavg*)2*)



โดยที่ R2 = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

dIRI\_model= ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่พยากรณ์ได้โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

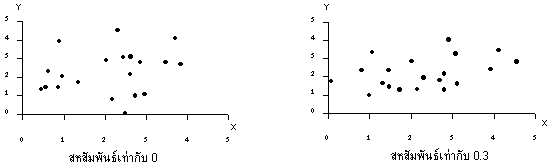
dIRI\_actual= ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริง

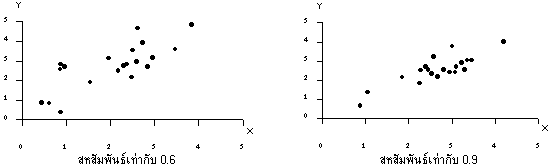
IRIavg= ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริง

การหาค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ใช้สัญลักษณ์ R2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกันและความใกล้เคียงเท่าไร โดยคาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ดัง**รูปที่ 4.4-5**

* ถา R2 มีค่าสูง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีความใกล้เคียงกันมากมีความสัมพันธ์กันสูง
* ถา R2 มีค่าต่ำ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีความใกล้เคียงกันน้อยมีความสัมพันธ์กันต่ำ
* ถา R2 มีค่าเป็น 0 แสดงว่าตัวแปรไมมีความสัมพันธ์ต่อกัน

การวิเคราะห์แบบจำลองที่พัฒนาว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด สามารถดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R2) แบบจำลองยิ่งที่มีค่า R2ใกล้ 1 แสดงว่าผลที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับสภาพหน้างานจริงมีความสัมพันธ์ต่อกันมาก สามารถพยากรณ์ค่าความขรุขระสากลได้ใกล้เคียงความเป็นจริง





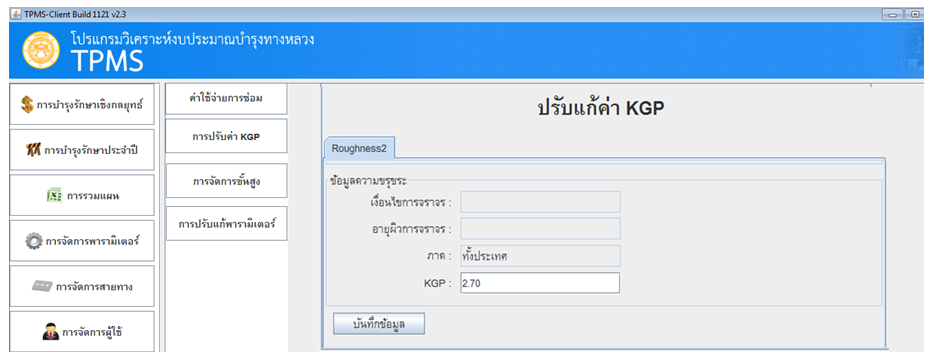
**รูปที่ 4.4-5การกระจายของข้อมูลที่มีค่ากลางและการกระจายเหมือนกันแต่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน**

จากการทดลองปรับแก้ค่า Kgpของตัวอย่างสายทาง 258 ช่วงสายทางที่คัดเลือกมาจากโครงข่ายทางทั้งหมดของกรมทางหลวงตามกระบวนการข้างต้น พบว่าค่า Kgpที่ดีที่สุด คือ 2.70 ซึ่งให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด อยู่ที่ 14.205792 (ม./กม.)2 แสดงดัง**รูปที่ 4.4-6**และเมื่อทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติ ได้นำข้อมูลค่า IRI จริง และ IRI จากแบบจำลอง มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่าค่า R2 มีค่าเท่ากับ 0.890 ดัง**รูปที่ 4.4-7**

**รูปที่ 4.4-6ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เมื่อคำนวณโดยใช้ค่า Kgpต่างๆ**

**รูปที่ 4.4-7ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI จริง และ IRI จากแบบจำลอง**

หลังจากที่ค่า Kgpที่ปรับแก้แล้ว กลุ่มที่ปรึกษาจะนำไปปรับแก้และบันทึกลงในระบบ TPMS สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ลำดับต่อไป แสดงตัวอย่างหน้าจอการปรับแก้ค่า kgpดัง**รูปที่ 4.4-8**

****

**รูปที่ 4.4-8 หน้าจอการปรับแก้ค่า kgpในระบบ TPMS**

**ตัวอย่างการคำนวนค่า IRI**

การคำนวณค่า IRI เมื่อปรับแก้แบบจำลองโดยใช้ค่า kgpเท่ากับ 2.7 แสดงดัง**ตารางที่ 4.4-2, ตารางที่ 4.4-3 และรูปที่ 4.4-9**

**ตารางที่ 4.4-2 การกำหนดค่าตัวแปรตั้งต้น**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **dIRI=** | **Kgp\*(a0\*Exp(Kgm\*m\*AGE3)\*[(1 + SNC\*a1)]-5 \*YE4 + a2\*AGE3) + (Kgm\*m\*RIa)** | | | | | | | | |
| Road ID = | 03470102 | Km. Start = | 21+000 | IRI = | 2.72 | **SNC =** | 6.38 | **a1 =** | 0.755 |
| Route = | 0347 | Km. End = | 22+000 | **lane factor =** | 1.0 | **Kgm =** | 1.0 | **a2 =** | 0.0121 |
| Section = | 0102 | AGE3 = | 3 | **Truck Factor =** | 1.5 | **a0 =** | 134.0 | **M =** | 0.025 |

**ตารางที่ 4.4-3 ค่า IRI เมื่อมีปริมาณจราจร AADT แตกต่างกัน (สมมติสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก 40%)**

| **Kgp=2.70** | **ค่า IRI เมื่อมีปริมาณจราจร AADT แตกต่างกัน (สมมติสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก 40%)** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ปีที่** | **5,000** | **10,000** | **15,000** | **20,000** | **25,000** | **30,000** | **40,000** | **50,000** | **75,000** | **100,000** |
| เริ่มต้น | 2.720 | 2.720 | 2.720 | 2.720 | 2.720 | 2.720 | 2.720 | 2.720 | 2.720 | 2.720 |
| 1 | 2.952 | 2.984 | 3.017 | 3.050 | 3.083 | 3.116 | 3.182 | 3.247 | 3.412 | 3.576 |
| 2 | 3.222 | 3.256 | 3.357 | 3.425 | 3.492 | 3.559 | 3.694 | 3.829 | 4.166 | 4.503 |
| 3 | 3.534 | 3.568 | 3.741 | 3.844 | 3.948 | 4.052 | 4.259 | 4.466 | 4.984 | 5.503 |

**ตารางที่ 4.4-3 ค่า IRI เมื่อมีปริมาณจราจร AADT แตกต่างกัน (สมมติสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก 40%)(ต่อ)**

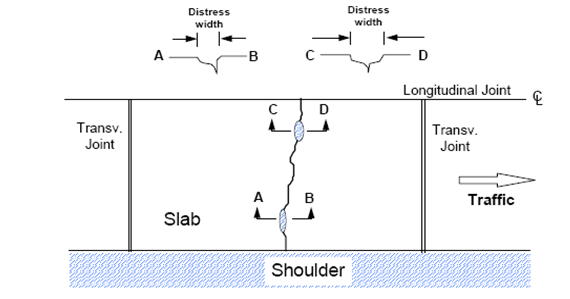
| **Kgp=2.70** | **ค่า IRI เมื่อมีปริมาณจราจร AADT แตกต่างกัน (สมมติสัดส่วนของรถบรรทุกหนัก 40%)** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ปีที่** | **5,000** | **10,000** | **15,000** | **20,000** | **25,000** | **30,000** | **40,000** | **50,000** | **75,000** | **100,000** |
| 4 | 3.886 | 3.921 | 4.169 | 4.311 | 4.453 | 4.594 | 4.878 | 5.161 | 5.869 | 6.578 |
| 5 | 4.281 | 4.317 | 4.644 | 4.825 | 5.007 | 5.188 | 5.552 | 5.915 | 6.822 | 7.730 |
| 6 | 4.719 | 4.756 | 5.166 | 5.389 | 5.612 | 5.836 | 6.282 | 6.729 | 7.846 | 8.962 |
| 7 | 5.202 | 5.240 | 5.736 | 6.003 | 6.270 | 6.537 | 7.072 | 7.606 | 8.941 | 10.277 |
| 8 | 5.731 | 5.770 | 6.356 | 6.669 | 6.982 | 7.295 | 7.921 | 8.547 | 10.112 | 11.676 |
| 9 | 6.306 | 6.346 | 7.028 | 7.389 | 7.750 | 8.111 | 8.832 | 9.554 | 11.359 | 13.163 |
| 10 | 6.930 | 6.971 | 7.752 | 8.163 | 8.574 | 8.985 | 9.807 | 10.629 | 12.685 | 14.740 |

**รูปที่ 4.4-9กราฟแสดงค่า IRI ในแต่ละปี เมื่อมีปริมาณจราจร AADT แตกต่างกัน**

1. **แบบจำลองการทำนายค่า IRI ของผิวทางคอนกรีต**

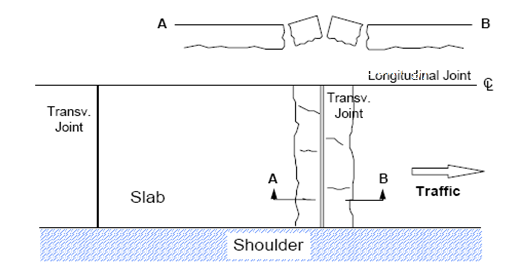
การคาดการณ์ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นบนผิวทางคอนกรีตในระบบ TPMS ได้ใช้สมการตามคู่มือของ HDM-4 ซึ่งเป็นสมการสำหรับผิวทางคอนกรีตแบบมีเหล็กเสริม Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP) โดยได้แบ่งรูปแบบความเสียหายและระดับการให้บริการของผิวทางออกเป็น 5 รูปแบบหลักคือ

1. การแตกตามขวาง (Transverse Cracking) แสดงดัง**รูปที่ 4.4-10**
2. รอยเลื่อนต่างระดับของผิวทาง (Faulting) แสดงดัง**รูปที่ 4.4-11**
3. การบิ่นกะเทาะที่รอยต่อ (Spalling) แสดงดัง**รูปที่ 4.4-12**
4. ระดับการให้บริการ (Present Serviceability Rating : PSR)
5. ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI)



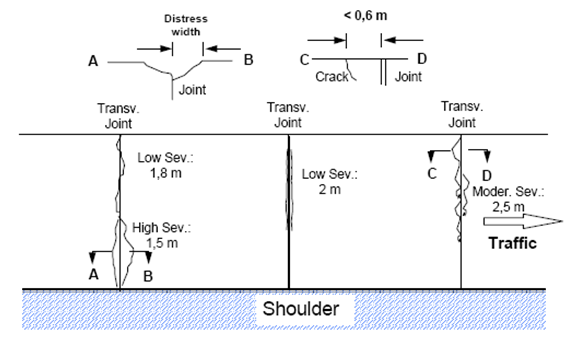
ที่มา: HDM-4 volume 4 หน้า C3-7

**รูปที่ 4.4-10 รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracking)**



ที่มา : HDM-4 Volume 4 หน้า C3-8

**รูปที่ 4.4-11 รอยเลื่อนต่างระดับของผิวทาง (Faulting)**



ที่มา: HDM-4 Volume 4 หน้า C3-9

**รูปที่ 4.4-12 การบิ่นกะเทาะที่รอยต่อ (Spalling)**

**2.1) การคาดการณ์การแตกร้าวตามแนวขวาง(DCRACK) ในผิวทางคอนกรีต**

DCRACK=Kjrc\*AGE2.5\*[6.88\*10-5\*FI/SLABTHK+NE4\*(0.116-

0.073\*BASE)\*(1-exp(-0.032\*MI)\*exp(7.5518-66.5\*PSTEEL-

(1-5\*PSTEEL)\*Ec\*10-6] …(4.4-3)

โดยที่

DCRACK คือ จำนวนรอยแตกตามขวางต่อไมล์

AGE คือ อายุของผิวทางตั้งแต่ก่อสร้าง

FI คือ ดัชนีเยือกแข็ง

SLABTHK คือ ความหนาผิวทางคอนกรีต (นิ้ว)

NE4 คือ จำนวนเพลามาตรฐานสะสมต่อช่องจราจรตั้งแต่เริ่มใช้ผิวทาง

BASE คือ ประเภทของชั้นพื้นทาง

MI คือ ดัชนีความชื้น

PSTEEL คือ ร้อยละของเหล็กเสริมตามยาว

Ec คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (psi)

Kjrc คือ ค่าปรับแก้การแตกตามแนวขวาง (มาตรฐาน = 1.0)

โดยตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง คือ ปริมาณรถบรรทุกเท่านั้น ส่วนค่าของตัวแปรอื่นๆ ใช้ค่ามาตรฐาน ตาม**ตารางที่ 4.4-4** และสำหรับการนับจำนวนรอยแตกได้กำหนดเพิ่มเติมให้มีจำนวนรอยแตกมากสุดได้เพียง 1 รอยแตกต่อผิวทางคอนกรีต 1 แผ่น (ยาว 10 เมตร) ซึ่งคำนวณได้ว่าจะมีจำนวนรอยแตกสูงสุดอยู่ที่ 160 รอยแตกต่อไมล์

**2.2) การคาดการณ์การเลื่อนตัวของรอยต่อ(TFAULT)**

FAULT=Kjrf\*NE40.25\*[0.0628\*(1-Cd)+3.673\*10-9\*BSTRESS2

+(4.116\*10-6\*JTSPACE2+7.466\*10-10\*FI2\*PRECIP0.5 -

(0.009503\*BASE-0.01917\*WIDENED+ 0.0009217\*AGE)] …(4.4-4)

โดยที่

FAULT คือ รอยเลื่อนต่างระดับโดยเฉลี่ยของผิวทางตามขวาง (นิ้ว)

NE4 คือ จำนวนเพลามาตรฐานสะสมต่อช่องจราจรตั้งแต่เริ่มใช้ผิวทาง

Cd คือ สัมประสิทธิ์การระบายน้ำตาม AASHTO

BSTRSS คือ หน่วยแรงแบกทานสูงสุดของคอนกรีต (psi)

JTSPACE คือ ระยะห่างระหว่างรอยต่อโดยเฉลี่ย (ฟุต)

FI คือ ดัชนีเยือกแข็ง

PRECIP คือ อัตราการระเหยเฉลี่ยต่อปี (นิ้ว)

BASE คือ ประเภทของชั้นพื้นทาง

WIDENED คือ ลักษณะการขยายความกว้างผิวทาง

AGE คือ อายุของผิวทางตั้งแต่ก่อสร้าง

Kjrf คือ ตัวประกอบการสอบเทียบ (มาตรฐาน = 1.0)

**2.3) การคาดการณ์การ**กะเทาะ**ร่อนของรอยต่อ (SPALL)**

SPALL=Kjrs\*AGE3\*JTSPACE\*10-5\*[1.94\*DWLCOR+8.819\*BASE\*

(1-PREFSEAL) + 7.01 \* FI \* 10-3] …(4.4-5)

โดยที่

SPALL คือ ร้อยละของการบิ่นที่รอยต่อตามขวาง

AGE คือ อายุของผิวทางตั้งแต่ก่อสร้าง

JTSPACE คือ ระยะห่างระหว่างรอยต่อโดยเฉลี่ย (ฟุต)

DWLCOR คือ การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเดือย

BASE คือ ประเภทของชั้นพื้นทาง

PREFSEAL คือ ลักษณะปัจจุบันของการผนึกร่องรอยต่อ

FI คือ ดัชนีเยือกแข็ง

Kjrs คือ ตัวประกอบการสอบเทียบ (มาตรฐาน = 1.0)

**2.4) การคาดการณ์ดัชนีความขรุขระสากลของผิวทางคอนกรีต(RI)โดยคำนวณจากค่า PSR และสมการการคาดการณ์ค่า PSR**

RI = Kjrr [ -loge (0.2 \* PSRt/ 0.0043)] …(4.4-6)

โดยที่ PSRt = 4.165–0.06694\*TFAULT0.5-0.00003228\*DCRACK2-0.1447\*SPALL0.25

PSR คือ ระดับการให้บริการในปีที่สนใจ

TFAULT คือ รอยเลื่อนต่างระดับทั้งหมดต่อ 1 ไมล์ (นิ้ว/ไมล์)

DCRACK คือ จำนวนรอยแตกตามขวางต่อไมล์

SPALL คือ ร้อยละของการบิ่นที่รอยต่อตามขวาง

TFAULT สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

 …(4.4-7)

โดยที่

TFAULT คือ รอยเลื่อนต่างระดับทั้งหมดต่อ 1 ไมล์ (นิ้ว/ไมล์)

FAULT คือ รอยเลื่อนต่างระดับโดยเฉลี่ยของผิวทางตามขวาง (นิ้ว)

JTSPACE คือ ระยะห่างระหว่างรอยต่อโดยเฉลี่ย (ฟุต)

คำอธิบายสำหรับตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคาดการณ์ความเสียหายของผิวทางคอนกรีตแบบ Jointed Reinforced Concrete Pavement แสดงดัง**ตารางที่ 4.4-4**

**ตารางที่ 4.4-4 รายละเอียดตัวแปรในสมการการคาดการณ์ความเสียหาย**

| **No** | **ตัวแปร** | **Description** | **คำอธิบาย** | **หน่วย** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | AGE | number of year since pavement construction | อายุหลังการก่อสร้าง | ปี |
| 2 | alpha | thermal coefficient of concrete | สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของคอนกรีต | ไม่มีหน่วย |
| 3 | BASE | base type: 0 if not stabilised; 1 if stabilized | ค่าแสดงชนิดพื้นทาง | ไม่มีหน่วย |
| 4 | BETA | relative stiffness of the dowel-concrete system | สติฟเนสสัมพัทธ์ระหว่างเหล็กเดือย-คอนกรีต | ไม่มีหน่วย |
| 5 | BSTRESS | max concrete bearing stress in the dowel-concrete system | หน่วยแรงแบกทานสูงสุดของคอนกรีตกับเหล็กเดือย | psi |
| 6 | Cd | drainage coefficient, modified AASHTO | สปส.การระบายน้ำ | ไม่มีหน่วย |
| 7 | CON | adjustment factor due to base-slab frictional restraint : 0.80 if non stabilised base; 0.65 if stabilised base | ค่าปรับแก้ความเสียดทานระหว่างแผ่นพื้นกับพื้นทาง | ไม่มีหน่วย |
| 8 | DFAC | distribution factor, 24/(l+12) | ค่าการกระจายแรง | ไม่มีหน่วย |
| 9 | DOWEL | dowel diameter | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเดือย | นิ้ว |

**ตารางที่ 4.4-4 รายละเอียดตัวแปรในสมการการคาดการณ์ความเสียหาย (ต่อ)**

| **No** | **ตัวแปร** | **Description** | **คำอธิบาย** | **หน่วย** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 10 | DWLCOR | dowel corrosion protection : 0 if no dowels exist, or are protected from corrosion; 1 if dowels are not protected from corrosion | การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเดือย | ไม่มีหน่วย |
| 11 | Ec | modulus of elasticity of concrete | โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต | psi |
| 12 | Es | modulus of elasticity of dowel bar | โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเดือย | psi |
| 13 | FI | freezing index | ดัชนีเยือกแข็ง | ไม่มีหน่วย |
| 14 | gamma | drying shrinkage coefficient of concrete | สัมประสิทธิ์การหดตัวระเหยน้ำของคอนกรีต | ไม่มีหน่วย |
| 15 | INERT | moment of inertia of the transverse section of the dowel bar | โมเมนต์เฉื่อยของเหล็กเดือย | นิ้ว^4 |
| 16 | JTSPACE | average transverse joint spacing | ระยะห่างระหว่างรอยต่อเฉลี่ย | ฟุต |
| 17 | Kd | modulus of dowel support, pci (default=1.5\*10^6 pci) | โมดูลัสการรองรับเหล็กเดือย | pci |
| 18 | Kjrc | Cracking deterioration calibration factor (default =1.0) | ค่าปรับแก้การแตกตามแนวขวาง | ไม่มีหน่วย |
| 19 | Kjrf | Faulting calibration factor (default =1.0) | ค่าปรับแก้รอยเลื่อนต่างระดับ | ไม่มีหน่วย |
| 20 | Kjrs | Joint spalling calibration factor (default =1.0) | ค่าปรับแก้การบิ่นกะเทาะ | ไม่มีหน่วย |
| 21 | Kjrr | Roughness progression calibration factor (default =1.0) | ค่าปรับแก้ดัชนีความขรุขระสากล | ไม่มีหน่วย |
| 22 | l | radius of relative stiffness of the slab-foundation system | รัศมีของสติฟเนสสัมพัทธ์ของแผ่นพื้น-พื้นทาง | นิ้ว |

**ตารางที่ 4.4-4 รายละเอียดตัวแปรในสมการการคาดการณ์ความเสียหาย (ต่อ)**

| **No** | **ตัวแปร** | **Description** | **คำอธิบาย** | **หน่วย** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 23 | LT | percentage of load transfer between transverse joints | %การถ่ายแรงผ่านรอยต่อตามขวาง | ไม่มีหน่วย |
| 24 | MI | Thornthwaite moisture index | ดัชนีความชื้น | ไม่มีหน่วย |
| 25 | NE4 | cumulative ESALs since pavement construction (millions ESAs per lane) | จำนวน ESALs ต่อช่องจราจรสะสมตั้งแต่ก่อสร้างเสร็จ | ESAs |
| 26 | OPENING | average transverse joint spacing | ระยะห่างของรอยต่อเฉลี่ย | นิ้ว |
| 27 | P | half of single axle load | ½ ของน้ำหนักเพลาเดี่ยว | ปอนด์ |
| 28 | PRECIP | annual average precipitation | ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี | นิ้ว |
| 29 | PREFSEAL | present of preformed sealant in joint : 0 if not present; 1 if present | มีวัสดุอุดรอยต่อ | ไม่มีหน่วย |
| 30 | PSTEEL | percentage of longitudinal steel reinforcement | % เหล็กเสริมแนวยาว | ไม่มีหน่วย |
| 31 | SLABTHK | slab thickness | ความหนาของผิวคอนกรีต | นิ้ว |
| 32 | TRANGE | temperature range (the mean monthly temp range obtained from data on the difference between the max and the min temp for each month) | ช่วงอุณหภูมิ | ฟาเรนไฮท์ |
| 33 | WIDENED | widened lane : 0 if not widened; 1 if widened or shoulder provided during initial construction; 0.5 if concrete shoulders are placed after initial construction | ค่าแสดงช่องจราจรมีการขยายความกว้าง | ไม่มีหน่วย |

สำหรับการวิเคราะห์สภาพความเสียหายของโครงข่ายทางโดยใช้แบบจำลองการทำนายค่า IRI ของผิวทางคอนกรีตข้างต้น มีข้อจำกัดในการปรับแก้แบบจำลองเนื่องจาก การปรับแก้แบบจำลองจำเป็นต้องมีข้อมูลสภาพความเสียหายแต่ละประเภทของผิวทางคอนกรีตย้อนหลังอย่างน้อย 1-2 ปี ซึ่งปัจจุบันการสำรวจและจัดเก็บสภาพความเสียหายแต่ละประเภทของผิวทางคอนกรีตมีเพียง 1 ครั้ง ในปี พ.ศ.2554 ซึ่งหากมีการสำรวจเก็บข้อมูลเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ก็จะสามารถปรับแก้แบบจำลองให้วิเคราะห์ได้สอดคล้องกับสภาพโครงข่ายทางหลวงมากยิ่งขึ้น

* + 1. **ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมข้อมูลบัญชีสายทางและข้อมูลสภาพความเสียหายในปัจจุบัน ตลอดจนข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์สภาพความเสียหายในอนาคต เช่น ปริมาณการจราจร**

กลุ่มที่ปรึกษาได้รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์ โดยได้ใช้ข้อมูลบัญชีสายทางและข้อมูลสภาพความเสียหายจากระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Road Net Web Application System, Roadnet) ของสำนักบริหารบำรุงทาง และข้อมูลปริมาณการจราจรบนทางหลวงจากโครงการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านอำนวยความปลอดภัย (ระบบ TIMS) ของสำนักอำนวยปลอดภัยซึ่งที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลและนำเข้าสู่ระบบ TPMS ทั้งประเทศรวม 102 แขวง คิดเป็นระยะทางทั้งหมดประมาณ 58,810 กิโลเมตร สำหรับการวิเคราะห์ในโครงการนี้ แสดงข้อมูลปริมาณสายทาง   
ดัง**ตารางที่ 4.4-5**

**ตารางที่ 4.4-5สรุปข้อมูลปริมาณสายทางที่จัดเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระบบ TPMS**

| **ลำดับที่** | **รหัส** | **รายชื่อ แขวง (ขท.) /สำนักบำรุงทาง (บท.)** | **ข้อมูลที่จัดเตรียม** |
| --- | --- | --- | --- |
| **(กิโลเมตร)** |
| 1 | 261 | บท.ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง | 8.463 |
| 2 | 311 | ขท.สงขลา | 434.796 |
| 3 | 314 | ขท.พัทลุง | 500.03 |
| 4 | 318 | ขท.สตูล | 365.996 |
| 5 | 319 | บท.สงขลาที่ 2 | 499.177 |
| 6 | 321 | ขท.นครศรีธรรมราชที่ 1 | 650.759 |
| 7 | 322 | ขท.ตรัง | 635.514 |
| 8 | 323 | ขท.กระบี่ | 616.608 |
| 9 | 324 | ขท.ภูเก็ต | 444.008 |
| 10 | 325 | ขท.สุราษฎร์ธานี | 653.648 |
| 11 | 326 | ขท.นครศรีธรรมราชที่ 2 (ทุ่งสง) | 646.089 |
| 12 | 327 | บท.พังงา | 564.681 |
| 13 | 328 | บท.สุราษฎร์ธานีที่ 2 | 490.848 |
| 14 | 329 | บท.สุราษฎร์ธานีที่ 3 | 513.037 |
| 15 | 331 | ขท.ระนอง | 535.466 |
| 16 | 332 | ขท.ชุมพร | 519.771 |
| 17 | 333 | ขท.ประจวบคีรีขันธ์ (หัวหิน) | 564.574 |
| 18 | 335 | ขท.ราชบุรี | 393.661 |
| 19 | 336 | ขท.นครปฐม | 562.325 |
| 20 | 337 | บท.สมุทรสงครามและราชบุรีส่วนที่ 2 | 411.746 |

**ตารางที่ 4.4-5สรุปข้อมูลปริมาณสายทางที่จัดเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระบบ TPMS(ต่อ)**

| **ลำดับที่** | **รหัส** | **รายชื่อ แขวง (ขท.) /สำนักบำรุงทาง (บท.)** | **ข้อมูลที่จัดเตรียม** |
| --- | --- | --- | --- |
| **(กิโลเมตร)** |
| 21 | 338 | บท.เพชรบุรี | 465.398 |
| 22 | 411 | ขท.กรุงเทพ | 191.667 |
| 23 | 413 | ขท.อยุธยา | 630.556 |
| 24 | 414 | บท.นครนายก | 445.127 |
| 25 | 415 | ขท.สมุทรสาคร | 226.849 |
| 26 | 416 | ขท.ปทุมธานี | 283.911 |
| 27 | 417 | ขท.สมุทรปราการ | 303.84 |
| 28 | 418 | บท.นนทบุรี | 231.791 |
| 29 | 419 | บท.ธนบุรี | 56.78 |
| 30 | 421 | ขท.ฉะเชิงเทรา | 695.197 |
| 31 | 422 | ขท.ชลบุรี | 538.825 |
| 32 | 423 | ขท.จันทบุรี | 563.782 |
| 33 | 425 | ขท.ตราด | 613.029 |
| 34 | 426 | ขท.ระยอง | 608.337 |
| 35 | 428 | บท.ชลบุรีที่ 2 | 233.443 |
| 36 | 431 | ขท.ลพบุรีที่ 1 | 681.512 |
| 37 | 432 | ขท.สระบุรี | 560.797 |
| 38 | 433 | บท.สิงห์บุรี | 362.48 |
| 39 | 435 | ขท.ลพบุรีที่ 2 | 608.606 |
| 40 | 437 | ขท.นครสวรรค์ที่ 1 | 656.477 |
| 41 | 438 | ขท.นครสวรรค์ที่ 2 | 910.228 |
| 42 | 441 | ขท.สุพรรณบุรีที่ 1 | 727.923 |
| 43 | 444 | ขท.กาญจนบุรี | 1108.51 |
| 44 | 445 | ขท.กาญจนบุรี-สุพรรณบุรีที่ 2 | 824.306 |
| 45 | 446 | ขท.ชัยนาท | 482.451 |
| 46 | 447 | ขท.อุทัยธานี | 412.102 |
| 47 | 448 | บท.อ่างทอง-อยุธยา | 624.947 |
| 48 | 511 | ขท.พิษณุโลก | 589.015 |
| 49 | 512 | ขท.ตากที่ 1 | 665.549 |
| 50 | 513 | ขท.สุโขทัย | 931.369 |

**ตารางที่ 4.4-5สรุปข้อมูลปริมาณสายทางที่จัดเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระบบ TPMS(ต่อ)**

| **ลำดับที่** | **รหัส** | **รายชื่อ แขวง (ขท.) /สำนักบำรุงทาง (บท.)** | **ข้อมูลที่จัดเตรียม** |
| --- | --- | --- | --- |
| **(กิโลเมตร)** |
| 51 | 514 | ขท.ตากที่ 2(แม่สอด) | 611.904 |
| 52 | 515 | บท.พิษณุโลกที่ 2 | 613.848 |
| 53 | 517 | ขท.กำแพงเพชร | 753.605 |
| 54 | 519 | ขท.พิจิตร | 634.755 |
| 55 | 521 | ขท.เชียงใหม่ที่ 1 | 493.177 |
| 56 | 522 | ขท.เชียงใหม่ที่ 2 | 631.998 |
| 57 | 523 | ขท.ลำปาง | 550.235 |
| 58 | 524 | ขท.ลำพูน | 478.682 |
| 59 | 526 | ขท.แม่ฮ่องสอน | 536.578 |
| 60 | 527 | ขท.เชียงใหม่ที่ 3 | 685.025 |
| 61 | 528 | บท.ลำปางที่ 2 | 639.661 |
| 62 | 531 | ขท.แพร่ | 670.096 |
| 63 | 533 | ขท.เชียงรายที่ 1 | 838.316 |
| 64 | 535 | ขท.พะเยา | 733.598 |
| 65 | 536 | ขท.น่านที่ 1 | 501.642 |
| 66 | 537 | ขท.เชียงรายที่ 2 | 864.133 |
| 67 | 539 | ขท.น่านที่ 2 | 482.457 |
| 68 | 551 | ขท.เพชรบูรณ์ที่ 1 | 1011.56 |
| 69 | 552 | ขท.เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน) | 791.838 |
| 70 | 554 | ขท.เลยที่ 1 | 725.301 |
| 71 | 555 | ขท.เลยที่ 2 (ด่านซ้าย) | 730.94 |
| 72 | 557 | ขท.อุตรดิดถ์ที่ 1 | 473.061 |
| 73 | 558 | ขท.อุตรดิดถ์ที่ 2 | 486.199 |
| 74 | 611 | ขท.นครราชสีมาที่ 1 | 823.939 |
| 75 | 612 | ขท.นครราชสีมาที่ 2 | 676.714 |
| 76 | 614 | บท.นครราชสีมาที่ 3 | 621.887 |
| 77 | 615 | ขท.สุรินทร์ | 925.468 |
| 78 | 617 | ขท.บุรีรัมย์ | 916.552 |
| 79 | 618 | ขท.ปราจีนบุรี | 554.228 |
| 80 | 619 | ขท.สระแก้ว (วัฒนานคร) | 813.927 |

**ตารางที่ 4.4-5สรุปข้อมูลปริมาณสายทางที่จัดเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระบบ TPMS(ต่อ)**

| **ลำดับที่** | **รหัส** | **รายชื่อ แขวง (ขท.) /สำนักบำรุงทาง (บท.)** | **ข้อมูลที่จัดเตรียม** |
| --- | --- | --- | --- |
| **(กิโลเมตร)** |
| 81 | 621 | ขท.ขอนแก่นที่ 1 | 526.681 |
| 82 | 622 | ขท.มหาสารคาม | 665.171 |
| 83 | 623 | ขท.อุดรธานี | 506.758 |
| 84 | 624 | บท.อุดรธานีที่ 2 | 610.674 |
| 85 | 626 | ขท.ชัยภูมิ | 730.164 |
| 86 | 627 | ขท.ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ) | 564.04 |
| 87 | 628 | ขท.ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่) | 528.689 |
| 88 | 629 | บท.หนองบัวลำภู | 409.713 |
| 89 | 631 | ขท.อุบลราชธานีที่ 1 | 604.163 |
| 90 | 632 | ขท.อุบลราชธานีที่ 2 | 608.67 |
| 91 | 633 | ขท.ยโสธร | 504.24 |
| 92 | 634 | ขท.อำนาจเจริญและอุบลราชธานีส่วนที่ 3 | 527.669 |
| 93 | 635 | บท.ร้อยเอ็ด | 588.008 |
| 94 | 636 | บท.ศรีสะเกษที่ 2 | 550.012 |
| 95 | 638 | ขท.ศรีสะเกษ | 468.589 |
| 96 | 639 | ขท.มุกดาหาร | 580.952 |
| 97 | 641 | ขท.สกลนครที่ 1 | 572.74 |
| 98 | 642 | ขท.สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน) | 562.526 |
| 99 | 643 | ขท.บึงกาฬ | 518.394 |
| 100 | 644 | ขท.นครพนม | 656.164 |
| 101 | 646 | ขท.หนองคาย | 457.66 |
| 102 | 647 | ขท.กาฬสินธุ์ | 551.816 |
| **รวม** | | | **58,810.818** |

* + 1. **ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์สภาพความเสียหายของโครงข่ายทางหลวงกรณีปกติที่ยังไม่มีการรองรับ AEC และ กรณีที่รองรับ AEC**

การวิเคราะห์สภาพความเสียหายของโครงข่ายทางหลวงทั้งกรณีปกติและกรณีที่รองรับ AEC โดยระบบ TPMS นั้น ที่ปรึกษาได้กำหนดขั้นตอนการวิเคราะห์ไว้ 2 ส่วนหลัก ดังนี้

1. *กรณีที่ยังไม่รองรับ AEC*วิเคราะห์ค่า IRI เฉลี่ยระดับโครงข่ายทั่วประเทศ โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นกรณีบำรุงรักษาปกติและกรณีมีงบประมาณซ่อมบำรุงปีละ 15,000 ล้านบาท เป็นระยะเวลา 10 ปี เพื่อเปรียบเทียบแสดงให้เห็นภาพรวมของค่า IRI ในกรณีที่บำรุงรักษาปกติ และค่า IRI ในกรณีที่ได้รับเงินงบประมาณซ่อมบำรุงปีละ 15,000 ล้านบาท ซึ่งค่า IRI ที่วิเคราะห์ได้จากการกำหนดเงินงบประมาณซ่อมบำรุง 15,000 ล้านบาทนี้ จะนำไปใช้เป็นค่า IRI เป้าหมายสำหรับวิเคราะห์หาค่าซ่อมบำรุงในแต่ละปีในกรณีที่รองรับ AEC
2. *กรณีที่รองรับ AEC* กำหนดค่า IRI เป้าหมายที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 1 จากนั้นวิเคราะห์งบประมาณการซ่อมบำรุงในแต่ละปี โดยพิจารณาตามอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการรองรับ AEC ซึ่งจากการคาดการ คาดว่าจะมีอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรจาก 2.28 % เป็น 2.78 % แต่ทั้งนี้หากอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร มีมากกว่าที่ทางที่ปรึกษาได้คาดการไว้ ทางที่ปรึกษาจึงพิจารณา กรณ๊ที่กำหนดให้อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นทุกปีมีค่าเท่ากับ 4% และ 11% รวมด้วย จึงสามารถแบ่งได้เป็นทั้งหมดรวมทั้งหมด 3 รูปแบบ

ภาพรวมของขั้นตอนการวิเคราะห์ดัง**รูปที่ 4.4-13**

**กรณีที่ยังรองรับ AEC** (วิเคราะห์งบประมาณซ่อมในแต่ละปีเป็นระยะเวลา 10 ปี)

นำผลการวิเคราะห์ค่า IRI กรณีได้รับงบประมาณซ่อมบำรุงปีละ 15,000 ล้านบาท

มากำหนดค่า IRI เป้าหมาย สำหรับการรักษาสภาพโครงข่ายทางกรณีที่รองรับ AEC

สรุปเปรียบเทียบค่าซ่อมบำรุงที่เพิ่มขึ้น

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 2.78 %

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 4%

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 11%

**กรณีที่ยังไม่รองรับ AEC** (วิเคราะห์ค่า IRI ในแต่ละปีเป็นระยะเวลา 10 ปี)

กรณีบำรุงรักษาปกติ

กรณีได้รับงบประมาณซ่อมบำรุงปีละ 20,000 ล้านบาท

เปรียบเทียบภาพรวมของค่า IRI เฉลี่ยทั้งประเทศ ในแต่ละปี

**รูปที่ 4.4-13 ขั้นตอนการวิเคราะห์งบประมาณซ่อมบำรุงและค่า IRI**

ผลการวิเคราะห์ ค่า IRI ตามเงื่อนไขการบำรุงปกติและกรณีที่ได้รับงบประมาณปีละ 15,000 ล้านบาท เป็นระยะเวลา 10 ปีเมื่อยังไม่รองรับ AEC พบว่าค่ากรณีที่บำรุงรักษาปกติค่า IRI ในปีแรกมีค่าเท่ากับ2.94 เมตร/กิโลเมตร และมีค่าเพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 4.7 เมตร/กิโลเมตร ในปีที่ 10 เมื่อวิเคราะห์หลังจากที่ได้รับงบประมาณซ่อมบำรุงปีละ 15,000 ล้านบาทพบว่าค่า IRI ในปีแรกมีค่าเท่ากับ 2.78 เมตร/กิโลเมตร และมีค่าเพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 3.13 เมตร/กิโลเมตรในปีที่ 10 ซึ่งจะเห็นว่าหากกรมทางหลวงได้รับงบประมาณเฉลี่ยปีละ 15,000 ล้านบาทจะช่วยชะลอความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ **ตารางที่ 4.4-6**

**ตารางที่ 4.4-6 ผลการวิเคราะห์ ค่า IRI กรณีที่ยังไม่มีการรองรับ AEC**

| ปีพ.ศ. | **ค่า IRI กรณีซ่อมบำรุงปกติ**  **(หน่วย : เมตร/กิโลเมตร)** | **ค่า IRI กรณีที่ได้รับงบประมาณปีละ 15,000 ล้านบาท**  **(หน่วย : เมตร/กิโลเมตร)** |
| --- | --- | --- |
| 2558 | 2.94 | 2.78 |
| 2559 | 3.09 | 2.8 |
| 2560 | 3.26 | 2.84 |
| 2561 | 3.44 | 2.88 |
| 2562 | 3.63 | 2.92 |
| 2563 | 3.83 | 2.97 |
| 2564 | 4.03 | 3.01 |
| 2565 | 4.25 | 3.06 |
| 2566 | 4.47 | 3.09 |
| 2567 | 4.7 | 3.13 |

จากผลการวิเคราะห์ค่า IRI หลังจากที่ได้รับงบประมาณดังกล่าว ที่ปรึกษาได้นำค่า IRI ในแต่ละปีไปกำหนดเป็นค่า IRI เป้าหมายที่กรมทางหลวงจะต้องรักษาสภาพโครงข่ายในอนาคต 10 ปี เมื่อต้องรองรับ AEC ซึ่งพบว่าเมื่อมีปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความต้องการใช้งบประมาณซ่อมบำ รุงเพิ่มขึ้นแสดงผลการวิเคราะห์ดัง**ตารางที่ 4.4-7**

**ตารางที่ 4.4-7 ผลการวิเคราะห์ ค่า IRI กรณีที่รองรับ AEC**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **กรณีที่ปริมารการจราจรเพิ่มขึ้น** | | | | | | | | |
| **ปี** | **2.28 %** | | **2.78 %** | | **4 %** | | **11 %** | |
| **IRI** | **ค่าบำรุง** | **IRI** | **ค่าบำรุง** | **IRI** | **ค่าบำรุง** | **IRI** | **ค่าบำรุง** |
| **หลังซ่อม** | **(ล้าบาท)** | **หลังซ่อม** | **(ล้านบาท)** | **หลังซ่อม** | **(ล้านบาท)** | **หลังซ่อม** | **(ล้านบาท)** |
| 2559 | 2.78 | 15,000 | 2.78 | 15,000 | 2.78 | 16,000 | 2.79 | 19,000 |
| 2560 | 2.8 | 15,000 | 2.8 | 15,000 | 2.8 | 16,000 | 2.81 | 19,000 |
| 2561 | 2.84 | 15,000 | 2.84 | 15,000 | **น**2.83 | 16,000 | 2.84 | 19,000 |
| 2562 | 2.88 | 15,000 | 2.88 | 15,000 | 2.87 | 16,000 | 2.88 | 19,000 |
| 2563 | 2.92 | 15,000 | 2.93 | 15,000 | 2.91 | 16,000 | 2.93 | 19,000 |
| 2564 | 2.97 | 15,000 | 2.97 | 15,000 | 2.95 | 16,000 | 2.97 | 19,000 |
| 2565 | 3.01 | 15,000 | 3.02 | 15,000 | 2.99 | 16,000 | 3.02 | 19,000 |
| 2566 | 3.06 | 15,000 | 3.06 | 15,000 | 3.03 | 16,000 | 3.06 | 19,000 |
| 2567 | 3.09 | 15,000 | 3.1 | 15,000 | 3.07 | 16,000 | 3.1 | 19,000 |
| 2568 | 3.13 | 15,000 | 3.13 | 15,000 | 3.1 | 16,000 | 3.14 | 19,000 |

* + 1. **ขั้นตอนที่ 4 สรุปเปรียบเทียบผลกระทบความเสียหายของสภาพถนนและผิวทางเมื่อมีการรองรับ AEC**

หลังจากที่นำเสนอผลการวิเคราะห์ผลกระทบความเสียหายของโครงข่ายทางและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการรองรับ AEC ตามหัวข้อที่ 4.4.3 แล้วทางที่ปรึกษาจะได้เปรียบเทียบค่าเสียหายของถนนในกรณีที่ยังไม่รองรับ AEC กับกรณีที่รองรับ AEC เพื่อสรุปผลกระทบความเสียหายของสภาพถนนและผิวทางเมื่อมีการรองรับ AEC ได้ ดังนี้

**ตารางที่ 4.4-8 ค่าซ่อมบำรุงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการรองรับ AEC**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **กรณีไม่มี AEC 2.28 %** | **2.78 %** | **4 %** | **11 %** |
| **ค่าซ่อมบำรุงในแต่ละปี (หน่วย : ล้านบาท)** | | | |
| 15,000 | 15,000 | 16,000 | 19,000 |
| **ส่วนต่าง** | 0 | 1,000 | 4,000 |

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ค่าซ่อมบำรุงเฉลี่ยกรณี ที่ยังไม่รองรับ AEC โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรอยู่ที่ 2.28 % ซึ่งจากการใช้งบประมาณในการบำรุงเฉลี่ยต่อปี 15,000 ล้านบาทจะสามารถรักษาค่า IRI ในปีแรกมีค่าเท่ากับ 2.78 เมตร/กิโลเมตร และมีค่าเพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 3.13 เมตร/กิโลเมตรในปีที่ 10 จากนั้นเมื่อพิจารณากรณีที่รองรับ AEC โดยเป็นไปตามการคาดการว่า จากเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรอยู่ที่ 2.78 % ต่อปี และพยายามรักษาค่า IRI ให้มีค่าเท่ากับ กรณีที่ยังไม่รองรับ AEC พบว่า มีค่าใช้จ่ายในการการบำรุงรักษาสายทางเท่าเดิน คือ 15,000 ล้านบาทต่อปี แต่ทั้งนี้หากปริมาณจราจรมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่คาดการ ทางที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ในกรณีทีอัตตาการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจร เป็น 4 % และ 11 % พบว่าในการบำรุงรักษาค่า IRI ให้เท่าเดิม มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น 1,000 และ 4,000 ล้านบาทตามลำดับ

* 1. **ศึกษาวิเคราะห์และคาดการณ์ผลกระทบทางสังคม สิ่งแวดล้อม และอุบัติเหตุจราจร**

## ภาพรวมของการวิเคราะห์และคาดการณ์ผลกระทบทางสังคม สิ่งแวดล้อมแบ่งออก และอุบัติเหตุจราจร เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

* ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองการพยากรณ์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและอุบัติเหตุจราจร
* ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมข้อมูลบัญชีสายทางและข้อมูลสภาพความเสียหายในปัจจุบัน ตลอดจนข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบในอนาคต เช่น ปริมาณการจราจร ประเภทและตัวแทนยานพาหนะ ข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุในอดีตที่ผ่านมา เป็นต้น
* ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ผลกระทบทางสังคม สิ่งแวดล้อมและอุบัติเหตุ ของโครงข่ายทางหลวงกรณีปกติที่ยังไม่มีการรองรับ AEC และกรณีที่รองรับ AEC
* ขั้นตอนที่ 4 สรุปเปรียบเทียบผลกระทบทางสังคม สิ่งแวดล้อมและอุบัติเหตุ เมื่อมีการรองรับ AEC

จากข้างต้นสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการดำเนินงานได้ดัง**รูปที่ 4.5-1**



**รูปที่ 4.5-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์และคาดการณ์ทางสังคม อุบัติเหตุจราจร และสิ่งแวดล้อม**

* + 1. **ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองการผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และแบบจำลองพยากรณ์จำนวนอุบัติเหตุ**

ในรายงานฉบับนี้ได้สรุปผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ แบบจำลองผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Effect Model) ของ TPMS ซึ่งอ้างอิงมาจาก HDM-4 และแบบจำลองการพยากรณ์จำนวนอุบัติเหตุ (Accident Prediction Model) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **แบบจำลองผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Effect Model)**

แบบจำลองผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ แบบจำลองการใช้ปริมาณพลังงาน และแบบจำลองการปล่อยปริมาณควันพิษ โดยแต่ละแบบจำลองมีรายละเอียดดังนี้

**1.1 แบบจำลองการใช้ปริมาณพลังงาน (Energy Model)**

เป็นการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่รถยนต์ใช้ขณะวิ่งอยู่บนสายทางที่มีสภาพต่างๆ โดยทำการแปลงค่าต่างๆ ที่ได้จากแบบจำลองผลกระทบของผู้ใช้ทาง (RUE Model) ได้แก่ ค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิง, ปริมาณการใช้น้ำมันเครื่อง, การสึกหรอของยางรถยนต์ และการซ่อมบำรุงรถยนต์และการเสื่อมสภาพของรถยนต์ ให้อยู่ในรูปหน่วยพลังงาน (เมกะจูล/ปี: MJ/year) โดยจะคิดแยกตามประเภทของรถยนต์ประเภทต่างๆ ที่วิ่งอยู่บนสายทางนั้น เนื่องจากรถยนต์แต่ละประเภทจะมีอัตราการใช้พลังงานต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทเชื้อเพลิง, น้ำหนักของยางรถยนต์ที่ใช้ต่อชุด, น้ำหนักของรถยนต์ สำหรับการคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานของรถยนต์ในโครงการนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.5-2

รูปที่ 4.5-2 การคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานของรถยนต์

Fuel

Lubricating

Tyre

Repair & Part

Energy for Fuel Production and Delivery

Life Cycle Energy Use in Road (MJ/year)

Data

from

RUE Model

* **ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption)**

จาก RUE model ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์ประเภทต่างๆ จะคำนวณได้ออกมาในหน่วย L/1000 km การแปลงค่าเชื้อเพลิงในหน่วยลิตรให้เป็นหน่วยพลังงานเมกะจูลนั้น จะใช้ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง (Energy Content) ของเชื้อเพลิงประเภทนั้น HDM-4 แนะนำให้ใช้ค่า 34.7 MJ/L สำหรับน้ำมันเบนซิน และ 38.7 MJ/L สำหรับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังได้แนะนำค่าสำหรับเชื้อเพลิงประเภทอื่น เช่น LPG, CNG, Biodiesel ไว้ด้วย แต่ในระบบบริหารงานทางในปัจจุบัน จะพิจารณาเพียงเชื้อเพลิง 2 ประเภทคือ น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลเท่านั้น ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในส่วนของเชื้อเพลิง จึงสามารถสรุปได้ดังนี้

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ENFUELk = FCkav x FECfk | | …(4.5-1) |
|  | ENFUELk | = ค่าพลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์ประเภท k (MJ/ 1000 km) | |
|  | FCkav | = ปริมาณเชื้อเพลิงที่รถยนต์ประเภท k (L/1000 km) | |
|  | FECfk | = ค่า Energy Content 34.7 MJ/L สำหรับน้ำมันเบนซิน และ 38.7 MJ/L สำหรับน้ำมันดีเซล | |

* พลังงานที่ใช้ในการผลิตและขนส่งเชื้อเพลิง (Fuel Production and Delivery)

ค่าพลังงานในส่วนนี้หมายถึงพลังงานที่ใช้ในการผลิตและขนส่งไปยังผู้ใช้งาน โดยทำการพิจารณาในทุกขั้นตอนของเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ หรือเป็นค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นต่อการใช้พลังงาน 1 MJ จากกระบวนการผลิตและขนส่งพลังงานจำนวนนั้นไปให้รถยนต์ใช้ HDM-4 แนะนำใช้ค่า Fuel production factor (FPf) สำหรับน้ำมันเบนซินเท่ากับ 0.169 MJ/MJ และ สำหรับน้ำมันดีเซล เท่ากับ0.122 MJ/MJ

* ปริมาณการใช้น้ำมันเครื่อง (Lubricating Oil Consumption)

RUE Model จะคำนวณปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องออกมาในหน่วย L/1000 km จากนั้น Energy Model จะทำการแปลงเป็นค่าปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องให้เป็นหน่วยพลังงาน ซึ่ง HDM-4 แนะนำให้ใช้ค่า Energy content ของน้ำมันเครื่อง เท่ากับ 47.7 MJ/L

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ENOILk = OILkav x OEC | | …(4.5-2) |
|  | ENOILk | = ค่าพลังงานจากการใช้น้ำมันเครื่องของรถยนต์ประเภท k (MJ/1000 km) | |
|  | OILkav | = ปริมาณน้ำมันเครื่องที่ใช้ของรถยนต์ประเภท k (L/1000 km) | |
|  | FEC | = ค่า Energy content ของน้ำมันเครื่อง 47.7 MJ/L | |

* การสึกหรอของยางรถยนต์ (Tyre Consumption)

รถยนต์แต่ละประเภทจะมีจำนวนล้อและขนาดของยางต่างกันออกไป RUE Model จะคำนวณการสึกหรอของยางรถยนต์ในหน่วยของ New tyre/1000 km ซึ่งเมื่อคูณด้วยราคายางรถยนต์ประเภทต่างๆ จะได้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนสำหรับรถยนต์ประเภทนั้น สำหรับ Energy Model ใน HDM-4 จะแปลงปริมาณของยางรถยนต์ที่สึกหรอให้เป็นหน่วยพลังงานด้วยการใช้ค่าพลังงานที่ใช้การผลิตยางรถยนต์ 1 kg ซึ่งเท่ากับ 32 MJ/kg ของยางรถยนต์

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ENTYREk = TCkav x TWGTk x TEC | | …(4.5-3) |
|  | ENTYREk | = ค่าพลังงานจากการใช้ยางต่อปีของรถยนต์ประเภท k (MJ/1000 km) | |
|  | TCkav | = ปริมาณยางที่สึกหรอของรถยนต์ประเภท k (New tyre/1000 km) | |
|  | TWGTk | = น้ำหนักยางของรถยนต์ประเภท k จำนวน 1 ชุด (kg/set) | |
|  | TEC | = ค่า Energy content ของยางรถยนต์ 32 MJ/kg | |

* การซ่อมบำรุงรถยนต์และการเสื่อมสภาพของรถยนต์ (Vehicle Repair and Parts consumption)

RUE Model จะคำนวณการเสื่อมสภาพของรถยนต์ออกมาในรูปของสัดส่วนของราคารถใหม่ต่อระยะทาง 1,000 กม. สำหรับ Energy Model จะใช้สัดส่วนดังกล่าวนี้เป็นสัดส่วนการเสื่อมสภาพของรถยนต์ เมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตรถยนต์ 1 คัน จะทำให้ได้ค่าสัดส่วนพลังงานที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของรถยนต์ซึ่งวิ่งในสายทางนั้น ใน HDM-4 ได้อ้างผลการศึกษาพลังงานที่ใช้ในการผลิตรถยนต์ขนาดกลาง ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 1 ตัน ว่าใช้พลังงานทั้งสิ้น 100 GJ ซึ่ง HDM-4 ใช้ค่าพลังงาน 100 GJ/ton ของรถยนต์นี้คำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตรถยนต์ประเภทอื่นๆ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ENPARTk = PCkav x ENVPk | | …(4.5-4) |
|  | ENPARTk | = ค่าพลังงานจากการซ่อมบำรุงของรถยนต์ประเภท k (MJ/1000 km) | |
|  | PCkav | = การเสื่อมสภาพของรถยนต์ประเภท k ใช้ต่อปี (New vehicle/1000 km) | |
|  | ENVPk | = ค่าพลังงานจากการผลิตรถยนต์ประเภท k (MJ/1000 km) | |
| โดยที่ | ENVPk = VEC x VWGTk / LIFEKMk | | …(4.5-5) |
|  | VEC | = ค่า Energy Content ของการผลิตรถยนต์ 100 GJ/น้ำหนักรถ 1 ton | |
|  | VWGTk | = น้ำหนักของของรถยนต์ประเภท k (kg) | |
|  | LIFEKMk | = อายุการใช้งานของรถยนต์ประเภท k จาก RUE Model (km) | |

ดังนั้น ค่าพลังงานทั้งหมดของรถยนต์ประเภท k ที่ใช้ในสายทางที่พิจารณา จะเท่ากับ

ENALLk = ENFUELk+ (ENFUELk x FPf) + ENOILk + ENTYREk + ENVPk + ENPARTk …(4.5-6)

**1.2 แบบจำลองการปล่อยปริมาณควันพิษ Emission Model**

เป็นการคำนวณหาปริมาณมลพิษที่ยานพาหนะปล่อยออกมาจากท่อไอเสีย ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อเพลิงกับความเร็วของยานพาหนะ โดยทำการคำนวณปริมาณมลพิษที่ยานพาหนะแต่ละคันปล่อยออกมาในหน่วย g/km เมื่อรวมปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากประเภทรถทั้งหมด และจำนวนรถในแต่ละประเภทที่วิ่งในสายทางที่พิจารณา จะได้ปริมาณมลพิษแต่ละชนิดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในสายทาง โดยมีมลพิษที่พิจารณา 7 ชนิด ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของยานพาหนะ ได้แก่

1) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC)

2) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)

4) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOX)

5) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2)

6) สารตะกั่ว (Pb)

7) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM)

Instantaneous Fuel Consumption, IFC (ml/s) from RUE Model

Traffic-influenced Speed, SQ (m/s) from RUE Model

Emission Model

(7 types)

HC

CO

CO2

NOX

SO2

Pb

PM

Emission Quantities

(g/km.)

รูปที่ 4.5-3 การคำนวณหาปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในสายทาง

**แบบจำลองพื้นฐาน**

สำหรับมลพิษ 6 ชนิด HC, CO, NOX, SO2, Pb และ PM ปริมาณที่ปล่อยออกจากท่อไอเสียของมลพิษแต่ละตัวจะคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์พื้นฐานเหมือนกัน คือ ปริมาณมลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์ (Engine Out Emission) ของยานพาหนะชนิดต่างๆ คูณกับประสิทธิภาพการลดมลพิษของยานพาหนะ (Catalyst Pass Fraction) ดังสมการ (4.5-7)

โดยรายละเอียดการคำนวณของมลพิษแต่ละประเภทดังสมการที่ (4.5-8) – (4.5-15) ส่วนปริมาณของ CO2 จะต้องทำการหาปริมาณมลพิษของยานพาหนะที่ปล่อยจากท่อไอเสีย (TPEi) ในส่วนของ HC, CO และ PM เสียก่อน จึงจะสามารถคำนวณหาปริมาณ CO2  ด้วยสมการ (4.5-16)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | …(4.5-7) |
|  | และ |  | |
|  |  | | …(4.5-8) |
|  | โดยที่ |  | |
|  | TPEi | Tailpipe Emission (g/km) สำหรับมลพิษ i | |
|  | EOEi | Engine Out Emission (g/km) สำหรับมลพิษ i | |
|  | CPFi | Catalyst Pass Fraction สำหรับมลพิษ i | |
|  | ri | deterioration factor\* | |
|  | AGE | อายุของยานพาหนะ (ปี) | |
|  | MDFi | maximum deterioration factor สำหรับมลพิษ i (default =10) | |
|  |  | maximum catalyst efficiency for emissions\* | |
|  | bi | stoichiometric CPF coefficient \* | |
|  | IFC | instantaneous fuel consumption (ml/s) | |
|  | MassFuel | mass of fuel (ดีเซล 0.75 และเบนซิน 0.86 g/ml) | |

**1. ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | …(4.5-9) |
|  |  | | …(4.5-10) |
|  | โดยที่ |  | |
|  | EOEHC | Engine Out Emission (g/km) สำหรับไฮโดรคาร์บอน | |
|  | aHC | ratio of engine-out emissions per gram of fuel consumed สำหรับไฮโดรคาร์บอน (gHCHC/gHCfuel)\*\*HC | |
|  | FC | fuel consumption (g/km) | |
|  | v | ความเร็วของยานพาหนะ (m/s) | |

**2. ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | …(4.5-11) |
|  | โดยที่ |  | |
|  | EOECO | Engine Out Emission (g/km) สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ | |
|  | aCO | ratio of engine-out emissions per gram of fuel consumed สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (gHCCO/gHCfuel)\*\* HC | |

**3. ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOX)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | …(4.5-12) |
|  | โดยที่ |  | |
|  | EOENOX | Engine Out Emission (g/km) สำหรับไนโตรเจนออกไซด์ | |
|  | aNOX | ratio of engine-out emissions per gram of fuel consumed สำหรับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (gHCNOX/gHCfuel)\*\* HC | |
|  | FRNOX | fuel threshold below which NOx emissions\*HCH\* HC | |

**4. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | …(4.5-13) |
|  | โดยที่ |  | |
|  | EOESO2 | Engine Out Emission (g/km) สำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ | |
|  | aSO2 | ratio of engine-out emissions per gram of fuel consumed สำหรับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (gHCSO2/gHCfuel)\*\* HC | |

**5. สารตะกั่ว (Pb)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | …(4.5-14) |
|  | โดยที่ |  | |
|  | EOEPb | Engine Out Emission (g/km) สำหรับสารตะกั่ว | |
|  | aPb | ratio of engine-out emissions per gram of fuel consumed สำหรับสารตะกั่ว (gPbHC/gHCfuel)\*\* HC | |
|  | Prob\_Pb | proportion of lead emittedHCH\*\* HC | |

**6. ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | …(4.5-15) |
|  | โดยที่ |  | |
|  | EOEPM | Engine Out Emission (g/km) สำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็ก | |
|  | apm | ratio of engine-out emissions per gram of fuel consumed สำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็ก (gHCSO2/gHCfuel)\*\* HC | |

**7. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | …(4.5-16) |
|  | โดยที่ |  | |
|  | TPECO2 | Tailpipe Emission (g/km) สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์ | |
|  | aCO2 | ratio of hydrogen to carbon atom in fuel\* HHHC | |

หมายเหตุ \* เป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจาก Catalyst Pass Fraction

\*\* เป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจาก Engine Out Emission

* + 1. **ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมข้อมูลบัญชีสายทางและข้อมูลสภาพความเสียหายในปัจจุบัน สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบในอนาคต เช่น ปริมาณการจราจร ประเภทและตัวแทนยานพาหนะ ข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุในอดีตที่ผ่านมา**

กลุ่มที่ปรึกษาได้รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์ โดยได้ใช้ข้อมูลบัญชีสายทางและข้อมูลสภาพความเสียหายจากระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Road Net Web Application System, Roadnet) ของสำนักบริหารบำรุงทาง และข้อมูลปริมาณการจราจรบนทางหลวงจากโครงการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านอำนวยความปลอดภัย (ระบบ TIMS) ของสำนักอำนวยปลอดภัยซึ่งที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลและนำเข้าสู่ระบบ TPMS ทั้งประเทศรวม 102 แขวง คิดเป็นระยะทางทั้งหมดประมาณ 58,810 กิโลเมตร แสดงข้อมูลปริมาณสายทาง ดัง**ตารางที่ 4.4-5** ที่กล่าวมาข้างต้น

* + 1. **ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของโครงข่ายทางหลวงกรณีปกติที่ยังไม่มีการรองรับ AEC และกรณีที่รองรับ AEC**

การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมทั้งกรณีปกติและกรณีที่รองรับ AEC โดยระบบ TPMS นั้น ที่ปรึกษาได้กำหนดขั้นตอนการวิเคราะห์ไว้ 2 ส่วนหลัก ดังนี้

1. *กรณีที่ยังไม่รองรับ AEC* วิเคราะห์ปริมาณพลังงานและปริมาณควันพิษ 1-10 ปี โดยกำหนดให้แต่ละปีมีอัตราการเพิ่มของปริมาณจราจร 2% และมีค่า IRI ในแต่ละปี 1-10

ตารางที่ 4.5-1 ค่า IRI ที่กำหนดในแต่ละปีในการวิเคราะห์วิเคราะห์ปริมาณพลังงานและปริมาณควันพิษ

|  |  |
| --- | --- |
| **ปี** | **IRI (m/km)** |
|  |
| 2558 | 2.67 |
| 2559 | 2.70 |
| 2560 | 2.75 |
| 2561 | 2.81 |
| 2562 | 2.88 |
| 2563 | 2.96 |
| 2564 | 3.05 |
| 2565 | 3.14 |
| 2566 | 3.24 |
| 2567 | 3.35 |

1. *กรณีที่รองรับ AEC* กำหนดค่า IRI เป้าหมายที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 1 จากนั้นวิเคราะห์ค่าพลังงานและปริมาณควันพิษในแต่ละปี โดยพิจารณาตามอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการรองรับ AEC ซึ่งกำหนดให้อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นทุกปีมีค่าเท่ากับ 4%, 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% รวมทั้งหมด 6 รูปแบบ

ภาพรวมของขั้นตอนการวิเคราะห์ดัง**รูปที่ 4.5-3**

**กรณีที่ยังไม่รองรับ AEC** (วิเคราะห์ปริมาณพลังงานและควันพิษในแต่ละปีเป็นระยะเวลา 10ปี )

โดยกำหนดอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรปกติที่ 2% และมีค่า IRI ตามตารางที่ 4.5-1

**กรณีที่ยังรองรับ AEC** (วิเคราะห์ปริมาณพลังงานและควันพิษในแต่ละปีเป็นระยะเวลา 10 ปี)

โดยกำหนดอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรปกติที่ 2% และมีค่า IRI ตามตารางที่ 4.5-1

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 14%

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 12%

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 10%

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 8%

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 6%

กรณี อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเท่ากับ 4%

สรุปเปรียบเทียบค่าพลังงานและปริมาณควันพิษที่เพิ่มขึ้น

**รูปที่ 4.4-13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าพลังงานและปริมาณควันพิษที่เพิ่มขึ้น**

แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจร ตั้งแต่ 2% - 15ดังตารางที่ 4.5-2

**ตารางที่ 4.5-2 ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 2% - 14%**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ปี** | **ค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี** | **ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 2%** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 2558 | 2.67 | 1,687,227.79 | 428.43 | 86,506.15 | 78.13 | 461.05 | 4.14 | 29.00 | 185.08 |
| 2559 | 2.7 | 1,705,251.96 | 432.70 | 87,439.31 | 78.96 | 466.01 | 4.18 | 29.31 | 187.08 |
| 2560 | 2.75 | 1,723,462.66 | 436.99 | 88,382.12 | 79.79 | 471.02 | 4.23 | 29.63 | 189.10 |
| 2561 | 2.81 | 1,741,899.87 | 441.32 | 89,336.97 | 80.63 | 476.09 | 4.27 | 29.95 | 191.15 |
| 2562 | 2.88 | 1,760,502.44 | 445.65 | 90,300.32 | 81.47 | 481.20 | 4.32 | 30.27 | 193.21 |
| 2563 | 2.96 | 1,779,194.71 | 449.96 | 91,267.60 | 82.32 | 486.34 | 4.36 | 30.60 | 195.29 |
| 2564 | 3.05 | 1,797,891.95 | 454.22 | 92,233.62 | 83.16 | 491.47 | 4.41 | 30.92 | 197.36 |
| 2565 | 3.14 | 1,816,552.09 | 458.43 | 93,195.85 | 83.99 | 496.57 | 4.45 | 31.25 | 199.43 |
| 2566 | 3.24 | 1,835,134.56 | 462.56 | 94,151.95 | 84.82 | 501.65 | 4.50 | 31.57 | 201.49 |
| 2567 | 3.35 | 1,853,583.53 | 466.56 | 95,098.78 | 85.63 | 506.68 | 4.54 | 31.89 | 203.54 |
| รวม 10 ปี | | 17,700,701.56 | 4,476.82 | 907,912.67 | 818.90 | 4,838.08 | 43.40 | 304.39 | 1,942.73 |
| เฉลี่ยต่อปี | | 1,770,070.16 | 447.68 | 90,791.27 | 81.89 | 483.81 | 4.34 | 30.44 | 194.27 |
| **ปี** | **ค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี** | **ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 4%** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 2558 | 2.67 | 1,688,457.86 | 428.72 | 86,568.89 | 78.19 | 461.39 | 4.14 | 29.02 | 185.22 |
| 2559 | 2.7 | 1,707,726.71 | 433.29 | 87,565.43 | 79.07 | 466.69 | 4.19 | 29.35 | 187.36 |
| 2560 | 2.75 | 1,727,201.85 | 437.88 | 88,572.53 | 79.95 | 472.03 | 4.24 | 29.69 | 189.51 |
| 2561 | 2.81 | 1,746,940.41 | 442.52 | 89,593.73 | 80.85 | 477.46 | 4.28 | 30.03 | 191.7 |
| 2562 | 2.88 | 1,766,881.63 | 447.16 | 90,625.40 | 81.76 | 482.93 | 4.33 | 30.38 | 193.91 |
| 2563 | 2.96 | 1,786,941.78 | 451.79 | 91,662.43 | 82.67 | 488.44 | 4.38 | 30.73 | 196.14 |
| 2564 | 3.05 | 1,807,023.80 | 456.38 | 92,698.89 | 83.57 | 493.94 | 4.43 | 31.08 | 198.36 |
| 2565 | 3.14 | 1,827,118.99 | 460.93 | 93,734.31 | 84.47 | 499.44 | 4.48 | 31.43 | 200.59 |
| 2566 | 3.24 | 1,847,239.54 | 465.42 | 94,769.68 | 85.37 | 504.94 | 4.53 | 31.78 | 202.82 |
| 2567 | 3.35 | 1,867,195.28 | 469.78 | 95,793.43 | 86.25 | 510.38 | 4.58 | 32.12 | 205.04 |
| รวม 10 ปี | | 17,772,727.85 | 4,493.87 | 911,584.72 | 822.15 | 4,857.64 | 43.58 | 305.61 | 1,950.65 |
| เฉลี่ยต่อปี | | 1,777,272.79 | 449.39 | 91,158.47 | 82.22 | 485.76 | 4.36 | 30.56 | 195.07 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **ปี** | **ค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี** | **ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 6%** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 2558 | 2.67 | 1,689,223.47 | 428.9 | 86,607.97 | 78.22 | 461.6 | 4.14 | 29.03 | 185.3 |
| 2559 | 2.7 | 1,709,267.71 | 433.66 | 87,643.98 | 79.14 | 467.11 | 4.19 | 29.38 | 187.53 |
| 2560 | 2.75 | 1,729,534.56 | 438.43 | 88,691.33 | 80.06 | 472.67 | 4.24 | 29.73 | 189.77 |
| 2561 | 2.81 | 1,750,104.67 | 443.26 | 89,754.94 | 81 | 478.32 | 4.29 | 30.09 | 192.05 |
| 2562 | 2.88 | 1,770,893.90 | 448.1 | 90,829.86 | 81.94 | 484.03 | 4.34 | 30.45 | 194.36 |
| 2563 | 2.96 | 1,791,806.87 | 452.93 | 91,910.32 | 82.89 | 489.76 | 4.39 | 30.81 | 196.67 |
| 2564 | 3.05 | 1,812,764.47 | 457.73 | 92,991.40 | 83.83 | 495.5 | 4.45 | 31.18 | 199 |
| 2565 | 3.14 | 1,833,776.05 | 462.5 | 94,073.82 | 84.78 | 501.25 | 4.5 | 31.54 | 201.32 |
| 2566 | 3.24 | 1,854,842.68 | 467.21 | 95,157.71 | 85.71 | 507.01 | 4.55 | 31.91 | 203.66 |
| 2567 | 3.35 | 1,875,746.06 | 471.79 | 96,229.97 | 86.64 | 512.71 | 4.6 | 32.27 | 205.98 |
| รวม 10 ปี | | 17,817,960.44 | 4,504.51 | 913,891.30 | 824.21 | 4,869.96 | 43.69 | 306.39 | 1,955.64 |
| เฉลี่ยต่อปี | | 1,781,796.04 | 450.45 | 91,389.13 | 82.42 | 487.00 | 4.37 | 30.64 | 195.56 |
| **ปี** | **ค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี** | **ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 8%** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 2558 | 2.67 | 1,689,792.80 | 429.04 | 86,637.01 | 78.25 | 461.75 | 4.14 | 29.04 | 185.37 |
| 2559 | 2.7 | 1,710,404.25 | 433.93 | 87,701.87 | 79.19 | 467.42 | 4.19 | 29.4 | 187.65 |
| 2560 | 2.75 | 1,731,242.71 | 438.84 | 88,778.30 | 80.14 | 473.13 | 4.25 | 29.76 | 189.96 |
| 2561 | 2.81 | 1,752,398.84 | 443.81 | 89,871.77 | 81.1 | 478.94 | 4.3 | 30.13 | 192.3 |
| 2562 | 2.88 | 1,773,794.75 | 448.79 | 90,977.66 | 82.07 | 484.81 | 4.35 | 30.5 | 194.67 |
| 2563 | 2.96 | 1,795,327.99 | 453.76 | 92,089.69 | 83.05 | 490.72 | 4.4 | 30.87 | 197.06 |
| 2564 | 3.05 | 1,816,910.10 | 458.71 | 93,202.63 | 84.02 | 496.62 | 4.46 | 31.25 | 199.45 |
| 2565 | 3.14 | 1,838,606.76 | 463.64 | 94,320.33 | 84.99 | 502.56 | 4.51 | 31.62 | 201.85 |
| 2566 | 3.24 | 1,860,345.77 | 468.51 | 95,438.54 | 85.96 | 508.5 | 4.56 | 32 | 204.26 |
| 2567 | 3.35 | 1,881,946.34 | 473.27 | 96,546.52 | 86.92 | 514.39 | 4.61 | 32.38 | 206.66 |
| รวม 10 ปี | | 17,850,770.31 | 4,512.30 | 915,564.32 | 825.69 | 4,878.84 | 43.77 | 306.95 | 1,959.23 |
| เฉลี่ยต่อปี | | 1,785,077.03 | 451.23 | 91,556.43 | 82.57 | 487.88 | 4.38 | 30.70 | 195.92 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **ปี** | **ค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี** | **ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 10%** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 2558 | 2.67 | 1,690,227.61 | 429.14 | 86,659.20 | 78.27 | 461.87 | 4.14 | 29.05 | 185.41 |
| 2559 | 2.7 | 1,711,281.27 | 434.14 | 87,746.55 | 79.23 | 467.65 | 4.2 | 29.41 | 187.75 |
| 2560 | 2.75 | 1,732,576.51 | 439.16 | 88,846.25 | 80.2 | 473.49 | 4.25 | 29.78 | 190.1 |
| 2561 | 2.81 | 1,754,207.98 | 444.23 | 89,963.97 | 81.18 | 479.43 | 4.3 | 30.16 | 192.5 |
| 2562 | 2.88 | 1,776,090.98 | 449.34 | 91,094.74 | 82.18 | 485.43 | 4.36 | 30.54 | 194.92 |
| 2563 | 2.96 | 1,798,112.14 | 454.42 | 92,231.59 | 83.17 | 491.47 | 4.41 | 30.92 | 197.36 |
| 2564 | 3.05 | 1,820,213.84 | 459.5 | 93,371.02 | 84.17 | 497.52 | 4.46 | 31.3 | 199.81 |
| 2565 | 3.14 | 1,842,458.68 | 464.56 | 94,516.96 | 85.17 | 503.6 | 4.52 | 31.69 | 202.28 |
| 2566 | 3.24 | 1,864,733.15 | 469.55 | 95,662.51 | 86.16 | 509.69 | 4.57 | 32.08 | 204.74 |
| 2567 | 3.35 | 1,886,889.70 | 474.44 | 96,798.87 | 87.14 | 515.73 | 4.62 | 32.46 | 207.21 |
| รวม 10 ปี | | 17,876,791.86 | 4,518.48 | 916,891.66 | 826.87 | 4,885.88 | 43.83 | 307.39 | 1,962.08 |
| เฉลี่ยต่อปี | | 1,787,679.19 | 451.85 | 91,689.17 | 82.69 | 488.59 | 4.38 | 30.74 | 196.21 |
| **ปี** | **ค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี** | **ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 12%** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 2558 | 2.67 | 1,690,616.33 | 429.23 | 86,679.03 | 78.29 | 461.98 | 4.15 | 29.06 | 185.46 |
| 2559 | 2.7 | 1,712,057.29 | 434.32 | 87,786.10 | 79.26 | 467.86 | 4.2 | 29.43 | 187.83 |
| 2560 | 2.75 | 1,733,753.40 | 439.43 | 88,906.19 | 80.25 | 473.81 | 4.25 | 29.8 | 190.23 |
| 2561 | 2.81 | 1,755,793.09 | 444.6 | 90,044.72 | 81.25 | 479.86 | 4.31 | 30.19 | 192.67 |
| 2562 | 2.88 | 1,778,103.42 | 449.81 | 91,197.27 | 82.27 | 485.98 | 4.36 | 30.57 | 195.15 |
| 2563 | 2.96 | 1,800,553.91 | 454.99 | 92,355.94 | 83.29 | 492.13 | 4.42 | 30.96 | 197.63 |
| 2564 | 3.05 | 1,823,095.41 | 460.17 | 93,517.80 | 84.3 | 498.3 | 4.47 | 31.35 | 200.13 |
| 2565 | 3.14 | 1,845,818.78 | 465.34 | 94,688.39 | 85.32 | 504.52 | 4.53 | 31.75 | 202.65 |
| 2566 | 3.24 | 1,868,575.71 | 470.45 | 95,858.60 | 86.34 | 510.74 | 4.58 | 32.15 | 205.17 |
| 2567 | 3.35 | 1,891,196.17 | 475.45 | 97,018.49 | 87.34 | 516.91 | 4.63 | 32.54 | 207.68 |
| รวม 10 ปี | | 17,899,563.51 | 4,523.79 | 918,052.53 | 827.91 | 4,892.09 | 43.90 | 307.80 | 1,964.60 |
| เฉลี่ยต่อปี | | 1,789,956.35 | 452.38 | 91,805.25 | 82.79 | 489.21 | 4.39 | 30.78 | 196.46 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **ปี** | **ค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี** | **ปริมาณพลังงานและควันพิษแต่ละปี กรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 14%** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 2558 | 2.67 | 1,690,923.47 | 429.3 | 86,694.69 | 78.3 | 462.06 | 4.15 | 29.06 | 185.49 |
| 2559 | 2.7 | 1,712,679.26 | 434.47 | 87,817.79 | 79.29 | 468.03 | 4.2 | 29.44 | 187.9 |
| 2560 | 2.75 | 1,734,697.59 | 439.66 | 88,954.28 | 80.29 | 474.07 | 4.25 | 29.82 | 190.34 |
| 2561 | 2.81 | 1,757,071.55 | 444.91 | 90,109.86 | 81.31 | 480.21 | 4.31 | 30.21 | 192.81 |
| 2562 | 2.88 | 1,779,720.75 | 450.19 | 91,279.69 | 82.34 | 486.42 | 4.36 | 30.6 | 195.32 |
| 2563 | 2.96 | 1,802,514.23 | 455.46 | 92,455.83 | 83.37 | 492.66 | 4.42 | 31 | 197.85 |
| 2564 | 3.05 | 1,825,420.95 | 460.73 | 93,636.32 | 84.41 | 498.93 | 4.48 | 31.39 | 200.38 |
| 2565 | 3.14 | 1,848,536.97 | 465.99 | 94,827.10 | 85.44 | 505.26 | 4.53 | 31.8 | 202.95 |
| 2566 | 3.24 | 1,871,677.32 | 471.19 | 96,016.96 | 86.48 | 511.58 | 4.59 | 32.2 | 205.51 |
| 2567 | 3.35 | 1,894,671.95 | 476.28 | 97,195.81 | 87.49 | 517.85 | 4.64 | 32.6 | 208.06 |
| รวม 10 ปี | | 17,917,914.04 | 4,528.18 | 918,988.33 | 828.72 | 4,897.07 | 43.93 | 308.12 | 1,966.61 |
| เฉลี่ยต่อปี | | 1,791,791.40 | 452.82 | 91,898.83 | 82.87 | 489.71 | 4.39 | 30.81 | 196.66 |

* + 1. **ขั้นตอนที่ 4 สรุปเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม เมื่อมีการรองรับ AEC**

หลังจากที่วิเคราะห์ปริมาณพลังงานและควันพิษตลอด 10 ปี ในกรณีที่ปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 2% - 14% สามารถสรุปค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานและควันพิษ ต่อปี ดังตารางที่ 4.5-3 และ เปรียบผลกระทบเมื่อมีการรองรับ AEC โดยพบว่าปริมาณพลังงานและปริมาณควันพิษที่เพิ่มขึ้นต่อปี เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่รองรับ AEC (อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรเป็นปกติที่ 2%) มีค่าสูงขึ้น แปรผันตามปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 4 - 14 % ดังตารางที่ 4.5-4

ตารางที่ 4.5-3 ค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานและควันพิษ ต่อปี ในกรณีที่ปริมาณจราจรมีอัตราเพิ่มขึ้น 2% - 14%

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ลำดับ** | **อัตราการเพิ่มปริมาณการจราจร** | **เฉลี่ยปริมาณพลังงานและควันพิษ ต่อปี** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 1 | 2% | 1,770,070.16 | 447.68 | 90,791.27 | 81.89 | 483.81 | 4.34 | 30.44 | 194.27 |
| 2 | 4% | 1,777,272.79 | 449.39 | 91,158.47 | 82.22 | 485.76 | 4.36 | 30.56 | 195.07 |
| 3 | 6% | 1,781,796.04 | 450.45 | 91,389.13 | 82.42 | 487.00 | 4.37 | 30.64 | 195.56 |
| 4 | 8% | 1,785,077.03 | 451.23 | 91,556.43 | 82.57 | 487.88 | 4.38 | 30.70 | 195.92 |
| 5 | 10% | 1,787,679.19 | 451.85 | 91,689.17 | 82.69 | 488.59 | 4.38 | 30.74 | 196.21 |
| 6 | 12% | 1,789,956.35 | 452.38 | 91,805.25 | 82.79 | 489.21 | 4.39 | 30.78 | 196.46 |
| 7 | 14% | 1,791,791.40 | 452.82 | 91,898.83 | 82.87 | 489.71 | 4.39 | 30.81 | 196.66 |

ตารางที่ 4.5-3 ค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานและควันพิษ ต่อปี ในกรณีที่ปริมาณจราจรมีอัตราเพิ่มขึ้น 2% - 14%

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ลำดับ** | **อัตราการเพิ่มปริมาณการจราจร** | **ปริมาณพลังงานและควันพิษที่เพิ่มขึ้นต่อปี** | | | | | | | |
| **พลังงาน (TJ)** | **CO (ตัน)** | **CO2 (ตัน)** | **HC (ตัน)** | **NOx (ตัน)** | **Pb (ตัน)** | **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตัน)** | **SO2 (ตัน)** |
| 1 | 2% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 4% | 7,202.63 | 1.71 | 367.20 | 0.33 | 1.96 | 0.02 | 0.12 | 0.79 |
| 3 | 6% | 11,725.89 | 2.77 | 597.86 | 0.53 | 3.19 | 0.03 | 0.20 | 1.29 |
| 4 | 8% | 15,006.88 | 3.55 | 765.17 | 0.68 | 4.08 | 0.04 | 0.26 | 1.65 |
| 5 | 10% | 17,609.03 | 4.17 | 897.90 | 0.80 | 4.78 | 0.04 | 0.30 | 1.94 |
| 6 | 12% | 19,886.19 | 4.70 | 1,013.99 | 0.90 | 5.40 | 0.05 | 0.34 | 2.19 |
| 7 | 14% | 21,721.25 | 5.14 | 1,107.57 | 0.98 | 5.90 | 0.05 | 0.37 | 2.39 |