Chulalongkorn University
Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2022

การประมาณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางหลวงอันเนื่องมาจากการจราจรรถบรรทุกหนัก

ภาณุพงศ์ เย็นฉ่ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd

Part of the Civil Engineering Commons, and the Construction Engineering and Management Commons

Recommended Citation

เย็นฉ่ำ, ภาณุพงศ์, "การประมาณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางหลวงอันเนื่องมาจากการจราจรรถบรรทุกหนัก" (2022). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 6546.
https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6546

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การประมาณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางหลวงอันเนื่องมาจากการจราจรรถบรรทุกหนัก

นายภาณุพงศ์ เย็นฉ่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Estimation of highway maintenance costs due to heavy truck traffic

Mr. Panupong Yencham

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2022
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางหลวงอันเนื่องมาจากการจราจรรถบรรทุกหนัก
โดย	นายภาณุพงศ์ เย็นฉ่ำ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรดล ศิริธร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาณุพงศ์ เย็นฉ่ำ : การประมาณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางหลวงอันเนื่องมาจากการจราจรรถบรรทุกหนัก. (Estimation of highway maintenance costs due to heavy truck traffic) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบบจำลองการคาดการณ์ความเสียหายของผิวทางลาดยางที่เหมาะสมกับทางหลวงในประเทศไทย โดยมีผลลัพธ์ความเสียหายที่เพียงพอต่อการคิดค่าบำรุงรักษาทางในระยะยาว และวิเคราะห์หาค่าความเสียหายที่ครอบคลุมค่าซ่อมบำรุงรักษาโครงสร้างทางเพื่อเป็นแนวทางในการคิดอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกในอนาคต ผู้ศึกษาได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างถนนลาดยางด้วยโปรแกรม Highway Development and management (HDM-4) โดยใช้ข้อมูลของทางหลวงเส้น 344 ระยอง-บ้านบึง ซึ่งตั้งอยู่ไม่ไกลจากสถานีชั่งน้ำหนักรถบรรทุกในการสร้างแบบจำลอง โดยที่แบบจำลองที่สร้างมีความยาว 1 กิโลเมตร และมีจำนวนช่องจราจร 4 ช่องจราจร ทำการทดสอบโดยการใช้แบบจำลองรถบรรทุกหนักทั้งหมด 4 ประเภท ทำการจำลองความเสียหายที่เกิดจากรถบรรทุกหนักเป็นระยะเวลา 20 ปี คือ การแตกร้าว, การหลุดร่อน, หลุมบ่อ และร่องล้อ จากผลการศึกษาแบบจำลองพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงโครงสร้างทาง ปริมาณรถบรรทุก และหน้าตัดถนน มีแนวโน้มที่จะบ่งบอกถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นในอนาคต โดยค่าซ่อมบำรุงจะถูกคิดในรูปแบบต่อเพลามาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6270345421 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: hdm-4, heavy truck, maintenance, fee

Panupong Yencham : Estimation of highway maintenance costs due to heavy truck traffic. Advisor: Assoc. Prof. Boonchai Sangpetngam, Ph.D.

This article aims to study the pavement damage forecasting model suitable for highways in Thailand. with damage results sufficient to charge long-term maintenance costs and analyze the damage cost covering the cost of maintaining the road structure as a guideline for calculating truck fees in the future. The study authors modeled the asphalt road structure by using HDM-4 program using the data of Highway 344, Rayong-Ban Bueng. which is located not far from the truck weighing station in the modeling. The model was built with a length of 1 km and a total of four lanes. Tests were carried out using four types of heavy truck models, simulating the damage caused by heavy trucks over a period of 20 years: cracking, ravelling, potholes and rut depth. relationship between structural strength Truck quantity and road section It tends to indicate future damage. The maintenance cost will be charged as per standard axles.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Civil Engineering	Student's Signature .....
Academic Year:	2022	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม อย่างสูง ที่เมตตาเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ดูแลการทำงานวิจัย ให้คำแนะนำ คำปรึกษาข้อคิดเห็นต่างๆในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งชี้แนะแนวทาง แรงกระตุ้นในการทำงาน ตลอดจนให้กำลังใจในการทำงานพร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใส่ใจอย่างดีจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ และขอขอบพระคุณต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรดล ศิริธร กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ซึ่งกรรมการทุกท่านได้ให้คำแนะนำและแง่คิดต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ในการเตรียมข้อมูลสำหรับวิเคราะห์การก่อสร้างและซ่อมบำรุง ในการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์นั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ คุณกนกศักดิ์ เพียรธัญกรณ์ จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย และ คุณมนตรี หนูทองอินทร์ จากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร ที่ให้คำแนะนำในส่วนของการคิดมูลค่างานก่อสร้างและซ่อมบำรุง ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ดร.ธันวิน สวัสดิศานต์ สำนักบริหารและบำรุงทาง และ คุณวสันต์ พฤกษางามชล สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลอง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยมีความสำนึกในพระคุณของคณาจารย์ทุกท่าน คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ บิดามารดา ครอบครัว และเพื่อน ๆ ของผู้วิจัยที่ได้สนับสนุนเอาใจใส่ดูแลและให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษาลุล่วงไปได้ด้วยดี

ภาณุพงศ์ เย็นฉ่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฐ

สารบัญรูปภาพ..... ต

บทที่ 1..... 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตของโครงงาน..... 3

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.5 หลักการและลักษณะของโครงงาน 4

บทที่ 2..... 5

แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 ค่าธรรมเนียม 5

2.1.1 คำนิยาม 5

2.1.2 บทบาทของค่าธรรมเนียมรถบบรทุกหนัก 5

2.2 Overweight (OW)..... 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 โครงสร้างค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนักเกินมาตรฐาน 6
2.4 ค่าธรรมเนียมใบอนุญาต 29
2.4.1 ข้อจำกัดด้านน้ำหนักของยานพาหนะ 32
2.4.2 ปัจจัยภายนอกที่มีผลกับค่าธรรมเนียม 32
2.4.3 ระบบช่วยในการขอใบอนุญาต 34
2.4.3.1 ตัวอย่างของระบบใบอนุญาต Oxcart 35
2.4.4 รูปแบบการคิดค่าธรรมเนียม 36
2.4.4.1 กลุ่มการเก็บค่าธรรมเนียมแบบคงที่ 36
2.4.4.2 กลุ่มการเก็บค่าธรรมเนียมตามระยะทาง 37
2.4.4.3 กลุ่มการเก็บค่าธรรมเนียมแบบแปรผันตามน้ำหนักและตามระยะทาง 38
2.5 ขนาดมิติที่มีขนาดบรรทุกเกินกว่ากฎหมายกำหนด 40
2.5.1 ขนาดรถตามกฎหมาย 41
2.5.2 ความกว้างที่เกินกฎหมายกำหนด 43
2.5.3 ความสูงที่เกินกฎหมายกำหนด 44
2.5.4 ความยาวที่เกินกฎหมายกำหนด 44
2.6 ความเสียหายที่เกิดจากรถบรรทุก OS/OW เกินมาตรฐาน 46
2.6.1 ค่าความเสียหายของผิวทางที่เกิดจากประเภทยานพาหนะ 48
2.6.2 การวิเคราะห์ค่าความเสียหายของผิวทาง 50
2.6.2.1 การวิเคราะห์ค่าความเสียหายผิวทาง ในรัฐเท็กซัส 53
2.6.2.2 การวิเคราะห์ค่าความเสียหายผิวทาง Banerjee และ Prozzi (2015) 55
2.6.2.3 การวิเคราะห์ความเสียหายต่อถนน Dey และคณะ (2014) 57
2.6.3 HDM 4 กับการคาดการณ์ความเสียหาย 59
2.6.4 ค่า IRI กับการประเมินสภาพความเสียหาย 62
บทที่ 3 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 64
3.1 การกำหนดปัญหาและการวางแผนออกแบบแนวทางการวิจัย 65
3.2 การเลือกรูปแบบการคาดการณ์และการประมาณการ 66
3.2.1 การคาดการณ์ความเสียหายที่เกิดขึ้น 66
3.2.1.1 ร่องล้อ (Rut Depth) 66
3.2.1.2 ค่าดัชนีความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI) 67
3.2.1.3 รอยปะซ่อม (Skin Patching) 68
3.2.1.3.1 หลุดร่อน (Ravelling) 68
3.2.1.3.2 หลุมบ่อ (Potholing) 68
3.2.1.4 รอยร้าว (Cracking) 68
3.2.1.4.1 การแตกร้าวจากโครงสร้าง (Structural cracking) 68
3.2.1.4.2 การแตกร้าวด้วยความร้อนตามแนวขวาง (Transverse thermal cracking) 69
3.2.2 การคาดการณ์การซ่อมบำรุงในอนาคต 69
3.2.2.1 ปะซ่อม (Patching) 69
3.2.2.2 ปิดรอยแตกร้าว (Crack sealing) 70
3.2.2.3 ซ่อมขอบ (Edge-repair) 70
3.2.3 การประมาณราคาค่าก่อสร้าง 70
3.2.3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพ (Upgrading) 70
3.2.3.2 การก่อสร้างใหม่ หรือต่อเติม 71
3.2.4 การประมาณค่าซ่อมบำรุงรักษาทาง 71
3.3 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ 71
3.3.1 การวิเคราะห์หาค่าพื้นที่การแตกร้าวทั้งหมดกำหนดไว้ดังสมการที่ 3.1 72
3.3.2 การวิเคราะห์หาพื้นที่ทั้งหมดและต้นทุนของการปะซ่อม 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.3 การวิเคราะห์หาความลึกของร่องทั้งหมด 73

3.3.3.1 ความลึกของร่องรวมที่มีการเพิ่มขึ้นทุกปี (ΔRDM) คำนวณได้ดังสมการที่ 3.4, 3.5 และ 3.6 73

3.3.3.2 ความลึกของร่องทั้งหมด $(RDMb)$ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง 74

3.3.4 การวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงความหยาบของผิวโดยรวม 74

3.5.4.1 การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดในความหยาบของผิวทางได้จากการคำนวณดังสมการที่ 3.7 74

3.3.4.2 ความหยาบของผิวทางเมื่อสิ้นสุดปีที่วิเคราะห์ กำหนดโดยสมการที่ 3.8 75

3.3.4.3 ความหยาบเฉลี่ยรายปีของผิวทางสำหรับปีการวิเคราะห์ที่กำหนด คำนวณได้ดังสมการที่ 3.9 75

3.3.5 ความแข็งแรงผิวทาง 76

3.3.6 ลักษณะความเสียหายที่มาจากการจำลองการแตกร้าว 79

3.3.7 ลักษณะความเสียหายที่มาจากการจำลองการหลุดร่อน 81

3.3.8 ลักษณะความเสียหายที่มาจากการจำลองการเกิดร่องล้อ 83

3.3.8.1 ความหนาแน่นเริ่มต้น (Initial densification) 84

3.3.8.2 การเสียรูปของโครงสร้าง (Structural deformation) 84

3.3.8.3 การเปลี่ยนรูปพลาสติก (Plastic deformation) 85

3.3.8.4 การสึกหรอของพื้นผิว (Surface wear) 86

3.3.9 ลักษณะความเสียหายที่มาจากการจำลองการเกิดหลุมบ่อ 87

3.3.10 ลักษณะความเสียหายที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหยาบของผิวทางในแบบจำลอง 91

3.4 ข้อมูล Falling Weight Deflectometer (FWD) สำหรับจำลองความแข็งแรงโครงสร้างทาง96

3.5 การออกแบบการทดลอง 103

3.5.1 การเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 103

3.5.2 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางบน HDM-4 103

3.5.2.1 ความแข็งแรงโครงสร้างทาง 104

3.5.2.2 หน้าตัดถนนสำหรับสร้างแบบจำลอง 105

3.5.2.3 ประเภทและลักษณะถนน 107

3.5.2.4 ประเภทของยานพาหนะ 108

3.5.2.5 สภาพอากาศและสภาพแวดล้อม 113

3.5.3 คุณภาพของการก่อสร้าง (Construction Quality) 116

3.5.3.1 CDS (Construction Defects indicator for bituminous Surfacings) . 116

3.5.3.2 CDB (Construction Defects indicator for the base) 116

3.5.4 ระยะเวลา 117

3.5.5 เงื่อนไขในการซ่อมบำรุง 117

3.5.6 การ Calibration Factor เพื่อให้เหมาะสมกับประเทศไทย 120

3.5.6.1 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากการไม่ปรับแก้ 128

3.5.6.1.1 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตลอดระยะเวลา 20 ปี โดยไม่มีการบำรุงรักษา และไม่มีการปรับแก้ ... 128

3.5.6.1.2 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีไม่ปรับแก้ค่า Calibration 132

3.5.6.2 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากการปรับแก้ค่าตลอดระยะเวลา 20 ปี รูปแบบที่ 1 137

3.5.6.3 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากการปรับแก้ค่าตลอดระยะเวลา 20 ปี รูปแบบที่ 2 143

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 152

3.7.1 การวิเคราะห์มูลค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง 153

3.7.1.1 การคำนวณค่าก่อสร้างถนนเบื้องต้นที่ใช้ในแบบจำลอง HDM-4 153

3.7.2 การวิเคราะห์ค่าซ่อมบำรุงต่อเพลามาตรฐาน 159

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4 160
การวิเคราะห์ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 160
4.1 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจาก HDM-4 160
4.2 การซ่อมบำรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วย HDM-4 164
4.2.1 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 1 167
4.2.2 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 2 172
4.2.3 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 3 177
4.2.4 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 4 184
4.2.5 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 5 189
4.3 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เพื่อใช้ในการพิจารณาอัตราค่าธรรมเนียม 196
4.3.1 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ (แบบจำลองที่ 1) 196
4.3.2 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ และเพิ่ม SN ขึ้นอีก 20% (แบบจำลองที่ 2) 199
4.3.3 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ และเพิ่ม SN ขึ้นอีก 40% (แบบจำลองที่ 3) 201
4.3.4 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ และลด SN ลงอีก 20% (แบบจำลองที่ 4) 204
4.3.5 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ ลด SN ลงอีก 20% และลดปริมาณจราจรลง 40% (แบบจำลองที่ 5) 206
4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุงทาง 209
4.4.1 การประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกพิจารณาค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง 209
4.4.2 การประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกพิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุง 210
4.4.3 สรุปผลการเปรียบเทียบทางเลือกที่ดีที่สุดจากการพิจารณาค่า NPV โดยการพิจารณาค่าก่อสร้าง และ ค่าบำรุงรักษาทางตลอดระยะเวลา 20 ปี 212
4.5 การอภิปรายผลการวิเคราะห์ 215
บทที่ 5 219
5.1 สรุปผล 219

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย 224

5.3 ข้อเสนอแนะ 224

ภาคผนวก 226

(ตัวอย่างแสดงผลของโปรแกรม HDM-4 ในตัวอย่างที่ 2 กรณีแบบจำลองต้นแบบ) 226

ภาคผนวก ข 236

(ข้อมูลค่า IRI ทางหลวงสาย 344 ชลบุรี-แกลง ตั้งแต่ปี 2555 - 2566) 236

บรรณานุกรม 248

ประวัติผู้เขียน 251

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 รูปแบบรถบรรทุกที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ 7

ตารางที่ 2 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Arizona 12

ตารางที่ 3 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ California 13

ตารางที่ 4 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Colorado 17

ตารางที่ 5 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Idaho 18

ตารางที่ 6 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Montana 19

ตารางที่ 7 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Nevada 20

ตารางที่ 8 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ New Mexico 21

ตารางที่ 9 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ North Dakota 22

ตารางที่ 10 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Oklahoma 23

ตารางที่ 11 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Oregon 24

ตารางที่ 12 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Texas 25

ตารางที่ 13 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Utah 26

ตารางที่ 14 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Washington 27

ตารางที่ 15 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Wyoming 28

ตารางที่ 16 ค่าธรรมเนียมตามจำนวนจังหวัดที่รถเดินทางผ่าน 29

ตารางที่ 17 พิกัดการจำกัดมิติขนาดของยานพาหนะในรัฐเท็กซัส 30

ตารางที่ 18 แสดงการปล่อยมลพิษโดยเฉลี่ยของมลพิษที่แตกต่างกัน 33

ตารางที่ 19 แสดงผลการคำนวณปัจจัยการปล่อยมลพิษโดยเฉลี่ย 33

ตารางที่ 20 จำนวนใบอนุญาต และอัตรา / ไมล์ ประเภทความกว้าง ,ความสูง และความยาว สำหรับ 2,000 ใบอนุญาต OS / OW Single-Trip Permits 43

ตารางที่ 21 รายละเอียดตัวแปรที่เกี่ยวข้องในทางหลวงช่วงที่ใช้ในการศึกษา 48

ตารางที่ 22 ค่าความเสียหายผิวทางที่คำนวณได้สำหรับรถทุกประเภท 49

ตารางที่ 23 แบบจำลองการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพโดยใช้หลักการ Load Equivalency Factor (LEF) 56

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์การจัดเก็บค่าธรรมเนียมหลักการ Load Equivalency Factor (LEF) 56

ตารางที่ 25 แสดงการเสื่อมสภาพของผิวทาง 60

ตารางที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับส่วนประกอบความหยาบ 75

ตารางที่ 27 ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของชั้นผิวทาง 78

ตารางที่ 28 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง SN ที่ปรับปรุงแล้ว 78

ตารางที่ 29 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับ Progression of All และ Wide Structural Cracking . 81

ตารางที่ 30 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับแบบจำลองการเริ่มต้นการหลุนร่อน 83

ตารางที่ 31 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับแบบจำลองความก้าวหน้าการหลุนร่อน 83

ตารางที่ 32 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับแบบจำลองความหนาแน่นเริ่มต้น 87

ตารางที่ 33 default coefficient values for structural densification model 87

ตารางที่ 34 default coefficient values for plastic deformation model 87

ตารางที่ 35 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับรูปแบบการสึกหรอของพื้นผิว 87

ตารางที่ 36 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับแบบจำลองการเริ่มต้นของหลุมบ่อ 90

ตารางที่ 37 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับแบบจำลองความก้าวหน้าของหลุมบ่อ 90

ตารางที่ 38 ค่าเริ่มต้นสำหรับ TLF 91

ตารางที่ 39 ค่าสัมประสิทธิ์สิ่งแวดล้อม 'm' ตามเขตภูมิอากาศ 96

ตารางที่ 40 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับองค์ประกอบความหยาบ 96

ตารางที่ 41 ค่าแนะนำ CBR ของดิน สำหรับโครงสร้างทาง 102

ตารางที่ 42 แบบจำลองความแข็งแรงของโครงสร้างทาง 105

ตารางที่ 43 แสดงรายละเอียดหน้าตัดชั้นทาง 107

ตารางที่ 44 แสดงรายละเอียดแบบจำลองถนน 107

ตารางที่ 45 แสดงค่า IRI ที่จะนำมาใช้สร้างแบบจำลองถนน..... 107

ตารางที่ 46 แสดงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับสร้างแบบจำลองยานพาหนะ..... 110

ตารางที่ 47 Moisture classification..... 113

ตารางที่ 48 Temperature classification..... 114

ตารางที่ 49 ค่าเฉลี่ย 30 ปี (2524-2553) ปริมาณน้ำฝน (มม.) ของประเทศไทย..... 114

ตารางที่ 50 การเลือกตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิวทางลาดยาง..... 116

ตารางที่ 51 การเลือกตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างชั้นพื้นทาง..... 117

ตารางที่ 52 ค่าเริ่มต้นสำหรับการบดอัดสัมพัทธ์ 117

ตารางที่ 53 เงื่อนไขและค่าใช้จ่ายในการกำหนดการซ่อมบำรุงรักษา..... 118

ตารางที่ 54 Classification of Road Environment (Source: Bennett & Paterson, 2000).. 122

ตารางที่ 55 Recommended Values of Environmental Coefficient, m (Source: Bennett & Paterson, 2000) 123

ตารางที่ 56 Modifying Factor of Environmental Coefficient for Road Construction and Drainage Effects 124

ตารางที่ 57 Level 1 Adjustment Factor for Cracking Initiation..... 126

ตารางที่ 58 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย..... 132

ตารางที่ 59 การกำหนดข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ในการปรับแก้ระดับที่ 1.. 137

ตารางที่ 60 ค่าการปรับแก้สำหรับเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษา..... 137

ตารางที่ 61 แสดงค่าความแตกต่างของ IRI ที่ส่งผลจากการปรับแก้ และไม่ซ่อมบำรุง 141

ตารางที่ 62 แสดงค่าความแตกต่างของ Cracking area ที่ส่งผลจากการปรับแก้ และไม่ซ่อมบำรุง142

ตารางที่ 63 การกำหนดข้อมูลจริงจากพื้นที่วิจัย เพื่อใช้ในการปรับแก้ระดับที่ 1 รูปแบบที่ 2 143

ตารางที่ 64 ค่าการปรับแก้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา..... 143

ตารางที่ 65 แสดงค่าความแตกต่างของ IRI ที่ส่งผลจากการปรับแก้ และไม่ซ่อมบำรุง 147

ตารางที่ 66 แสดงค่าความแตกต่างของ Cracking area ที่ส่งผลจากการปรับแก้ และไม่ซ่อมบำรุง148

ตารางที่ 67 การกำหนดข้อมูลจริงจากพื้นที่วิจัย เพื่อใช้ในงานวิจัย.....149

ตารางที่ 68 ค่าการปรับแก้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา.....150

ตารางที่ 69 แสดงระยะทาง ค่าขนส่ง และค่าขนขึ้นขนลง.....153

ตารางที่ 70 แสดงค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา.....154

ตารางที่ 71 แสดงค่า Factor F ที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างทาง.....157

ตารางที่ 72 การกำหนดข้อมูลจริงจากพื้นที่วิจัย เพื่อใช้ในงานวิจัย.....160

ตารางที่ 73 ค่าการปรับแก้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา.....160

ตารางที่ 74 แบบจำลองที่ใช้สำหรับดำเนินงานวิจัย.....164

ตารางที่ 75 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 1.....167

ตารางที่ 76 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 2.....172

ตารางที่ 77 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 3.....177

ตารางที่ 78 แสดงค่า IRI ณ ต้นปี และ ปลายปี ทั้ง 3 กรณี และช่วงเวลาที่เกิดกิจกรรมซ่อมบำรุง สีเขียวแสดงกิจกรรม Slurry Seal และสีเหลืองแสดงกิจกรรม Mill and Overlay.....182

ตารางที่ 79 แสดงค่า Cracking ณ ต้นปี และ ปลายปี ทั้ง 3 กรณี และช่วงเวลาที่มีกิจกรรมซ่อมบำรุง สีเขียวแสดงกิจกรรม Slurry Seal และสีเหลืองแสดงกิจกรรม Mill and Overlay 183

ตารางที่ 80 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 4.....184

ตารางที่ 81 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 5.....189

ตารางที่ 82 แสดงค่า IRI ณ ต้นปี และ ปลายปี ทั้ง 2 กรณี และช่วงเวลาที่มีกิจกรรมซ่อมบำรุง สีเขียวแสดงกิจกรรม Slurry Seal และสีเหลืองแสดงกิจกรรม Mill and Overlay.....194

ตารางที่ 83 แสดงค่า Cracking ณ ต้นปี และ ปลายปี ทั้ง 2 กรณี และช่วงเวลาที่มีกิจกรรมซ่อมบำรุง สีเขียวแสดงกิจกรรม Slurry Seal และสีเหลืองแสดงกิจกรรม Mill and Overlay 195

ตารางที่ 84 แสดงการประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกรวมค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง 209

ตารางที่ 85 แสดงค่าการประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกพิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุง 210

ตารางที่ 86 แสดงค่า NPV จากการพิจารณาค่าก่อสร้าง และ ค่าบำรุงรักษาทางตลอดระยะเวลา 20 ปี 212

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ขั้นตอนการหาค่าธรรมเนียมใบอนุญาตสำหรับรถบรรทุก 6

รูปที่ 2 ผลวิเคราะห์กราฟความลึกร่องล้อ สำหรับรถบรรทุกที่ศึกษา 8

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าธรรมเนียมต่อไมล์ของรถบรรทุก 9

รูปที่ 4 อิทธิพลของเกณฑ์การบูรณะทางตามความลึกร่องล้อที่มีต่ออัตราค่าธรรมเนียม ที่มา: Cesar Tirado et al., (2010) 9

รูปที่ 5 โครงสร้างการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกน้ำหนักเกินในประเทศสหรัฐอเมริกา 11

รูปที่ 6 การออกใบอนุญาตอัตโนมัติ – 14’wide ,14’6’’high ,110’ long , U.S. 34

รูปที่ 7 รถกึ่งพ่วงสามเพลาของทศวรรษที่ 1940 – 1950 40

รูปที่ 8 แสดงลักษณะรถพ่วงและรถกึ่งพ่วง 42

รูปที่ 9 Overwidth และ Overheight ที่ IH 35 NB—Austin District 43

รูปที่ 10 Super-Heavy Load Transporter with Transformer on IH 35 NB Main Lanes—Austin 44

รูปที่ 11 รถขนย้ายรถยนต์ ที่ IH 35 NB 45

รูปที่ 12 Saddle-Mount Truck Tractor Unit Operating along IH 35 SB—Austin District .. 45

รูปที่ 13 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานลอยจากรถบรรทุก OS/OW ที่ US 385 at SH 158—Odessa District 46

รูปที่ 14 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานลอยจากรถบรรทุก OS/OW ที่ US 385 at SH 158—Odessa District 46

รูปที่ 15 แสดงความเสียหายของสะพานที่ IH20 & PR 41 47

รูปที่ 16 แสดงการหลุดลอกของซีลจากการที่บรรทุกหนักใช้เส้นทาง 47

รูปที่ 17 แสดงการหลุดลอกของซีลจากการที่บรรทุกหนักใช้เส้นทาง 47

รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำรุงบูรณะทางกับจำนวนเพลามาตรฐานสะสม 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 19 การจำแนกประเภทยานพาหนะ 50

รูปที่ 20 การวิเคราะห์ค่า ECF โดยอาศัยข้อมูลความลึกร่องล้อบนผิวทางลาดยางแยกตามประเภทของเพลา 54

รูปที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระผิวทางกับระยะเวลาที่ถนนถูกใช้งาน 60

รูปที่ 22 แสดงค่าความหยาบเฉลี่ยในปี 2021-2036 61

รูปที่ 23 การวัด IRI โดยใช้ Bump Integrator 62

รูปที่ 24 Dipstick 2000 และ การทำงานของ Dipstick 63

รูปที่ 25 ผังลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน 64

รูปที่ 26 ตัวอย่างข้อมูล FWD จากเส้น 344 ชลบุรี-ระยอง 98

รูปที่ 27 ผังลำดับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโครงสร้างทาง 104

รูปที่ 28 แสดงผลการคำนวณค่า SNP และ DEF หลังจากกำหนดค่า SN และ Subgrade CBR 105

รูปที่ 29 แสดงรายละเอียดการกำหนดค่าสภาพของถนน 106

รูปที่ 30 แสดงรายละเอียดการกำหนดค่า Compaction 106

รูปที่ 31 แสดงข้อมูล IRI เส้น 344 108

รูปที่ 32 ค่า Truck Factor ของรถบรรทุกสำหรับพิกัดน้ำหนักบรรทุกทั้ง 4 กรณี 109

รูปที่ 33 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Medium Truck 111

รูปที่ 34 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Heavy Truck 111

รูปที่ 35 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Semi Trailer 112

รูปที่ 36 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Full Trailer 112

รูปที่ 37 รายละเอียดการสร้างแบบจำลองสภาพอากาศที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย 115

รูปที่ 38 แบบจำลองการบำรุงรักษาด้วยวิธี Mill and Overlay และวิธี Slurry Seal 119

รูปที่ 39 กราฟแท่งค่าเฉลี่ย IRI บนทางหลวงสาย 344 ชลบุรี-แกลง ช่วง กม. 20+000 – 25+000 120

รูปที่ 40 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 1-8 129

รูปที่ 41 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 9-18 130

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 42 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 19-20 131

รูปที่ 43 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง 132

รูปที่ 44 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 1-8 ไม่ปรับแก้ค่า แต่มีการซ่อมบำรุง..... 133

รูปที่ 45 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 9-18 ไม่ปรับแก้ค่า แต่มีการซ่อมบำรุง 134

รูปที่ 46 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 19-20 ไม่ปรับแก้ค่า แต่มีการซ่อมบำรุง 135

รูปที่ 47 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 136

รูปที่ 48 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 136

รูปที่ 49 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 1-8 Calibration Factors รูปแบบที่ 1 138

รูปที่ 50 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 9-18 Calibration Factors รูปแบบที่ 1 139

รูปที่ 51 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 19-20 Calibration Factors รูปแบบที่ 1 140

รูปที่ 52 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 1-8 Calibration Factors รูปแบบที่ 2 144

รูปที่ 53 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 9-18 Calibration Factors รูปแบบที่ 2 145

รูปที่ 54 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 19-20 Calibration Factors รูปแบบที่ 2 146

รูปที่ 55 แสดงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการปรับแก้ระดับที่ 1 และผลที่มีต่อการปรับแก้ 149

รูปที่ 56 ผังลำดับขั้นตอนสดงค่าความเสียหายและสภาพผิวทางโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของโครงสร้างทาง หน้าตัดถนน และปริมาณรถบรรทุก 152

รูปที่ 57 แบบจำลองที่ 1 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 1-8 โดยไม่บำรุงรักษา 161

รูปที่ 58 แบบจำลองที่ 1 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 9-18 โดยไม่บำรุงรักษา 162

รูปที่ 59 แบบจำลองที่ 1 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 19-20 โดยไม่บำรุงรักษา 163

รูปที่ 60 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 1 167

รูปที่ 61 แบบจำลองที่ 1 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8 168

รูปที่ 62 แบบจำลองที่ 1 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 9-18 169

รูปที่ 63 แบบจำลองที่ 1 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 19-20 170

รูปที่ 64 แบบจำลองที่ 1 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 171

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 65 แบบจำลองที่ 1 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 171
รูปที่ 66 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 2 172
รูปที่ 67 แบบจำลองที่ 2 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8 173
รูปที่ 68 แบบจำลองที่ 2 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 9-18 174
รูปที่ 69 แบบจำลองที่ 2 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 19-20 175
รูปที่ 70 แบบจำลองที่ 2 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 176
รูปที่ 71 แบบจำลองที่ 2 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 176
รูปที่ 72 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 3 177
รูปที่ 73 แบบจำลองที่ 3 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8 178
รูปที่ 74 แบบจำลองที่ 3 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 9-18 179
รูปที่ 75 แบบจำลองที่ 3 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 19-20 180
รูปที่ 76 แบบจำลองที่ 3 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 181
รูปที่ 77 แบบจำลองที่ 3 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 181
รูปที่ 78 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 4 184
รูปที่ 79 แบบจำลองที่ 4 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8 185
รูปที่ 80 แบบจำลองที่ 4 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 9-18 186
รูปที่ 81 แบบจำลองที่ 4 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 19-20 187
รูปที่ 82 แบบจำลองที่ 4 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 188
รูปที่ 83 แบบจำลองที่ 4 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 188
รูปที่ 84 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 5 189
รูปที่ 85 แบบจำลองที่ 5 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8 190

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 86 แบบจำลองที่ 5 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 9-18.....191
รูปที่ 87 แบบจำลองที่ 5 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 19-20 192
รูปที่ 88 แบบจำลองที่ 5 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 193
รูปที่ 89 แบบจำลองที่ 5 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี 193
รูปที่ 90 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 1.....196
รูปที่ 91 แบบจำลองที่ 1 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง 197
รูปที่ 92 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 1 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว.....198
รูปที่ 93 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 2.....199
รูปที่ 94 แบบจำลองที่ 2 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง 199
รูปที่ 95 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 2 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว.....200
รูปที่ 96 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 3.....201
รูปที่ 97 แบบจำลองที่ 3 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง 202
รูปที่ 98 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 3 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว.....203
รูปที่ 99 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 4.....204
รูปที่ 100 แบบจำลองที่ 4 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง.....204
รูปที่ 101 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 4 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว.....205
รูปที่ 102 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 5 206
รูปที่ 103 แบบจำลองที่ 5 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง.....207
รูปที่ 104 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 5 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว.....208
รูปที่ 105 แสดงกราฟอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนักรวมค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง.....209
รูปที่ 106 แสดงกราฟการประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนัก เฉพาะค่าซ่อมบำรุง 211
รูปที่ 107 ข้อมูลและผลทั้ง 5 แบบจำลอง.....214
รูปที่ 108 กราฟเปรียบเทียบอัตราค่าธรรมเนียมในกรณีพิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุง 216

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 109 กราฟเปรียบเทียบอัตราค่าธรรมเนียมในกรณีพิจารณาค่าก่อสร้าง และค่าซ่อมบำรุง 217

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในแต่ละปีกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทต้องสูญเสียงบประมาณจำนวนมากเพื่อที่จะนำมาใช้ในการซ่อมบำรุงถนน อันเนื่องมาจากความเสียหายที่เกิดจากรถบรรทุกที่มีการบรรทุกสินค้าเกินน้ำหนัก (Overweight) ปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดความสูญเสียเป็นอย่างมากต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบและแก้ไขปัญหาเพื่อลดความสูญเสียของภาครัฐ ลดความสูญเสียของผู้ประกอบการ ลดความสูญเสียของประชาชน ลดความสูญเปล่าของทรัพยากร รวมไปถึงลดความไม่เป็นธรรมในสังคม

ปัจจุบันในประเทศไทย การใช้บริการทางด่วนมีกระบวนการเก็บค่าผ่านทางเพื่อความสะดวกสบายต่อผู้ใช้ (User Cost) และยังเป็นการสำรองเงินเพื่อใช้ในการซ่อมบำรุงรักษาผิวทางอันเนื่องมาจากการใช้งานของยานพาหนะ (Agency Cost) แต่สำหรับรถบรรทุกนั้นใช้การตรวจสอบโดยการชั่งน้ำหนักรถผ่านทางสถานีตรวจสอบน้ำหนัก โดยแบ่งเป็น ภาคเหนือ 21 สถานี ,ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 16 สถานี ,ภาคตะวันออก 5 สถานี ,ภาคกลาง 20 สถานี และภาคใต้ 7 สถานี จำนวนสถานี (สำนักงานควบคุมน้ำหนักยานพาหนะ กรมทางหลวง)

การฝ่าฝืนสำหรับรถบรรทุกอันเนื่องมากจากผลประโยชน์ของผู้ประกอบการ โดยการบรรทุกน้ำหนักเกินกว่ามาตรฐานส่งผลให้ถนนและสะพานเกิดความเสียหาย โดยสาเหตุนั้นอาจมาจากการตั้งค่าปรับที่ต่ำเกินไป จึงทำให้ผู้ประกอบการคุ้มค่าที่จะเสี่ยงละเมิดกฎหมาย หรือยอมจ่ายก็ยังคุ้มค่าต่อการเดินรถต่อไป

ในต่างประเทศ อาทิเช่น จีน สหรัฐอเมริกาในหลาย ๆ รัฐ เช่น Texas, Arizona, California, Colorado, Montana, Nevada ฯลฯ มีการใช้ระบบเรียกเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนัก เพื่อรองรับการเติบโตทางอุตสาหกรรม และเศรษฐกิจ จึงเป็นที่มาของการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมจากยานพาหนะที่บรรทุกหนัก เพื่อนำเงินดังกล่าวมาซ่อมแซมถนนนั้นโดยตรง

เพิ่มเติมจากการศึกษาการใช้ระบบเรียกเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนัก การใช้ระบบดังกล่าวส่งผลต่อการให้บริการ และความสะดวกสบาย โดยการใช้เป็นบัตรค่าธรรมเนียมตามประเภทรถบรรทุก แต่รถบรรทุกจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการบันทึกระยะทาง แต่ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์จะตกเป็นของผู้ประกอบการ

เมื่อไม่นานมานี้นโยบายสำหรับการเก็บค่าผ่านทางรถบรรทุกตามน้ำหนักได้ถูกนำมาใช้ในประเทศจีน อย่างไรก็ตามนโยบายนี้ไม่สนใจต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมภายนอกของรถบรรทุกหนัก โดยอ้างถึงนโยบายการเก็บค่าผ่านทาง German HGV ทำให้มีการใช้โครงการค่าผ่านทางที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันในประเทศ รวมถึงค่าผ่านทางรถบรรทุกตามรูปแบบน้ำหนักได้มีการปรับให้เหมาะสมเพื่อคำนวณต้นทุนภายนอกของมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม (Wang et al., 2018) การศึกษาจากต่างประเทศนั้นแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ก่อสร้างไว้ (Initial Structural Number) ยิ่งโครงสร้างแข็งแรงมาก มีผลทำให้อัตราความเสียหายจากรถบรรทุกหนักลดลง รวมไปถึงค่าธรรมเนียมที่ลดลง (Cesar Tirado et al., 2010)

การศึกษารูปแบบการเก็บค่าธรรมเนียมยานพาหนะในต่างประเทศนั้นแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลักๆ ได้แก่ แบบคงที่ แบบแปรผันตามจำนวนเพลา แบบแปรผันตามน้ำหนักบรรทุก แบบแปรผันตามระยะทาง และแบบแปรผันตามน้ำหนักและระยะทาง

การเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกช่วยให้กรมทางหลวงลดการสูญเสียงบประมาณจำนวณมากในการซ่อมบำรุงรักษาผิวทางอันเนื่องมาจากความเสียหายจากการใช้งานของรถบรรทุกหนัก รวมถึงได้เก็บข้อมูลรถบรรทุกที่ใช้ในโครงข่าย เช่น เส้นทางการเดินรถ ประเภทรถบรรทุก สินค้าที่บรรทุก เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงค่าธรรมเนียมในอนาคต

วิธีคิดอัตราค่าธรรมเนียมในต่างประเทศที่ครอบคลุมค่าซ่อมบำรุงผิวทาง Cesar Tirado และคณะ (2010) ใช้ Finite Element Method ร่วมกับ สมการความเสียหายจาก AASHTO MEPDG ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากรถบรรทุก ในการวิเคราะห์ เปรียบเทียบความเสียหายกับผิวทางที่เพิ่มขึ้น แล้วจึงประมาณการค่าซ่อมบำรุงผิวทางที่เกิดจากความเสียหายที่เพิ่มขึ้น ผลค่าธรรมเนียมถูกคิดต่อระยะทางไมล์สำหรับรถบรรทุกหนัก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายศึกษาอัตราค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมในโครงข่ายทางหลวงในประเทศไทย การคำนวณค่าธรรมเนียมอย่างมีพื้นฐาน และ การแสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่มีเหตุผลในการจัดสรรค่าธรรมเนียมใบอนุญาต เพื่อให้ผู้กำหนดนโยบายตัดสินใจอย่างมีข้อมูลมากขึ้นเกี่ยวกับต้นทุนค่าธรรมเนียมใบอนุญาต เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกน้ำหนักเกิน

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาครั้งนี้คือ

1) ศึกษาการนำแบบจำลองมาใช้คาดการณ์ความเสียหายของผิวทางลาดยางกับทางหลวงในประเทศไทย โดยมีผลลัพธ์ความเสียหายที่เพียงพอต่อการคิดค่าบำรุงรักษาทางในระยะยาว

2) วิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายที่ครอบคลุมค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงรักษาโครงสร้างทางสำหรับทางหลวงในประเทศไทยเพื่อเป็นแนวทางในการคิดอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกในอนาคต

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ขอบเขตของการศึกษานี้คือ

1) การเลือกพิจารณาประเภทถนนนั้นโดยทั่วไปมีรูปแบบถนนอยู่ 2 ประเภท คือ ถนนคอนกรีตและถนนลาดยาง เนื่องด้วยประเทศไทยมีถนนลาดยางถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกพิจารณาและวิเคราะห์ที่ถนนลาดยางเป็นหลัก

2) การเลือกพิจารณาเฉพาะในส่วนของประเภทรถบรรทุก เพื่อวิเคราะห์หาความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของรถบรรทุกประเภทต่างๆในประเทศไทย

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงรูปแบบโครงสร้างตัวแปรสำหรับการนำมาสร้างแบบจำลองโครงสร้างทาง เพื่อนำมาพิจารณาหารูปแบบการซ่อมบำรุง ตลอดจนค่าหาค่าธรรมเนียมรถบรรทุกในอนาคต

2. ทราบถึงรูปแบบความเสียหายที่เกิดจากรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในโครงสร้างทางที่ได้ดำเนินการในแบบจำลอง

3. เพื่อลดปริมาณความเสียหายและการเสื่อมสภาพของผิวทางรวมไปถึงภาระการซ่อมบำรุงของโครงสร้างทางให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4. เพื่อเป็นแนวทางให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปพิจารณานำไปใช้บริหารงบประมาณในการซ่อมบำรุงถนนอันเนื่องมาจากรถบรรทุก

5. ทราบถึงโครงสร้างค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมกับทางหลวงในประเทศที่รถบรรทุกจะต้องจ่ายในกรณีที่ฝ่าฝืนบรรทุกน้ำหนักเกินกว่ามาตรฐานกำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 หลักการและลักษณะของโครงงาน

ขั้นตอนและการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์นี้เริ่มต้นมาจากการทบทวน การศึกษาวรรณกรรมและบทความที่เกี่ยวข้องกับการนำปัจจัยและตัวแปรมาคิดอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุก โดยมีการอธิบายของปัญหาโครงสร้างพื้นฐานในงานวิจัย และจากผลการวิจัยอื่นๆอีกหลายผลงาน เช่น วิธีการ และทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์และลดภาระในการซ่อมบำรุงรักษาผิวทาง รวมทั้งการเปรียบเทียบที่แสดงถึงความแตกต่างของค่าธรรมเนียมที่เกิดขึ้นในแต่ละวรรณกรรม โดยอาศัยการเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้การจัดเก็บอัตราค่าธรรมเนียม เพื่อที่จะศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบถึงผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละกรณีการศึกษาที่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่าธรรมเนียม

2.1.1 คำนิยาม

เงินหรือประโยชน์ที่เรียกเก็บตามกฎหมาย เนื่องจากการให้บริการของหน่วยงานของรัฐ เช่น ค่าธรรมเนียมตาม พรบ. ขนส่งทางบก เพื่อนำมาใช้ในการบำรุงรักษา และ ชดเชยงบประมาณที่ใช้ไปในการก่อสร้าง

2.1.2 บทบาทของค่าธรรมเนียมรถบรทุกหนัก

- ช่วยให้รัฐลดการเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมหาศาลในการซ่อมซ่อม บำรุง รักษาถนนและสะพานให้กลับมาอยู่ในสภาพที่ดีและปลอดภัย
- ลดปัญหาการฝ่าฝืนจากการบรรทุกน้ำหนักเกินมาตรฐาน
- สามารถเก็บข้อมูลประเภทรถบรรทุก และ เส้นทางที่ใช้ในการเดินรถ
- รวดเร็ว และ สะดวกสบาย ในการใช้งาน รวมทั้งการต่ออายุใบอนุญาต

2.2 Overweight (OW)

ในการขนส่งทางถนน น้ำหนักรถบรรทุกเกินกำหนด (OW) คือ น้ำหนักรถบรรทุกที่เกินขนาดมาตรฐาน สำหรับรถบรรทุกที่จะขนส่งในส่วนที่ระบุของถนนทางหลวงหรือบนโครงสร้างพื้นฐานการขนส่งอื่นๆ ในยุโรปอาจเรียกว่า การขนส่งพิเศษหรือการขนส่งที่มีน้ำหนักมากและมีขนาดใหญ่เกินไป อาจมีการจำกัดน้ำหนักต่อเพลา อย่างไรก็ตามน้ำหนักบรรทุกที่เกินขีดจำกัด ต่อเพลา แต่ไม่ใช่น้ำหนักโดยรวมจะถือว่ามีน้ำหนักเกิน ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกเกินขนาด / น้ำหนักเกิน ได้แก่ เครื่องจักรก่อสร้าง (เครน รถแบคโฮ ฯลฯ) ตู้คอนเทนเนอร์ ชิ้นส่วนงานก่อสร้าง (คานสะพาน)

2.3 โครงสร้างค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนักเกินมาตรฐาน

ที่ผ่านมาในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกในรัฐนิวยอร์กและรัฐอื่น ๆ อีกหลายรัฐในสหรัฐอเมริกา ได้มีการคิดอัตราค่าธรรมเนียมเพียงให้ครอบคลุมค่าบริหารจัดการของรัฐในกระบวนการอนุญาตให้รถบรรทุกเดินรถ ทว่าไม่ได้ครอบคลุมถึงความเสียหายต่อผิวทางที่เกิดจากรถบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัด Cesar Tirado และคณะ (2010) ได้ศึกษาเพื่อคำนวณค่าธรรมเนียมรถบรรทุกบนพื้นฐานของการบรรทุกและการกำหนดค่าเพลารถบรรทุกตลอดจนการเสื่อมสภาพของผิวทาง โดยใช้ Finite Element Method ร่วมกับ สมการความเสียหายจาก AASHTO MEPDG ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Rutting และ Fatigue Cracking ที่จะเกิดขึ้นจากรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ในการวิเคราะห์จะเปรียบเทียบความเสียหายกับผิวทางที่เพิ่มขึ้นจากการที่รถประเภทนั้นมีน้ำหนักเกินกว่ารถบรรทุกน้ำหนักมาตรฐาน แล้วจึงประมาณการค่าซ่อมบำรุงผิวทางที่เกิดจากความเสียหายที่เพิ่มขึ้น รูปที่ 1 แสดงผังขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์และประมาณการค่าธรรมเนียม

การแสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่มีเหตุผลในการจัดสรรค่าธรรมเนียมใบอนุญาต

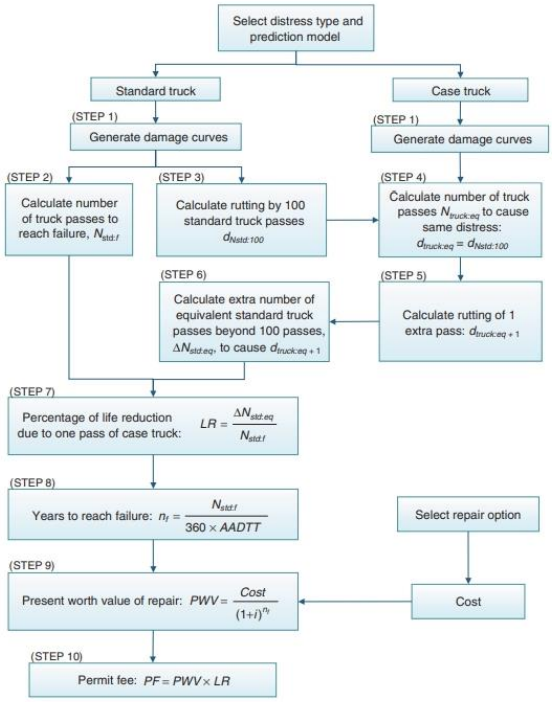


FIGURE 2 Process for estimating truck permit fees.

รูปที่ 1 ขั้นตอนการหาค่าธรรมเนียมใบอนุญาตสำหรับรถบรรทุก

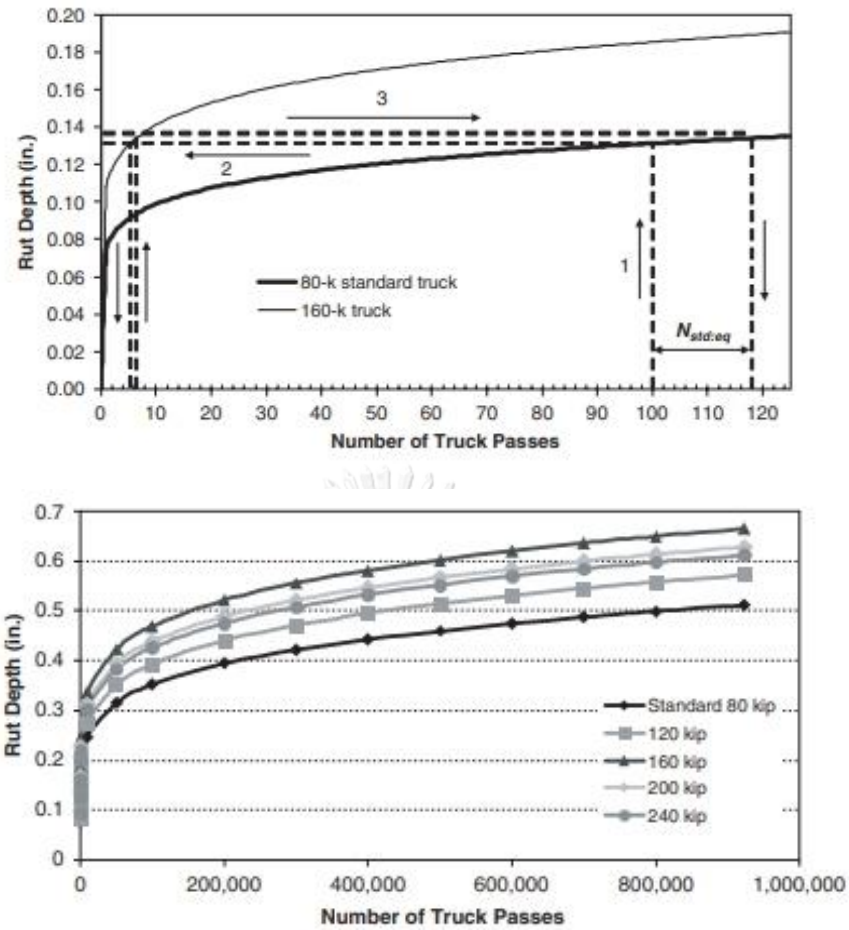
ที่มา: Cesar Tirado et al. (2010)

ผลการทดลองวิเคราะห์กับกรณีศึกษา ที่พิจารณารถบรรทุกหนักที่มี GVW (Gross Vehicle Weight) ตั้งแต่ 120 ถึง 240 kips ดังตารางที่ 1 พบว่ารูปแบบของความลึกร่องล้อกับจำนวนรอบของรถบรรทุกหนักทั้งสี่คัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 สำหรับรถบรรทุกที่มี GVW ที่ 200 และ 240 kips นั้นสร้างความลึกร่องล้อน้อยกว่ารถบรรทุก 160 kip เพียงเพราะ รถบรรทุก 160 kip ตามกฎหมายสามารถรับแรงกดต่อยางได้มากกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักรวมหนักกว่า แสดงผลค่าธรรมเนียมต่อระยะทางไมล์สำหรับรถบรรทุกหนัก 4 แบบ รถบรรทุก 160 kip มีค่าธรรมเนียม $1.62 / mi ซึ่งสูงกว่ารถบรรทุกที่มี GVW 200 และ 240 kips เนื่องจากรถบรรทุก 160 kip สร้างหน่วยแรงกดบนผิวทางมากกว่ารถบรรทุกอื่น

ตารางที่ 1 รูปแบบรถบรรทุกที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์

Truck	80 kips (control)	120 kips	160 kips	200 kips	240 kips
Steering axle (lb)	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Tandem axle (lb)	34,000	38,000	36,000	38,000	36,000
Trailing axle (lb)	34,000	70,000	112,000	150,000	192,000
Trailing axle type	Tandem	Quad	Trunnion	Trunnion	Trunnion
Truck configuration					
Empty vehicle weight (kips)	33	37	37	41	45
Cargo [payload] (kips)	47	83	123	159	195

ที่มา: Cesar Tirado et al. (2010)



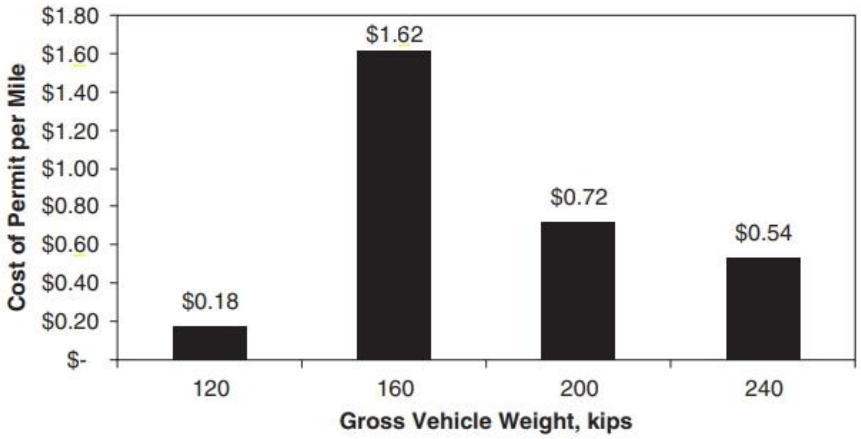
รูปที่ 2 ผลวิเคราะห์กราฟความลึกร่องล้อ สำหรับรถบรรทุกที่ศึกษา

ที่มา: Cesar Tirado et al. (2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

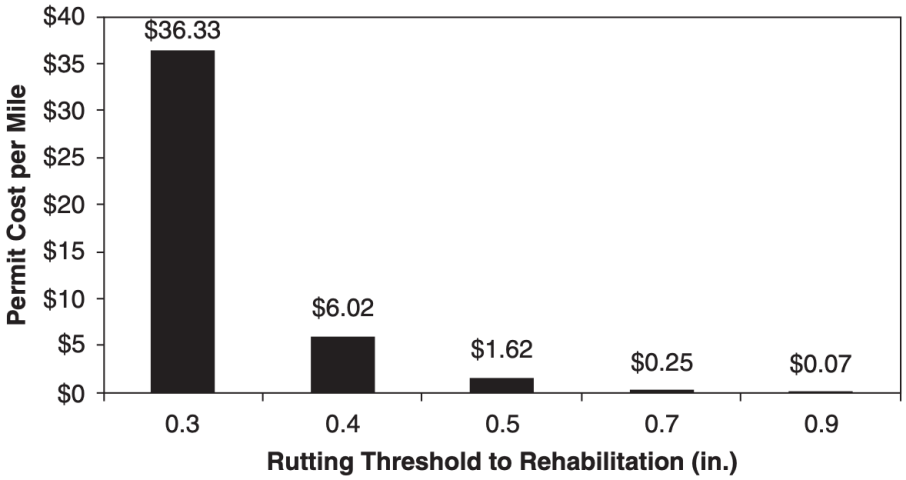
นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปร (sensitivity study) ที่ส่งผลต่อค่าธรรมเนียม และพบว่าปัจจัยต่อไปนี้ส่งผลต่ออัตราค่าธรรมเนียมอย่างมีนัยสำคัญ

- เกณฑ์ความเสียหายที่ใช้ในการบูรณะผิวทาง การตั้งเกณฑ์ (Threshold) ที่มีค่าความลึกร่องล้อต่ำก็จะส่งผลให้อัตราค่าธรรมเนียมสูงขึ้น
- ความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ก่อสร้างไว้ (Initial Structural Number) ยิ่งโครงสร้างทางแข็งแรงมาก ก็จะส่งผลให้อัตราความเสียหายและอัตราค่าธรรมเนียมลดลง รายละเอียดดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าธรรมเนียมต่อไมล์ของรถบรรทุก

ที่มา: Cesar Tirado et al., (2010)



รูปที่ 4 อิทธิพลของเกณฑ์การบูรณะทางตามความลึกร่องล้อที่มีต่ออัตราค่าธรรมเนียม

ที่มา: Cesar Tirado et al., (2010)

สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกาแบ่งโครงสร้างการจัดการค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนักเกินออกเป็น 5 กลุ่ม รายละเอียดตามรูปที่ 5

- **<u>คงที่ (Flat)</u>** โดยมีจำนวน 21 รัฐจัดเก็บด้วยวิธีดังกล่าว
    - Ohio DOT มีการเก็บข้อมูลว่าโดยทั่วไป OW แบบรายปีจะมีการวิ่งเฉลี่ย 25 เที่ยวต่อปี และจัดเก็บค่าธรรมเนียมรายปี (Annual permit) สูงกว่าค่าธรรมเนียมชนิดเที่ยวเดียว (Single trip) จำนวน 4 เท่า

- การจัดเก็บค่าธรรมเนียมแบบรายครั้ง (Single-use) มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ $5 - $135 โดยมีค่าเฉลี่ย $25 ต่อเที่ยว
- การจัดเก็บค่าธรรมเนียมแบบรายปี (Annual-use) มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ $10 - $250 โดยมีค่าเฉลี่ย $250 ต่อปี

- **<u>แปรผันตามน้ำหนักที่บรรทุก (Weight-based)</u>** โดยมีจำนวน 10 รัฐจัดเก็บด้วยวิธีดังกล่าว

  - การจัดเก็บค่าธรรมเนียมแบบรายครั้ง (Single-use) มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ $0.10 - $20 ต่อตัน
  - ค่าธรรมเนียมมีการจัดเก็บระหว่าง $2.77 - $36.57 ต่อตันต่อเที่ยวตามประเภทของรถบรรทุก
  - เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการจัดเก็บในลักษณะ Weight-Based มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 67 และมีค่ามากกว่าร้อยละ 331% เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเก็บในลักษณะเฉพาะตามประเภทรถบรรทุก
- **<u>แปรผันตามระยะทาง (Distance-based)</u>** โดยมีจำนวน 2 รัฐจัดเก็บด้วยวิธีดังกล่าว

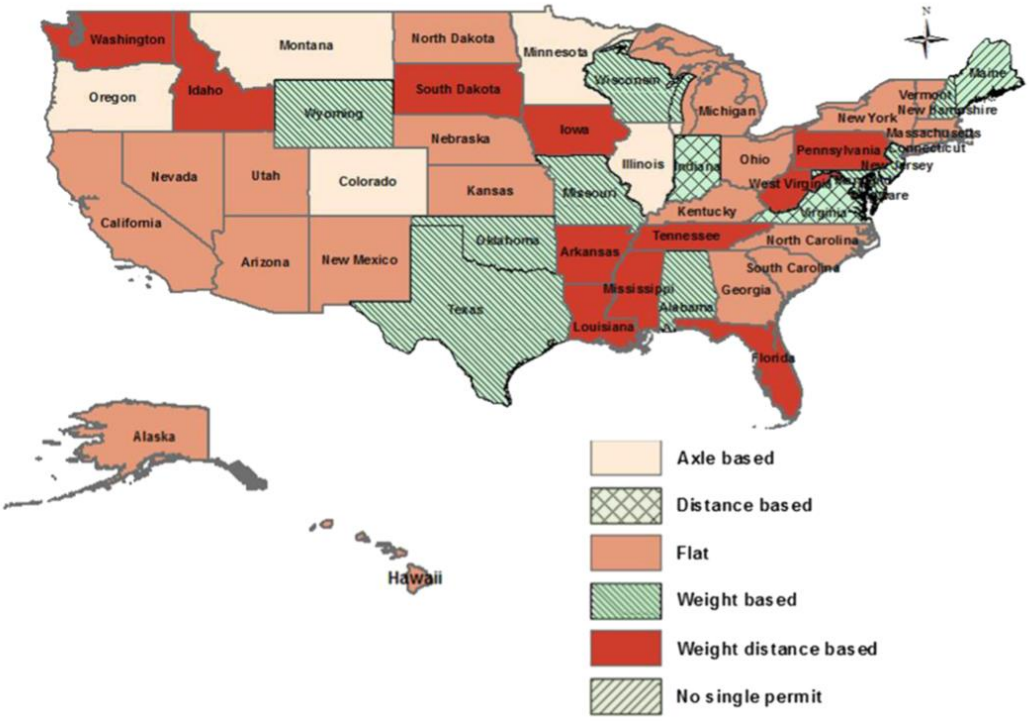
  - โดยรัฐ Virginia กำหนด $0.10 ต่อไมล์ และ Indiana กำหนด $0.34 ต่อไมล์ที่ไม่เกิน 120,000 ปอนด์
- **<u>แปรผันตามน้ำหนักและระยะทาง (Weight-distance-based)</u>** โดยมีจำนวน 11 รัฐจัดเก็บด้วยวิธีดังกล่าว

  - ค่าธรรมเนียมมีการจัดเก็บระหว่าง $0.0173 - $0.1354 ต่อตันต่อไมล์ตามประเภทของรถบรรทุก
- **<u>แปรผันตามจำนวนเพลา (Axle-based)</u>** โดยมีจำนวน 5 รัฐจัดเก็บด้วยวิธีดังกล่าว

  - Two Axle จ่ายค่าธรรมเนียมมากกว่า 129% เมื่อเทียบกับการจ่ายในลักษณะแบบคงที่เทียบกับการจ่ายแบบ Axle Base ในขณะที่ Four-Axle จะจ่ายค่าธรรมเนียมแบบคงที่น้อยกว่า 40% เทียบกับการจ่ายแบบ Axle Base

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ค่าธรรมเนียมอาจจะจ่ายน้อยกว่า 67% และอาจจะมีค่ามากกว่า 293% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการจัดเก็บแบบคงที่ (Flat) และ Axle-Based



รูปที่ 5 โครงสร้างการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกน้ำหนักเกินในประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al., (2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Arizona

		Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[a]								
Permit type		Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
Class A	Single, 4-day	<16	<14	<120	<80,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500	TBD	N	15
	Multiple 30-day												30
	Single, 4-day	<16	<14	<120	>80,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500	TBD	N	75
	Multiple, 30-day				<250,000								75
Class B		14.66	12.5	80	80,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500	TBD	Y	360
Class C[b]	Single OS	>16	>14	>120	<250,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500	TBD	N	15
	Single OW	<16	<14	<120	>250,000								75
	Single OS/OW	>16	>14	>120	>250,000								75
Class D[c]		<16	<14	<120	250,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500		Y	600
Class E[d]	Single or 30-day,	<16	<14	<95	<111,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500	TBD	N	75
	Annual	<16	<14	<95	<111,000							Y	360
	Annual	<16	<14	<95	<123,500							Y	360
	Single or 30-day	<16	<14	<95	<129,000							N	75
	Annual	<16	<14	<95	<129,000							Y	600
Class G[e]	Single, 4-day	>8.5	<14	<120	80,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500	TBD	N	15
	Multiple, 30-day	<10										N	30
	Annual											Y	360
Class H[f]		>8.5	<14	<40	80,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500	TBD	Y	45
		<10											
Envelope[g]	30-day OS	<16	<14	<120	80,000	28,000	57,750	63,000	68,250	73,500	TBD	N	150
	30-day OS/OW	<16	<14	<120	<250,000							N	500
	Annual OS	<16	<14	<120	80,000							Y	750
	Annual OS/OW	<16	<14	<120	<250,000							Y	1500

Note: GVW = gross vehicle weight; TBD = to be determined.

[a]Arizona uses a specific formula to determine permitted axle weights for OW vehicles. The values in this table are based on 4 ft axle spacing, eight tires per axle configuration or four 14-in. wide tires, and axle width of 10 ft.

[b]In addition to Class C permit fee, an engineering analysis fee will be charged by Arizona DOT. This charge is $15 for OS vehicle with width or height less than 18 ft or $25 for width or height more than 18 ft; $75 per 50-mi increment for OW vehicles and analysis done by non-Arizona DOT and reviewed by Arizona DOT or $125 per 50-mi increment when analysis is done by Arizona DOT. There is contradictory information about Class C permits in the Arizona DOT website.

[c]This permit is for self-propelled mobile crane or drilling rig units. Proof of GVW is mandatory.

[d]This permit is for Reducible Multiple Trailer (longer combination vehicle [LCV]).

[e]This permit is for Specified Vehicle or Combination with Reducible Load and Over Legal Width.

[f]This permit is for specified water-craft load registered with Arizona Game and Fish Department or U.S. Coast Guard.

[g]This permit is for vehicles with "non-specific" and non-reducible loads.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 3 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ California

Permit type	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[a]							Cost ($)
	Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	
Batch plant	3 in. VC	14	na	Purple[b]	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Boat	3 in. VC	15	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Concrete panels - horizontal	L	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Concrete panels - inclined	3 in. VC	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Concrete panels - vertical	3 in. VC	L	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Concrete piles	L	L	na	Formula B	na	na	na	na	na	na	16
Concrete pipe	3 in. VC	14	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Concrete pump	L	10	L	Green or un-bonussed Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Concrete utility boxes	3 in. VC	14	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Concrete vaults	3 in. VC	14	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Equipment	3 in. VC	14	135	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Conveyors	3 in. VC	14	135	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Crane	L	13	80	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Drill rig	3 in. VC	14	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Farm tractor	3 in. VC	14	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Fixed load vehicle	3 in. VC	14	HVI	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Fixed width	3 in. VC	14.5	HVI	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Laminated wood beams	L	L	135	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Lettuce coolers	3 in. VC	14	HVI	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Log loader	3 in. VC	10	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
MRI mobile unit	L	14	85	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Manufactured homes	3 in. VC	14	105	6,000 lb per axle	na	na	na	na	na	na	16
Military tank	3 in. VC	14	135	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Military vehicles - oversize tactical	3 in. VC	14	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Radioactive waste	L	L	135	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Reeled tubing	3 in. VC	14	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Scrapers	3 in. VC	14.5	135	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Stackers	3 in. VC	14	135	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	16
Steel beams	na	na	135	na	na	na	na	na	na	na	16
Steel plate: horizontal	L	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Steel plate: inclined	3 in. VC	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Steel plate: vertical	3 in. VC	L	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Steel poles			135						na	na	16
Swimming pools	14.5	14	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Trees	L	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Tires (oversize)	3 in. VC	na	na	na	na	na	na	na	na	na	16
Tow truck: 2-axle	3 in. VC	14	135	22,500 lb on drive axle	22,500	na	na	na	na	na	16
Tow truck: 3-axle	3 in. VC	14	135	Purple	28,000	56,700	58,800	na	na	na	16
Trailer coach	L	12	L	6,000 lb per axle	na	na	na	na	na	na	16
Trusses: horizontal	L	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Trusses: inclined	3 in. VC	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 3 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ California (ต่อ)

Permit type	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[a]							Cost ($)
	Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	
Trusses: vertical	3 in. VC	L	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Wall sections: horizontal	L	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Wall sections: horizontal	3 in. VC	12	L	L	L	L	L	L	na	na	16
Wall sections: horizontal	3 in. VC	L	L	L	L	L	L	L	na	na	16

Note: GVW = gross vehicle weight; HVI = as determined by Headquarters Vehicle Inspector; L = legal limit; VC = vertical clearance; na = not applicable.
[a]California calculates the maximum permitted axle group weight based on the distance between the first and last axle in the group. Reported limits assume separation distances of: 14 ft for Tandem, 16 ft for Tridem, and 18 ft for Quad axles.
[b]Routes are distinguished by Caltrans with different colors.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 3 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ California (ต่อ)

Permit type	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[b]							Cost ($)
	Height	Width	Length	GVW[a]	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	
10 ft wide manufactured home[c]	14	10	105	6,000 lb/axle	na	na	na	na	na	na	90
10 ft wide manufactured home[b]	14	12	105	6,000 lb/axle	na	na	na	na	na	na	90
Park trailer coach[b]	14	12	L	6,000 lb/axle	na	na	na	na	na	na	90
Statewide extra legal[c]	14	12	L	L	L	L	L	L	na	na	90
Local extra legal[d]	14	12	L	L	L	L	L	L	na	na	90
Local extra legal 8/12 wheel semi[d]	14	12	L	Green	24,000	49,140	50,960	52,780	na	na	90
Local extra legal 16 wheel semi[d]	14	12	L	Bonused Green	30,000	52,000	63,700	65,975	na	na	90
Fixed width semi	14	12	L	Green	24,000	49,140	50,960	52,780	na	na	90
Unladen multi-vehicle statewide	14	10	85	L	L	L	L	L	na	na	90
Unladen multi-vehicle local[d]	14	11	110	L	L	L	L	L	na	na	90
Truck crane 10 ft wide Green[d]	14	10	80	Green	24,000	49,140	50,960	52,780	na	na	90
Truck crane >10 ft wide Green[d]	14	11.3	80	Green	24,000	49,140	50,960	52,780	na	na	90
Truck crane Green[d]	14	11.3	80	Green	24,000	49,140	50,960	52,780	na	na	90
Truck crane 10 ft wide Purple[e]	14	10	80	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	90
Truck crane >10 ft wide Purple[e]	14	11.3	80	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	90
Truck crane Purple[e]	14	11.3	80	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	90
Fixed load Green[d]	L	10	L	Green	24,000	49,140	50,960	52,780	na	na	90
Fixed load Purple[e]	L	10	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	90
Tow truck 2-axle[d]	L	L	L	22,500 single - Green	22,500	49,140	na	na	na	na	90
Tow truck 3-axle[d]	L	L	L	Green	24,000	49,140	50,960	na	na	na	90

Note: GVW = gross vehicle weight; L = legal limit; na = not applicable

[a]Colors in this column refer to specific.

[b]California calculates the maximum permitted axle group weight based on the distance between the first and last axle in the group. Reported limits assume separation distances of: 14 ft for Tandem, 16 ft for Tridem, and 18 ft for Quad axles.

[c]Limited range.

[d]100-mi radius.

[e]75-mi radius.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 3 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ California (ต่อ)

	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[b]							
Permit type	Height	Width	Length	GVW[a]	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Cost ($)
Two vehicle combination only[c]	L	12	L	Bonus Green	30,000	52,000	63,700	65,975	na	na	90
Any vehicle combination[c]	3 in. VC	14	135	Bonus Purple	35,000	60,000	73,500	76,125	na	na	90
For pipe[c]	3 in. VC	14	135	First 10 loads Purple; remainder Green	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	90
Variance permit	>17	>15	>135	>Purple over 13 axles	na	na	na	na	na	na	Variable[d]

Note: GVW = gross vehicle weight; VC = vertical clearance from the lowest structure along the permitted route; L = legal limit; na = not applicable.
[a]Colors in this column refer to specific.
[b]California calculates the maximum permitted axle group weight based on the distance between the first and last axle in the group. Reported limits assume separation distances of: 14 ft for Tandem, 16 ft for Tridem, and 18 ft for Quad axles.
[c]Range: from A to B to C and return.
[d]There is a $16 flat fee + $50/hr for analysis of oversize by the permit office + $50/hr engineering analysis for overweight. Additional charges are billed by the California Highway Police whenever trooper escorts are required.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 4 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Colorado

	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[a]								
Permit type	Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
Single trip OS[b]	R	R	R	L	L	L	L	L	L	L	N	30
Single trip OS-OW[b,c]	R	R	R	200,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	N	30 + 10/axle
Single trip OW[b,c]	L	L	L	200,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	N	30
Single trip (quad axle)	L	L	L	110,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	N	30 + 10/axle
Single trip (2 or 3 axle)	L	L	L	97,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	N	30 + 10/axle
Special[d]	R	R	R	500,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	N	250
Super load[e]	R	R	R	>500,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	N	800
Annual (OS-OW)[b]	16	17	130	200,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	Y	400
Annual OW (quad axle)	L	L	L	110,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	Y	500
Annual OW (2/3 axle)	L	L	L	97,000	27,000	50,000	65,000	72,000	na	na	Y	500
Annual OS	16	17	130	L	L	L	L	L	L	L	Y	250
Company fleet permit[f]	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	Y	3,000

Note: GVW = gross vehicle weight; R = Maximum height, width, and length are determined based on a route analysis; na = not applicable.
Source: The reported costs were obtained by telephone from the Colorado DOT Permit Office on September 5, 2018.
[a]Colorado uses a rating system for infrastructure that catalogues bridges into orange, yellow, and white. The axle weights reported correspond to the white category.
[b]Non-divisible loads only.
[c]Maximum axle and axle group weights depend on the bridge categories along the route. Permitted axle weight limits are posted for each bridge in the Colorado Bridge Weight Limit map following the color categories presented on the Colorado DOT website.
[d]Requires a minimum of one escort vehicle in the front and one escort vehicle in the back. Additional escort vehicles, State Patrol escorts, or both, may be required.
[e]Route and bridge study is required to determine the weight and size limits. The studies are included in the permit cost.
[f]Special discount for 10 annual permits. Size and weight limits governed by the type of annual permit. Additional vehicles (>10) can be added at $300 each.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 5 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Idaho

	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)									
Permit type	Height	Width	Length	GVW	in. width	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
Single trip OS	R	R	R	L	na	L	L	L	L	L	L	N	28
Round trip OS	R	R	R	L	na	L	L	L	L	L	L	N	33
Single trip OS/OW[a]	R	R	R	R	na	R	R	R	R	R	R	N	71 + $/mile
Round trip OS/OW[a]	R	R	R	R	na	R	R	R	R	R	R	N	81 + $/mile
Single trip VL	>15	>16	>110	L	na	L	L	L	L	L	L	N	71
Round trip VL[b]	>15	>16	>110	L	na	L	L	L	L	L	L	N	81
Single trip OW-VL[a]	>15	>16	>110	R	na	R	R	R	R	R	R	N	103 + $/mile
Round trip OW-VL[a,b]	>15	>16	>110	R	na	R	R	R	R	R	R	N	116 + $/mile
Annual OS	15	16	110	L	na	L	L	L	L	L	L	Y	43
Annual OW[c]	L	L	L	129,000	na	L	L	L	L	L	L	Y	43 + $/mile
Annual OW-extra length[c,d]	L	L	>65	R	na	R	R	R	R	R	R	Y	53 + $/mile
Annual OS/OW[c]	15	16	110	R	na	R	R	R	R	R	R	Y	128 + $/mile

Note: GVW = gross vehicle weight; L = legal limit; R = route analysis required; VL = very large; na = not applicable.
Source: The reported costs were obtained by telephone from the Idaho DMV Over Legal Permit Office on September 7, 2018. The Bridge Department analyzes overweight requests that exceed established bridge ratings at no cost but limits the number of times analysis is done (three times). If an applicant desires to submit another request, s/he must submit a load analysis from a private engineering firm.
[a]Non-divisible loads.
[b]Second trip within 7 days from the first trip.
[c]Mileage must be reported quarterly.
[d]Divisible loads.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 6 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Montana

	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)								
Permit type	Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
Single trip oversize	17	18	150	L	L	L	L	L	L	L	N	10
Single trip triples				L	L	L	L	L	L	L	N	20
Single trip excess weight	L	L	L	R	R	R	R	R	R	R	N	Excess weight permit fee per mile table given in (*30*)
Term over dimensional	14.6/16	15	95	L	L	L	L	L	L	L	Y	75
Term over dimensional[a]	L	L	100	L	L	L	L	L	L	L	Y	125
Term over dimensional[b]	L	L	120	L	L	L	L	L	L	L	Y	125
Term triples[a]			110	L	L	L	L	L	L	L	Y	200
Super loads 32J	>17	>18	>150	R	R	R	R	R	R	R	N	Varies
Term excess weight	L	L	L	R	R	R	R	R	R	R	Y	Excess weight permit fee term permit table given in (*30*)

Note: GVW = gross vehicle weight; L = legal limit; R = based on route analysis.
Source: The reported information was obtained by telephone from the Montana DOT Motor Carrier Services Division Permitting Office as "unpublished data" on September 7, 2018.
[a]Interstate only.
[b]Non-divisible load.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 7 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Nevada

	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[a]								
Permit type	Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
Single trip mobile home	L	16	L	L	L	L	L	L	L	L	N	25
Single trip OS	>14	>8.5	>70	L	L	L	L	L	L	L	N	25
Single trip OW	L	L	L	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	N	25
Single trip farm equipment	15	8.5	110	L	L	L	L	L	L	L	N	0
Multi-trip OS/OW	15	14	110	Purple	28,000	56,700	58,800	60,900	na	na	Y	60
Annual farm equipment	14	8.5	70	L	L	L	L	L	L	L	Y	0

Note: GVW = gross vehicle weight; L = legal limit; na = not applicable.
[a]Based on weight chart limits for Purple routes. Reported limits assume separation distances of: 14 ft for Tandem, 16 ft for Tridem, and 18 ft for Quad axles.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 8 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ New Mexico

Permit type		Permitted size limits (ft)[a]			Permitted weight limits (lb)							Annual	Cost ($)[b]
		Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >		
Single trip	Manufactured home	14.5	12	90	<86,400	Map[c]	Map	Map	Map	Map	TBD	N	25 + 0.025/ton/mile[b]
	Government OS/OW	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		Free
	OS hay load	14.5	12	90	<86,400	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		25 + 0.025/ton/mile
	OS load	14.5	12	90	<86,400	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		25 + 0.025/ton/mile
	OS/OW load	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		25 + 0.025/ton/mile
	OS/OW wrecker	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		25 + 0.025/ton/mile
	OW liquid load	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		35 + 0.025/ton/mile
	OW load	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		25 + 0.025/ton/mile
	Self-propelled	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		25 + 0.025/ton/mile
	Super load	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		25 + 0.025/ton/mile
Multiple	Government OS/OW	14.5	12	90	<140,000	Map	Map	Map	Map	Map	TBD	Y	Free
	Cross commodity	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250
	OS hay load	14.5	12	90	<86,400	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250
	OS load	14.5	12	90	<86,400	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250
	OS/OW boom truck	14.5	12	90	Map	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250
	OS/OW load	14.5	12	90	<140,000	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250
	OS/OW oilfield load	14.5	12	90	<140,000	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250
	OW agricultural	14.5	12	90	<140,000	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250
	OW liquid load	14.5	12	90	<140,000	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		120
	OW load	14.5	12	90	<140,000	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		‘250
	Wrecker	14.5	12	90	<140,000	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250
	Self-propelled[d]	14.5	12	90	<90,000	Map	Map	Map	Map	Map	TBD		250

Note: GVW = gross vehicle weight; TBD = to be determined.
[a]Height of 15 ft 6 in. requires a route survey; 18 ft. requires utility surveys and to be cleared by municipal and local authorities.
[b]Tax per mile will be added based on GVW. The tax per mile for out-of-state vehicles with GVW greater than 72,000lb is $ 0.16/mile.
[c]New Mexico DOT provides a map along with a figure that includes axle configuration and permitted weights. In the map three colors: blue, green, and white are used to identify the routes.
[d]New Mexico allows 15% increase in permitted axle weights for this permit.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 9 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ North Dakota

Table 10. Summary of Oversize/Overweight (OS/OW) Vehicle Permits Available in North Dakota

Permit type		Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)								
		Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
Single trip	OS/OW	<16	<14	<120	<150,000	24,000	45,000	60,000	68,000	TBD	TBD	N	20 + 10 (routing)
	150k–190k	<16	<14	<120	>150,001 <190,000	24,000	45,000	60,000	68,000	TBD	TBD		30–60 + 10 (routing)
	>190k[a]	<16	<14	<120	>190,000	24,000	45,000	60,000	68,000	TBD	TBD		70 + 10 (routing)
	129,000 lb primary network	<14	<8.5	<100	<129,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		20 + 10 (routing)
	Interstate permit[b]	<14	<8.5	legal	<105,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		10 + 15 (routing)
	Mobile home permit	<18	<18	<200	<150,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		20 + 15 (routing) + ton/mile
	Self-propelled	<16	<14	<120	<150,000	24,000	45,000	60,000	68,000	TBD	TBD		25
	Rigging service	<16	<14	<120	>150,000	31,200[c]	52,000	62,400	70,720	TBD	TBD		100 + 15 (routing) 0.05/ton/mile
	LCV[d]	<14	<8.5	<75	<131,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		20 + 10 (routing)
	Bridge Length permit[e]	<14	<8.5	<75	<80,000	19,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		30
Annual	OW	<16	<14.5	<legal	80,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula	Y	150
	OW[f]	<16	<14.5	<legal	80,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		20
	OS	<14	<14.5	<120	80,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		150
	129,000 lb primary network	<14	<8.5	<100	<129,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		700
	Rigging service	<16	<14	<120	<150,000	31,200[d]	52,000	62,400	70,720	TBD	TBD		990
	Interstate permit	<14	<8.5	legal	<105,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		300
	Bridge Length permit	<14	<8.5	<75	<80,000	19,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula		150
Multiple	131,000 lb primary network (30-day)	<14	<8.5	<100	<131,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula	N	100
	10% Harvest permit and winter time (30-day)[g]	<14	<8.5	<75	<105,000	22,000	37,400	52,800	62,150	85,800	88,000	N	50
	Custom Combine (non-res.)[h]	<14.5	<16	<120	<80,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula	N	15 (fuel permit)
	Custom combine (res.) (annual)	<14.5	<16	<120	<80,000	20,000	34,000	48,000	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula	Y	25

Note: GVW = gross vehicle weight; TBD = to be determined.

[a]A ton/mile fee of $.05 per ton per mile is assessed on the portion of GVW exceeding 200,000 lb. An engineering fee is charged when additional analysis is required at $25 for each application submitted. A service/routing fee of $10 for each single-trip permit may apply. The service/routing fee of each single-trip permit for rigging units is $15.

[b]This permit is for hauling a divisible load.

[c]These values are for axles with four tires.

[d]For LCVs (longer combination vehicles), 30-, 60-, or 90-day permits are available. The fee for each 30-day period is $100.

[e]This permit is for single unit straight truck.

[f]This permit is for noncommercial fish house trailer.

[g]The harvest permit is valid between July 15 and November 30. The winter permit is valid between December 1 and March 7. These permits allow a vehicle 10% more weight when hauling a harvested product. A harvest/winter combination permit can be purchased for $250. The combined permit is valid from July 15 through March 7 and during harvest seascn, July 15 through November 30.

[h]The custom combine permit is valid from June 1 through December 31 of each calendar year.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 10 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Oklahoma

Permit type		Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)							Annual	Cost ($)
		Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >		
Single trip	OS[a] or OW	>13.5	>8.5	>legal	>80,000	20,000	40,000	60,000	65,000	75,000	OL-1 (*39*) drawing	N	40 + 10 per 1,000 lb excess of legal
	OS/OW	>13.5	>8.5	>legal	>80,000	20,000	40,000	60,000	65,000	75,000			80 + 10 per 1,000 lb excess of legal
	30-day[b]	>13.5	>8.5	>legal	<80,000	20,000	40,000	60,000	65,000	75,000			40
	Special drive away	>13.5	>8.5	>legal	<80,000	20,000	40,000	60,000	65,000	75,000			15
Annual	Round-baled hay	>13.5	>8.5	>legal	>80,000	20,000	40,000	60,000	65,000	75,000	OL-1 drawing	Y	25
	Tree length logs												25
	Soil conservation												25
	OW Special Machinery												60
	OS Special Machinery												10
	Envelope[c]												500[d] or 4000
	Special[e]												100 or 350
Special	Manufactured items	>13.5	>16 <20	>legal	<80,000	20,000	34,000	42,000	Bridge formula	Bridge formula	OL-1 drawing	N	500
	LCV	13.5	8.5	legal	>80,000 <90,000	20,000	40,000	60,000	65,000	75,000			20
	SCV	13.5	8.5	legal	<90,000	20,000	40,000	60,000	65,000	75,000			240

Note: GVW = gross vehicle weight; LCV = longer combination vehicle; OL = ; SCV = special combination vehicle; OL-1 = an ODOT standard drawing.
[a]For houses and portable buildings as OS loads, the permitted width can go up to 16 ft.
[b]Up to 12 months may be purchased at one time and the cost will be 12 × 40 = $480.
[c]This permit is for OS/OW, windmill blades, electric utility vehicle, and portable building.
[d]Envelope permit for portable building costs $500. (Must be issued to a specific manufacturer.). $25 will be charged for replacement.
[e]The special permit for OW allows 5% increase in GVW limits and 8% increase for axle weight limits ($350 fees). It also allows for 15% increase in GVW for utility or refuse collection vehicle ($100 fee). Wrecker or two vehicle fee for this permit is $100.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 11 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Oregon

		Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)								
		Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
Single trip	Legal weight[a]	<14	<14	<120	<80,000 >26,000	20,500	40,000	60,000	80,000	80,000	na	N	0.2 weight tax/mile
	Extended weight[b]	<14	<14	<120	>80,000 <105,000	21,500	43,000	64,500	86,000	107,000	TBD		8.5 + 0.21 weight tax/mile
	Heavy haul weight[c]	<14	<14	<120	>98,00	21,500	43,000	64,500	86,000	107,000	na		8.5 + 0.21 weight tax/mile + RUAF(0.085/mile/axle)
	Super load[d]	>17	>16	>120	>105,000	24,000	48,000[e]	72,000	96,000	120,000	TBD		8.5 + 0.21 weight tax/mile + RUAF(0.085/mile/axle)
COVP[f]		<14	<14	<120	<98,000	21,500	43,000	64,500	86,000	107,000	TBD	Y	8.5 + 0.21 weight tax/mile
CTP[g]		<14	<14	<120	<98,000	21,500	43,000	64,500	86,000	107,000	TBD	Y	8.5 + 0.21 weight tax/mile

Note: GVW = gross vehicle weight; TBD = to be determined; na = not applicable.
[a]No permit required, however the weight tax/mile should be paid based on information provided in several tables in the Oregon Department of Transportation (ODOT) website.
[b]This permit is for non-divisible loads.
[c]This permit authorizes movement of non-divisible load and requires Road Use Assessment Fees (RUAF) fees. RUAF is $ 0.085 for equivalent single axle load per mile. An equivalent single axle load means the relationship between actual or requested weight and an 18,000 lb single axle load.
[d]The permitted axle weights for super load are given in a table in the ODOT website. Super load permit requires special analysis by the ODOT Over-Dimension Permit Unit. Route restrictions may apply.
[e]Up to 52,800 lb may be allowed when the combination has 10 ft wide axles with four tires per axle. Up to 60,000 lb may be allowed when the combination has 10 ft wide axles with eight tires per axle.
[f]COVP (continuous-operation variance permit) is an annual permit for vehicles with GVW less than 98,000 lb.
[g]CTPs (continuous trip permits) are only available from the ODOT Over-Dimension Permit Unit. This permit is issued for periods of either 1 year or 30-days. Triple trailers, vehicles with leaky load, grass seed, or overheight straw can obtain CTP annually.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 12 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Texas

	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)									
Permit type	Height	Width	Length	GVW	in. width	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)*
General single trip[a]	>18.9	>20	>125	254,300	na	25,000	46,000	60,000	70,000	81,400	TBD	N	470
Manufactured housing	18.9	20	NA	80,000	na	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	N	40
Portable building	14	20	80	80,000	na	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	N	15
House move[b]	>18.9	>20	125	254,300	na	25,000	46,000	60,000	70,000	81,400	TBD	N	470
Manufactured housing[c]	14	20	125	80,000	na	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	Y	1,500
Mobile crane	14	10	45	120,000	650	25,000	46,000	60,000	70,000	81,400	TBD	Y	100
Utility pole	14	8.5	75	80,000	na	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	Y	120
Ready-mixed concrete	14	8.5	45	69000	na	25,300	50,600	na	na	na	na	Y	1,000
Timber permit[d]	14	8.5	65	84,000	na	na	44,000	na	na	na	na	Y	900
Self-propelled[e]	14	8.5	45	na	650	45,000	na	na	na	na	na	N	470
Hay[f]	14	12	65	80,000	na	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	Y	10
Husbandry	16	16	110	254,300	na	25,000	46,000	60,000	70,000	81,400	TBD	Y	270
Fluid milk	14	8.5	65	90,000	na	20,000	36,500	42,500	na	na	na	Y	1,200
Water well	14.5	16	110	254,300	na	25,000	46,000	60,000	70,000	81,400	TBD	Y	680
Intermodal ship. cont.[g]	14	8.5	65	100,000	na	15,000	37,000	49,200	na	na	na	Y	6,000
30/60/90 day	14	13	110	80,000	na	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	N	240
Company spec. envelope	14	12	110	120,000	na	na	na	na	na	na	na	Y	4,000
Vehicle spec. envelope	14	12	110	120,000	na	na	na	na	na	na	na	Y	4,000
Annual length	14	8.5	110	80,000	na	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	Y	960
N. Texas intermodal[h]	14	8.5	65	93,000	na	13,000	37,000	49,200	na	na	na	Y	1,000
Emergency relief	14	8.5	65	160,000	na	21,500	43,000	53,000	na	na	na	N	0
Quarterly hubometer	14.5	12	95	na	950	30,000	na	na	na	na	na	N	Per mile
Rig-up truck	14	na	65	na	850	25,000	na	na	na	na	na	Y	52
Over axle/gross[i]	14	8.5	65	267,015	na	27,500	50,600	66,000	77,000	89,540	na	Y	1,095
Well servicing unit	14	8.5	65	80,000	650	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	Y	52/axle
Fracking trailer	14	8.5	65	80,000	na	20,000	34,000	42,000	50,000	na	na	Y	104/axle
Crane and well servicing	na	na	na	na	950	30,000	na	na	na	na	na	N	Per mile
Super heavy[j]	na	na	na	>254,300	na	>25,000	>46,000	>60,000	>70,000	>81,400	TBD	N	935

Note: GVW = gross vehicle weight; TBD = to be determined; na = not applicable; NA = not available; ship. cont. = shipping container; spec. envelope = specific envelope.

*Maximum cost.

[a]Vehicles exceeding a width of 20 ft, or a height of 18.9 ft, or a length of 125 ft are required to have a Route Inspection Certification (RIC) on file before issuance of the permit.

[b]Texas Division of Motor Vehicle (TxDMV) analyzes the load dimensions, the destination and origin, and provides a proposed route.

[c]The permit is meant for transport from a manufacturing facility to a storage location no farther than 20 mi away.

[d]Operation of vehicles under this permit is restricted to county roads and state-maintained roadways.

[e]All wheels must have a minimum rim diameter of 25 in., the center-to-center axle spacing cannot be less than 12 ft.

[f]For travel on all state-maintained highways in Texas.

[g]Limited to 30-mi radius from available ports; axle configuration restrictions apply.

[h]County and road restrictions apply.

[i]Excludes Interstate Highways; total cost depends on the number of counties in which the vehicle will operate.

[j]Requires a bridge analysis by Texas DOT ($500) or to use a no-bridges crossed route ($100).

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 13 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Utah

Permit type[c]		Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[a]							Annual	Cost ($)
		Height	Width	Length	GVW	Single[b]	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >		
Single trip[c]	OS/OW	<14	<14.5	<105	<125,000	29,000	50,000	61,750	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula	N	60
	OS	>14	>14.5	>105	<80,000								30
	Super load	>14	'>14.5	>105	>125,000								80–540
Semi-annual (180 days)	OS	<14	<14.5	<105	<80,000	29,000	50,000	61,750	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula	N	75
	80,001–84,000 lb	<14	<14.5	<105	<125,000								180
	84,001–112,000 lb	<14	<14.5	<105	<125,000								320
	112,001–125,000	<14	<14.5	<105	<125,000								420
Annual (365 days)	OS	<14	<14.5	<105	<80,000	29,000	50,000	61,750	Bridge formula	Bridge formula	Bridge formula	Y	90
	80,001–84,000 lb	<14	<14.5	<105	<125,000								240
	84,001–112,000 lb	<14	<14.5	<105	<125,000								480
	112,001–125,000	<14	<14.5	<105	<125,000								540

Note: GVW = gross vehicle weight.

[a]In Utah the permitted weight for group of axles can be determined using a modified Federal Bridge formula. This value may be increased based on axle width and the number of tires. For example, 10 ft wide axles are allowed 15% more weight than 8 ft wide axles.

[b]No wheel on steering axles and castering axles shall exceed 600 lb/in. of tire width. Tire loading on vehicles requiring an OS or OW permit shall not exceed 500 lb/in.

[c]Utah recognizes two classes of loads: divisible and non-divisible. For divisible load, GVW can be up to 129,000 lb.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 14 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Washington

Permit type	Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[a]								
	Height	Width	Length	GVW	Single	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
US Highway 97[a]	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	N	100/month
Single trailer	na	na	56	na	na	na	na	na	na	na	N	10/month
Double trailer	na	na	68	na	na	na	na	na	na	na	N	10/month
Fixed load	na	na	na	na	na	na	65,000	86,000	na	na	N	3-axle 70/month 4-axle 90/month
Non-divisible load	15	14	125	na	na	na	na	na	na	na	N	20/month
Manufactured housing	15	14	85	na	na	na	na	na	na	na	N	15/month
Manufactured housing (over 14 × 85)	15	15	75	na	na	na	na	na	na	na	N	30/month
Single trip OS/OW	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	N	Varies
State Route 509[b]	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	N	100/month
Empty apple bins	15	na	na	na	na	na	na	na	na	na	N	20/month
Hay bales	15	na	na	na	na	na	na	na	na	na	N	20/month
Log tolerance	na	na	68	FBF	FBF	FBF	FBF	FBF	FBF	FBF	N	12.5/month
Tarping system[c]	na	9	na	na	na	na	na	na	na	na	N	20/month
Temporary additional tonnage	na	na	na	L	L	L	L	L	L	L	N	14/month
Temporary license permit (TRIP)	na	na	na	80,000	20,000	na	na	na	na	na	N	25 + additional charge based on GVW
Temporary fuel use permit	na	na	na	na	na	26,000	na	na	na	na	N	30
61 ft non-divisible load	na	na	61	na	na	na	na	na	na	na	N	10/month
Super load permit	na	na	na	200,000	na	na	na	na	na	na	N	Varies
Annual State Route 9[d]	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	Y	14
Annual US Highway 97	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	Y	1,000
Annual single trailer	na	na	56	na	na	na	na	na	na	na	Y	100
Annual double trailer	na	na	68	na	na	na	na	na	na	na	Y	100
Annual manufactured housing	15	14	125	na	na	na	na	na	na	na	Y	150
Annual manufactured housing (over 14 × 85)	15	15	75	na	na	na	na	na	na	na	Y	360
Annual State Route 509	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	Y	1,000
Annual collection truck[e]	na	na	na	na	20,000	42,000	na	na	na	na	Y	2-axle 252 3-axle 336
Annual empty apple bins	15	na	na	na	na	na	na	na	na	na	Y	240
Annual hay bales	15	na	na	na	na	na	na	na	na	na	Y	240
Annual log tolerance	na	na	68	FBF	FBF	FBF	FBF	FBF	FBF	FBF	Y	50
Annual tarping system	na	9	na	na	na	na	na	na	na	na	Y	240
Annual tow truck Class B[f]	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	N	75
Annual tow truck Class C[g]	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	N	150

Note: GVW = gross vehicle weight; L = legal limit; R = route specific; FBF = Federal Bridge Formula is used for this specific permit in relation to the permitted weight limits; na = not applicable.
[a]Allows drivers to haul reducible loads with Canadian weights from the Canadian border to milepost 331.12.
[b]Allows for sealed shipping containers to travel on a portion of SR 509 in the Port of Tacoma.
[c]This permit is for loaded vehicles that are equipped with a tarping system.
[d]Allows drivers to haul reducible loads with Canadian weights from the Canadian border to Sumas, Washington, on SR 9.
[e]Required to check the Collection Truck Restrictions.
[f]Class B: Trucks that are capable of towing, recovery, or both, of medium size trucks, trailers, motor homes, or equivalent vehicles.
[g]Class C: Trucks that are capable of towing, recovery, or both, of large trucks, trailers, buses, motor homes, or similar vehicles.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

ตารางที่ 15 รายละเอียดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรัฐ Wyoming

Permit type		Permitted size limits (ft)			Permitted weight limits (lb)[a]								
		Height	Width	Length	GVW	Single[b]	Tandem	Tridem	Quadrem	Quint	Six >	Annual	Cost ($)
Class A (super load)[c]	OS	>17	>18	>120	>160,000 <250,000	25,000	55,000	65,000	74,000	85,000	90,000	N	25 + 0.03/mile/ft*
	OW												40<0.06/mile/ton**
Class B	OS	<17	<18	<120	160,000	25,000	55,000	65,000	74,000	85,000	90,000	N	25 + 0.03/mile/ft*
	OW												40<0.06/mile/ton**
Class C[d]	OS	<17	<18	<120	160,000	25,000	55,000	65,000	74,000	85,000	90,000	N	25 + 0.03/mile/ft*
	OW												40<0.06/mile/ton**
Class D[e]	OS	<15	<12	<120	160,000	25,000	55,000	65,000	74,000	85,000	90,000	N	50
	OW												40<0.06/mile/ton**
Class E[f]	Single trip	<17	<18	<120	117,000	20,000	36,000	42,000	50,000	58,000	66,000	N	15
	OS recreational												250
	OS 90-day												50
	OW 90-day												40<0.06/mile/ton**
Class F[g]	Single trip	<14	<8.5	Legal length	122,000	22,000	39,600	46,200	55,000	63,800	72,600	N	50
	OS recreational												250
	OS 90-day												50
	OW 90-day												40<0.06/mile/ton**
Class W[h]		<14	<8.5	Legal length	>117,000	20,000	36,000	42,000	50,000	58,000	66,000	N	40<0.06/mile/ton**
Off-load[i]	OS	<17	<18	<120	160,000	25,000	55,000	65,000	74,000	85,000	90,000	N	25 + 0.03/mile/ft*
	OW												40<0.06/mile/ton**
Emergency relief[j]		TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
Prior operation[k]	OS	>17	>18	>120	>160,000	25,000	55,000	65,000	74,000	85,000	90,000	N	25 + 0.03/mile/ft*
	OW												40<0.06/mile/ton**

Note: GVW = gross vehicle weight; TBD = to be determined.

[a]In Wyoming the permitted weight for group of axles can be increased based on group configuration and distance of the axles in that configuration. For example, if Tridem group configuration includes single axle and a Tandem with 8 ft spacing, the 65,000 lb limit can be increased to 70,000 lb.

[b]The single axle permitted weight for a steering axle is 25,000 lb, while the permitted weight is 29,000 lb for a single axle in a group.

[c]Vehicles with GVW greater than 250,000 lb require engineering analysis. The additional engineering analysis fee includes amounts spent analyzing routs, as well as the cost of sending personnel to accompany load movements.

[d]This permit is self-issuing single-trip permit.

[e]This permit is extended period multiple-trip permit. This permit is for a specific vehicle and load, routs, and time period.

[f]This permit is a OS permit for extended period. The Class E permit can be issued for less than 90 days only. This permit is for hauling forest products, baled hay, or corn stalks, or combine headers.

[g]This permit is an OW permit for extended period up to 90 days. The Class F permit is for hauling of forest products, sugar beets, gravel, livestock, and agricultural products. This permit is acceptable only on primary and secondary highways. A 10% increase in the legal axle weight is allowed for this permit.

[h]This permit is for multi-piece loads exceeding 117,000 lb The combination load of each axle group has to meet the legal weight limitations. There is a $100 application fee for this permit. This permit is only for interstate highways.

[i]This permit is for vehicles or loads exceeding statutory size, weight limits, or both, that cannot be safely reduced at the location where the violation was discovered.

[j]This permit is OS/OW permit that can be issued when the Governor determines that greater weight or size will relieve an economic hardship or benefit the general welfare of Wyoming or another state.

[k]This permit is for unauthorized, non-permitted OS/OW violations for exceeding permit limits.

*Additional 3 cents per mile for each foot or fraction thereof exceeding 15 ft width, 15 ft height, and 75 ft length for OS permits.

**Additional 6 cents per mile for each ton (2,000 lb) or fraction thereof exceeding the statutory limits.

ที่มา: Ehsan Dehghan-Niri et al. (2020)

2.4 ค่าธรรมเนียมใบอนุญาต

ปัจจุบันกฎหมายของรัฐอนุญาตให้ใช้งานรถบรรทุกที่มีน้ำหนักเพลาหรือน้ำหนักรวมของรถที่เกินขีด จำกัดของกฎหมายหากรถเป็นประเภทหนึ่งหรือบรรทุกผลิตภัณฑ์เฉพาะภายใต้ระบบใบอนุญาต 2060/1547 (ตั้งชื่อตามกฎหมายที่สร้างขึ้น) ยานพาหนะสามารถเกินน้ำหนักเพลาสูงสุดที่อนุญาตได้ 10 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำหนักรถรวมสูงสุดที่อนุญาตได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้กฎหมายนี้ผู้ประกอบการยานพาหนะจะต้องจ่ายค่าธรรมเนียมพื้นฐาน 90 ดอลลาร์ ,ค่าธรรมเนียมการจัดการ 5 ดอลลาร์ และค่าธรรมเนียมตามจำนวนจังหวัดที่ยานพาหนะผ่าน ค่าธรรมเนียมปัจจุบันของจังหวัดที่ยานพาหนะผ่านแสดงไว้ ตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าธรรมเนียมตามจำนวนจังหวัดที่รถเดินทางผ่าน

Number of Countries	Fee ($US)
1 – 5	175
6 – 20	250
21 – 40	450
40 – 60	625
60 – 90	800
81 – 100	900
101 – 254	1,000

ที่มา: Prozzi et al. (2012)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตั้งแต่ปี ค.ศ.1929 ในรัฐเท็กซัสได้มีการประกาศกฎหมายบังคับพิกัดน้ำหนักของรถแต่ละชนิดไม่ให้เกินกว่าที่ประกาศกำหนด ในปี ค.ศ. 1989 รัฐได้แก้ไขกฎหมายอนุญาตให้รถบรรทุกสินค้ามีน้ำหนักรถรวมเกิน 27 ตัน ได้โดยต้องเสียค่าธรรมเนียมที่ทำให้ถนนและสะพานเสียหาย ในปีเดียวกันนี้เองรัฐเท็กซัสได้ออกใบอนุญาตรายปี 2060/1547 (หรือที่เรียกว่าใบอนุญาต 1547) ซึ่งอนุญาตให้มีน้ำหนักรวมของยานพาหนะเพิ่มขึ้นอีก 5% และน้ำหนักเพลา 10% ซึ่งสูงกว่าน้ำหนักสูงสุดที่อนุญาต ซึ่งจะใช้กับยานพาหนะ และในปี ค.ศ. 2003 เริ่มมีกฎหมายกระบวนการให้อนุญาตใช้รถบรรทุกเกินมิติขนาดหรือเกินพิกัดน้ำหนัก (OS/OW) ในบางพื้นที่ในรัฐ

ตามที่ได้ตีความโดยอัยการสูงสุดของรัฐเท็กซัสและต่อมาโดยศาล น้ำหนักสูงสุดที่อนุญาตควรคำนวณโดยไม่คำนึงถึงขีดจำกัดของน้ำหนักบรรทุก สำหรับยานพาหนะส่วนใหญ่ที่มีใบอนุญาตน้ำหนักรวมสูงสุดที่อนุญาตคือน้ำหนักสูงสุดทั่วไปที่ 80,000 ปอนด์ มากกว่าข้อจำกัดต่ำสุดที่กำหนด

โดยหลักเกณฑ์ของ Federal Bridge สำหรับยานพาหนะเหล่านี้ใบอนุญาต อนุญาตให้มีน้ำหนักรวมที่ 84,000 ปอนด์ (5 เปอร์เซ็นต์ของ 80,000 ปอนด์) อ้างอิงจาก (Luskin et al., 2001)

ในปีที่ศึกษา ค.ศ.2012 รัฐเท็กซัสยอมให้รถบรรทุกเกินพิกัดน้ำหนักได้ แต่ต้องไม่เกิน 10% ของพิกัดน้ำหนักเพลาที่กำหนด (เพลาเดี่ยว 20,000 ปอนด์ เพลาคู่ 34,000 ปอนด์ และสามเพลา 42,000 ปอนด์) หรือไม่เกิน 5% ของพิกัดน้ำหนักรวมของยานพาหนะที่กำหนดไว้ (80,000 ปอนด์) โดยผู้ใช้รถต้องชำระค่าธรรมเนียมที่ประกอบด้วยค่าธรรมเนียมพื้นฐาน 95 US$ บวกกับค่าผ่านพื้นที่จังหวัด (county) ตามจำนวนจังหวัดที่ขับผ่าน รายละเอียดดังตารางที่ 16 แต่มีข้อยกเว้นให้รถบรรทุกสินค้าบางชนิดเช่น ปิโตรเลียม ผลิตภัณฑ์เกษตรกรรม เป็นต้น ที่ไม่ต้องชำระค่าธรรมเนียม. ส่วนการเดินรถบรรทุกข้ามรัฐในเท็กซัสจะเก็บค่าธรรมเนียมน้ำหนักเกินพิกัดเริ่มต้นที่ 150US$ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 75US$ เมื่อน้ำหนักรถรวมเกินขั้นละ 40,000 ปอนด์ และมีเพดานสูงสุดที่ 375US$ ดังตารางที่ 17 อ้างอิงจาก (Prozzi et al. 2012)

ข้อจำกัดมิติขนาดยานพาหนะปัจจุบันในเท็กซัสสามารถดูได้ในตารางที่ 17 ความกว้างวัดจากจุดภายนอกของส่วนที่กว้างที่สุด ไม่รวมอุปกรณ์ความปลอดภัย

ตารางที่ 17 พิกัดการจำกัดมิติขนาดของยานพาหนะในรัฐเท็กซัส

Explanation	Measurement
Legal width limit	8', 6" (102")
Maximum width permitted on holidays	14', except for manufactured housing
Maximum width permitted on controlled access highways* (Interstate Highway System)	16', except for manufactured housing
Maximum width permitted without route and traffic studies and certification by applicant on file	20'
Maximum width permitted for new houses	34'
Maximum width permitted for existing houses	40'
Maximum width permitted for new tanks	34'
Maximum width permitted for existing tanks	40'
Maximum width permitted for portable buildings	No limit
Maximum width for manufactured housing	No limit

Note*Controlled access highways are those highways that must be entered from an access road, not from a stop sign. Traffic can cross the highway only by way of an overpass or underpass. Controlled access highways are usually considered to be the Interstate Highway System.*

- One escort is required for all loads exceeding 14' up to 16' wide. Two escorts are required for all loads exceeding 16' wide. The escort must precede the load on a two-lane highway to warn oncoming traffic of the approaching overwidth load. The escort must follow the load on a roadway of four or more lanes to warn approaching traffic of the overwidth load ahead.
- Loads exceeding 20' in width must physically inspect a proposed route and certify to the Motor Carrier Division by letter or facsimile that the overwidth load can safely negotiate the route.
- There are special requirements for manufactured housing.

ที่มา: Prozzi et al. (2012)

ตารางที่ 17 พิกัดการจำกัดมิติขนาดของยานพาหนะในรัฐเท็กซัส (ต่อ)

Table 1.4: Vehicle Height Limits in Texas

Explanation	Measurement
Legal height limit	14'
Maximum height permitted on holidays	16'
Maximum height permitted without a route and traffic study and route certification by applicant on file	less than 19'

- **One escort required for loads over 17' in height. The escort must be equipped with a height pole to accurately measure overhead obstructions.**
- **Front and rear escorts are required for loads exceeding 18' in height.**
- **Loads 19' or higher must physically inspect a proposed route and certify to the Motor Carrier Division by letter or facsimile that the overheight load can safely negotiate all power, communication, and cable television lines, and all other low vertical obstructions.**

ที่มา: Prozzi et al. (2012)

ตารางที่ 17 พิกัดการจำกัดมิติขนาดของยานพาหนะในรัฐเท็กซัส (ต่อ)

Vehicle Type	Legal	Maximum
Truck or single vehicle	45'	75'
Truck and trailer combination	65'	
Commercial truck and stinger-steered semi-trailer combination transporting automobiles or boats	75'	
Combinations such as truck, travel trailer & boat or motor home, boat and towing a car	65'	
Truck-tractor	unlimited	unlimited
Truck-tractor combination	overall unlimited, trailer limited to 59'	
Semitrailer		
Single unit	59'	
2 trailers	28', 6"	
Front overhang	3'	25'
Rear overhang	4'	30'
Maximum overall length		unlimited
Maximum length permitted without route and traffic study and route certification by applicant on file	125'	125'

One escort is required for loads exceeding
- 110', but not exceeding 125' long
- 20' front or rear overhang

Front and rear escorts are required for loads exceeding 125' in length.
NOTE: The overall length indicated on the permit includes any overhang, but the amount of the overhang must be noted on the permit.

ที่มา: Prozzi et al. (2012)

2.4.1 ข้อจำกัดด้านน้ำหนักของยานพาหนะ

เกณฑ์สำหรับใช้กำหนดน้ำหนักสูงสุดตามกฎหมายคือจำนวนเพลาโดยใช้ร่วมกับตารางน้ำหนักที่อนุญาตเพื่อกำหนดน้ำหนักสูงสุดตามกฎหมายสำหรับยานพาหนะ อ้างอิงจาก (Prozzi et al. 2012)

- น้ำหนักรวมสูงสุดตามกฎหมายต้องไม่เกิน 80,000 ปอนด์
- สำหรับเพลาเดียวนั้นน้ำหนักสูงสุดตามกฎหมายต้องไม่เกิน 20,000 ปอนด์
- สำหรับเพลาคู่นั้นน้ำหนักสูงสุดตามกฎหมายต้องไม่เกิน 34,000 ปอนด์
- สำหรับสามเพลานั้นน้ำหนักสูงสุดตามกฎหมายต้องไม่เกิน 42,000 ปอนด์

2.4.2 ปัจจัยภายนอกที่มีผลกับค่าธรรมเนียม

เมื่อเร็วๆนี้นโยบายสำหรับเก็บค่าผ่านทางรถบรรทุกตามน้ำหนักได้ถูกนำมาใช้ในประเทศจีน อย่างไรก็ตามนโยบายนี้ไม่สนใจต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมภายนอกของรถบรรทุกหนัก โดยอ้างถึงนโยบายการเก็บค่าผ่านทาง German HGV ทำให้มีการใช้โครงการค่าผ่านทางที่คล้ายคลึงกันในประเทศจีน งานวิจัยนี้พิจารณารวมต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมภายนอกของรถบรรทุกหนักบนทางด่วนบนระบบค่าผ่านทางของจีน ซึ่งคล้ายกับนโยบายค่าผ่านทาง German HGV ค่าผ่านทางรถบรรทุกตามรูปแบบน้ำหนักได้รับการปรับให้เหมาะสมเพื่อนำไปคำนวณต้นทุนภายนอกของมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ต้นทุนภายนอกมลพิษสิ่งแวดล้อมอยู่ที่ 0.3621 ¥ cents สำหรับน้ำหนักรถบรรทุกเกินต่อตันต่อกิโลเมตร เอกสารอ้างอิง (Forkenbrock, 1999; Beuthe et al., 2002) แต่เนื่องด้วยเป็นข้อมูลที่เก่าแล้วในการคำนวณอัตราค่าผ่านทางในประเทศจีนจึงทำการปรับเทียบแบบจำลองโดยใช้การวิจัยของ Zhang (2010) และใช้ 1 ¥ cents เป็นค่าน้ำหนักเกินต่อตันต่อกิโลเมตร

ในที่นี่มีการกำหนดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้แก่ VOC ,Nox ,Sox และ PM เนื่องจากไม่มีข้อมูลการสำรวจประเภทระดับการปล่อยมลพิษของยานพาหนะหนัก ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมภายนอกของรถบรรทุกหนักในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์การปล่อย

มลพิษโดยเฉลี่ยของมลพิษที่แตกต่างกันแสดงไว้ในตารางที่ 18 อ้างอิงจาก (Wang et al., 2018)

ตารางที่ 18 แสดงการปล่อยมลพิษโดยเฉลี่ยของมลพิษที่แตกต่างกัน

The average emission factor of different pollutants (unit: g/Ton·km).

Reference	Year	VOC	NO_x	SO_x	PM
Forkenbrock (1999)	1995	0.053	0.852	0.024	0.064
Beuthe et al. (2002)	1999	0.089	0.647	0.045	0.039

ที่มา: Wang et al., (2018)

ปัจจัยการปล่อยมลพิษโดยเฉลี่ยของ Forkenbrock (1999) และ Beutheetal (2002) ถูกนำมาใช้ในงานนี้ ผลลัพธ์แสดงในตางรางที่ 19

- C_{poll}^{VOC} = 0.071 x 0.042 x 8.3 = 0.0248 ¥ cents/ton/km
- C_{poll}^{NOx} = 0.7495 x 0.023 x 8.3 = 0.1431 ¥ cents/ton/km
- C_{poll}^{SOx} = 0.0345 x 0.029 x 8.3 = 0.0083 ¥ cents/ton/km
- C_{poll}^{PM} = 0.0515 x 0.0435 x 8.3 = 0.1859 ¥ cents/ton/km

คำนวณต้นทุนภายนอกด้านสิ่งแวดล้อมของรถบรรทุกหนัก C_{poll} ได้ดังนี้:

- $C_{poll} = C_{poll}^{VOC} + C_{poll}^{NOx} + C_{poll}^{SOx} + C_{poll}^{PM}$ = 0.3621 ¥ cents/ton km

ตารางที่ 19 แสดงผลการคำนวณปัจจัยการปล่อยมลพิษโดยเฉลี่ย

The average emission factor of different pollutants (unit: g/Ton·km).

Environmental pollutants	*VOC*	*NO_x*	*SO_x*	*PM*	Total
The average emission factor (g/Ton ·km)	0.071	0.749 5	0.034 5	0.051 5	
The average pollutants' external cost per gram ($ cents/g)[1]	0.042	0.023	0.029	0.435	
The pollutants' external cost (¥cents/Ton ·km)[2]	0.024 8	0.143 1	0.008 3	0.185 9	0.362 1

Note 1: refer to Forkenbrock (1999).
Note 2: US $ 1 dollar = 8.3 ¥ Yuan conversion in 1995.

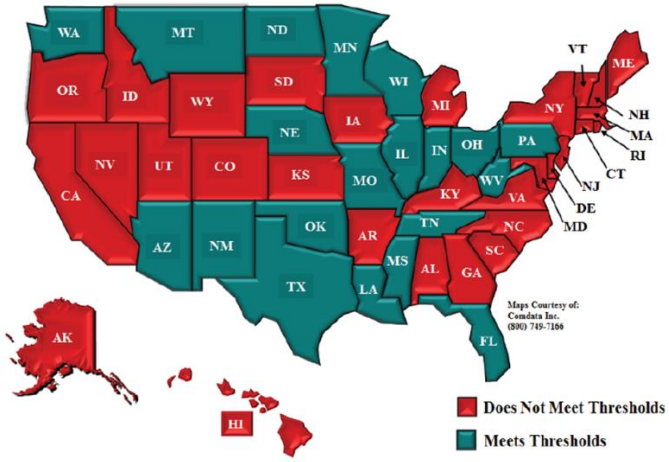
ที่มา: Wang et al., (2018)

2.4.3 ระบบช่วยในการขอใบอนุญาต

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการขออนุญาตใช้รถบรรทุกที่มีมิติขนาด หรือน้ำหนักบรรทุกเกินพิกัดที่ประกาศตามกฎหมาย มาใช้ในหลายรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา ผู้ใช้ยานพาหนะที่มีขนาดรถเกินกว่าพิกัดและน้ำหนักรถเกินกว่าพิกัดสามารถขออนุญาตเดินรถบนเส้นทางหลวงในแต่ละรัฐได้

ในอดีตผู้ใช้ต้องขออนุญาตที่หน่วยงานรัฐ ซึ่งกระบวนการอนุมัติใบอนุญาตต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงหรือหลายวัน เนื่องจากหน่วยงานต้องพิจารณาหาเส้นทางที่สามารถรองรับมิติขนาดรถและโครงสร้างสะพานที่สามารถรับน้ำหนักรถได้โดยไม่เสียหาย

ในรูปที่ 6 นี้แสดง 20 รัฐที่ตรงตามเกณฑ์ที่แนะนำสำหรับขนาดมิติและน้ำหนักที่ออกโดยระบบอนุญาตอัตโนมัติ



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 6 การออกใบอนุญาตอัตโนมัติ – 14’wide ,14’6’’high ,110’ long , U.S.
ที่มา: U.S. Department of transportation (Report No. FHWA-HOP-17-061)

ในปัจจุบันมีมากกว่า 30 รัฐที่ได้พัฒนาระบบช่วยขออนุญาตใช้รถเกินพิกัดขนาดหรือน้ำหนัก (Automated Permitting System) และมีอีกหลายรัฐที่กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนานำมาใช้ในอนาคต การใช้ระบบช่วยขออนุญาตนี้ทำให้เกิดความสะดวกและได้ประโยชน์หลายประการดังเช่น

- ช่วยลดระยะเวลาการขออนุญาต เหลือเพียงไม่กี่นาที

- ระบบช่วยกำหนดเส้นทางจากจุดเริ่มต้นจนถึงปลายทาง ที่ทำให้เกิดความปลอดภัยจากการชนช่องลอด และสะพาน
- หน่วยงานสามารถอัพเดทสถานะพิกัดน้ำหนักหรือมิติขนาดของโครงสร้างพื้นฐานในรัฐ แบบเรียลไทม์ และระบบ GPS ที่ติดตั้งในยานพาหนะก็จะได้รับข้อมูลเส้นทางที่เดินทางได้ และเส้นทางที่ห้ามใช้หรือมีการปิดการจราจร
- มีความสะดวกในการเก็บเงินค่าธรรมเนียมด้วยการตัดผ่านบัญชีหรือบัตรเครดิต
- ลดภาระงานและกำลังคนของเจ้าหน้าที่หน่วยงานในกระบวนการขออนุญาต จึงประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน
- ทางหลวงมีความปลอดภัยที่ดีขึ้น สามารถติดตามรถที่เกินพิกัดได้
- มีผู้ใช้รถเกินพิกัดมาใช้บริการเดินทางมากขึ้น และได้รับรายได้จากการขออนุญาตเพิ่มขึ้น

โดยสรุปจากประสบการณ์ของต่างประเทศในการแก้ไขปัญหารถบรรทุกหนักเกินพิกัด ด้วยการเรียกเก็บค่าธรรมเนียม โดยอย่างน้อยพิจารณาถึงข้อดีข้อเสียของรูปแบบและความแตกต่างของการเรียกเก็บ และปัญหาอุปสรรคหรือข้อจำกัดในทางปฏิบัติ

2.4.3.1 ตัวอย่างของระบบใบอนุญาต Oxcart

ระบบใบอนุญาต Oxcart นำเสนอแอปพลิเคชันบนเว็บที่เชื่อมโยงหน่วยงานอนุญาตในท้องถิ่นและบริษัทรถบรรทุกที่ต้องการใบอนุญาต

ในการใช้แอปพลิเคชัน Oxcart ผู้ให้บริการและหน่วยงานที่ได้รับอนุญาตจากรัฐบาลท้องถิ่นจำเป็นต้องสร้างบัญชีกับ Oxcart สำหรับสำนักงานที่อนุญาตจากรัฐบาล ใบสมัคร Oxcart ได้รับการปรับให้ตรงตามข้อกำหนดของท้องถิ่น

Oxcart กำลังพัฒนาระบบการทำแผนที่ GIS ที่จะให้ผู้ใช้ได้จัดการแผนที่เพื่อระบุเส้นทางได้ และระบบจะได้รับการอัปเดตเพื่อสร้างการแจ้งเตือนถึงผู้ถือใบอนุญาตทั้งหมดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงข้อจำกัดเส้นทาง

สำหรับผู้ให้บริการขนส่ง จะยื่นคำขอใบอนุญาตในท้องถิ่น รวมถึงเส้นทางที่ร้องขอผ่านแอปพลิเคชันบนเว็บของ Oxcart ในทางกลับกัน Oxcart จะดำเนินการ

และส่งคำขอใบอนุญาตพร้อมเส้นทางที่ร้องขอและข้อมูลการอนุญาตอื่น ๆ ที่จำเป็นทั้งหมดไปยังหน่วยงานอนุญาตในท้องถิ่นที่เหมาะสม เมื่อการสมัครเสร็จสมบูรณ์ Oxcart จะส่งใบสมัครใบอนุญาตให้หน่วยงานอนุญาตในท้องถิ่นตรวจสอบและอนุมัติ เมื่อใบอนุญาตได้รับการอนุมัติ และ Oxcart ได้รับหนังสือแจ้งแล้ว Oxcart จะมอบใบอนุญาตให้ผู้ขนส่ง ผู้ให้บริการอาจดาวน์โหลดและพิมพ์ใบอนุญาตหรือเข้าถึงใบอนุญาตบนสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรืออุปกรณ์สื่อสารอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

ปัจจุบัน แอปพลิเคชัน Oxcart มีฟังก์ชันห้องสมุดของยานพาหนะที่ผู้ให้บริการสามารถเพิ่ม ลบ ยานพาหนะได้ไม่จำกัดจำนวน และมีฟังก์ชั่นเส้นทางที่สมบูรณ์พร้อมการพัฒนาแผนที่ GIS ใหม่ นอกจากนี้รูปแบบการชำระเงิน Oxcart กำหนดให้ชำระผ่านทางบัตรเครดิต ซึ่งเป็นรูปแบบการชำระเงินเดียวที่ Oxcart อนุญาตในปัจจุบัน อ้างอิงจาก (U.S. Department of transportation (Report No. FHWA-HOP-17-061))

2.4.4 รูปแบบการคิดค่าธรรมเนียม

การจัดเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกในต่างประเทศ มีความหลากหลายในรูปแบบการจัดเก็บ ทั้งวิธีการจัดเก็บ วิธีการคิดอัตราค่าธรรมเนียม ขอบเขตการชดเชยที่ค่าธรรมเนียมครอบคลุม หากจำแนกเป็นกลุ่มตามวิธีปฏิบัติในการจัดเก็บจากผู้ใช้รถบรรทุกแล้ว ก็สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

2.4.4.1 กลุ่มการเก็บค่าธรรมเนียมแบบคงที่

การเรียกเก็บค่าธรรมเนียมจะเรียกเก็บเป็นมูลค่าคงที่ ต่อหนึ่งการเดินทางผ่านพื้นที่ ทว่าแตกต่างกันตามประเภทของรถบรรทุก และในบางแห่งเช่นรัฐเท็กซัส มูลค่าการเรียกเก็บยังขึ้นกับชนิดของสินค้าที่ขนส่งอีกด้วย ข้อดีของการเรียกเก็บแบบอัตราคงที่ คือความสะดวกในการจำแนกมูลค่าในการเรียกเก็บ ผู้ใช้รถสามารถจ่ายค่าธรรมเนียมอย่างถูกต้องก่อนการเดินทางโดยเพียงแค่ทราบประเภทของรถบรรทุกที่ใช้งาน และการตรวจสอบก็สามารถทำได้ง่ายโดยไม่ต้องมีอุปกรณ์เครื่องมือในการวัดระยะทางหรือชั่งน้ำหนัก ทำให้หน่วยงานทางหลวงมีค่าใช้จ่ายต่ำในการตรวจสอบและควบคุม ส่วนข้อเสียและข้อจำกัดของการเรียกเก็บแบบอัตราคงที่ คือ

- ผู้ใช้รถบรรทุกเพียงระยะทางสั้น ๆ ก็ต้องจ่ายค่าธรรมเนียมในราคาเท่ากับผู้ใช้รถบรรทุกอื่น
- รถบรรทุกที่มีน้ำหนักลงเพลาสูงมีอัตราการทำลายผิวทางมาก ก็ชำระค่าธรรมเนียมเท่ากับรถบรรทุกน้ำหนักเบา
- มีผลการศึกษากรณีรัฐเท็กซัส ที่พบว่าในหนึ่งปีงบประมาณ รัฐเก็บค่าธรรมเนียมแบบคงที่ได้ ประมาณ 100 ล้านเหรียญสหรัฐ หากเรียกเก็บด้วยอัตราที่ขึ้นกับระยะทางและน้ำหนักเพลาแล้ว รัฐจะมีรายได้เพิ่มขึ้นอีกมากกว่า 400 ล้านเหรียญสหรัฐในหนึ่งปีงบประมาณ หรือเท่ากับว่ารัฐสูญเสียงบประมาณเท่ากันในการซ่อมแซมทางหลวงที่เกิดจากการทำลายของรถบรรทุกที่มีน้ำหนักมาก
- นอกจากนี้ ก็ยังต้องมีสถานีชั่งน้ำหนักสำหรับการตรวจสอบการบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัดสูงสุดของประเภทรถ เพื่อป้องกันการละเมิด

2.4.4.2 กลุ่มการเก็บค่าธรรมเนียมตามระยะทาง

การเรียกเก็บค่าธรรมเนียม ผู้ใช้รถจะต้องซื้อบัตรค่าธรรมเนียมตามประเภทรถบรรทุกที่ใช้ โดยบัตรหนึ่งใบมีระยะทางใช้งานที่จำกัดเช่น 1,000 กิโลเมตร หากต้องเดินทางต่อเนื่องเกินระยะทางของบัตร1ใบก็สามารถซื้อบัตรเพิ่มเพื่อเติมระยะทางได้ โดยที่รถบรรทุกทุกคันต้องมีอุปกรณ์ในการบันทึกระยะทางเดินทางและป้อนข้อมูลบัตรค่าธรรมเนียม วิธีการซื้อบัตรค่าธรรมเนียมสามารถทำได้หลายช่องทาง เช่น ออนไลน์โทรศัพท์ ตัดบัญชีอัตโนมัติ

<u>ข้อดีที่พบคือ</u>

- การจัดเก็บค่าธรรมเนียมมีความเหมาะสมดีในแง่ที่ว่า ใช้ถนนมากควรชำระค่าธรรมเนียมมากขึ้นตามระยะทาง
- อัตราค่าธรรมเนียมคงที่ตามประเภทรถบรรทุก แม้ว่าจะไม่สามารถแก้ประเด็นรถบรรทุกหนักสร้างความเสียหายมากกว่า

รถบรรทุกน้ำหนักเบา แต่ก็สามารถตอบโจทย์น้ำหนักบรรทุกได้บางส่วน เนื่องจากประเภทรถเป็นเกณฑ์กำหนดพิกัดน้ำหนักสูงสุดของรถในประเภท จึงเสมือนสมมุติว่ารถทุกคันในประเภทเดียวกันมีน้ำหนักเท่ากันคือน้ำหนักสูงสุดตามเกณฑ์

<u>ข้อเสียและข้อจำกัดที่พบคือ</u>

- ผู้ใช้รถมีค่าใช้จ่ายเพิ่มในการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกระยะทางและใส่ข้อมูลบัตรค่าธรรมเนียม
- ยังไม่สามารถตอบสนองประเด็นความเสียหายผิวทางที่เกิดจากรถบรรทุกน้ำหนักต่างกันได้
- หน่วยงานยังต้องมีสถานีชั่งน้ำหนักสำหรับการตรวจสอบการบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัดสูงสุดของประเภทรถ เพื่อป้องกันการละเมิดน้ำหนักสูงสุดของประเภทรถ

2.4.4.3 กลุ่มการเก็บค่าธรรมเนียมแบบแปรผันตามน้ำหนักและตามระยะทาง

การเรียกเก็บค่าธรรมเนียมตามน้ำหนักรถและตามระยะทางเป็นแนวทางที่หน่วยงานหลายแห่งใช้ล่าสุดหรือกำลังพัฒนามาใช้เป็นวิธีนี้ เบื้องหลังในการคำนวณตั้งอัตราค่าธรรมเนียมมีทั้งแบบที่คิดจากมูลค่าค่าก่อสร้างเพียงอย่างเดียว หรือคิดจากมูลค่างบประมาณที่หน่วยงานใช้ในการบำรุงและซ่อมแซมผิวทางในระยะยาว เช่น 30 ปี หรือคิดจากการทำนายอัตราการสร้างความเสียหายของรถบรรทุกตามน้ำหนักเพลาด้วยวิธี Finite Element Method ร่วมกับ AASHTO Mechanistic Empirical Design Guide และเลือกวิธีบำรุงรักษาและซ่อมแซมผิวทางที่เหมาะสมกับรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นตามการทำนาย

<u>ข้อดีของวิธีนี้คือ</u>

- เป็นวิธีที่มีเหตุผลที่สุด สามารถตอบโจทย์ทุกฝ่ายในประเด็นใช้มากก็ควรจ่ายมาก ใช้น้อยก็ควรจ่ายน้อย และเก็บตามความเสียหายของผิวทาง จึงเป็นการส่งเสริมให้ผู้ใช้รถวางแผนการบรรทุก

น้ำหนักและเลือกใช้ประเภทรถให้เหมาะสมกับน้ำหนัก ซึ่งทำให้ทางหลวงมีความปลอดภัยมากขึ้นด้วย

- รัฐได้รับรายได้จากการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมที่สมเหตุผล สามารถนำมาใช้เป็นงบประมาณในระดับที่เพียงพอในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมถนน ลดการเบียดเบียนงบประมาณจากด้านอื่นของรัฐ

<u>ส่วนข้อจำกัดของวิธีนี้คือ</u>

- ผู้ใช้รถต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถบันทึกระยะทางและป้อนข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น เช่นประเภทรถ น้ำหนักรถ ติดตั้งที่รถบรรทุกทุกคัน
- ผู้ใช้ต้องทราบน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ต้องป้อนค่าน้ำหนัก
- รัฐต้องมีสถานีชั่งน้ำหนักรถบรรทุกสำหรับการตรวจสอบอัตราการจัดเก็บค่าธรรมเนียม และสำหรับป้องกันการละเมิดพิกัดน้ำหนักสูงสุดของประเภทรถ
- การคำนวณหาอัตราค่าธรรมเนียม ต้องอาศัยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมเหตุผล และใช้ชุดข้อมูลที่สะท้อนความจริงในการใช้งานและการปฏิบัติ เพื่อให้ทุกฝ่ายยอมรับในอัตราค่าธรรมเนียม

และองค์ประกอบที่สำคัญที่เป็นกุญแจหลักในความสำเร็จในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมรูปแบบต่างๆในต่างประเทศคือ การใช้เทคโนโลยีมาช่วยในกระบวนการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการใช้รถบรรทุก ซึ่งทำให้กระบวนการทั้งฝั่งผู้ใช้รถบรรทุกที่ต้องให้รายละเอียดในการขอใช้รถบรรทุก ฝั่งหน่วยงานรัฐที่ต้องพิจารณาอนุญาต กำหนดเส้นทางและจัดเก็บค่าธรรมเนียมตามอัตรา รวมทั้งการตรวจสอบควบคุมการใช้รถ เป็นไปอย่างราบรื่น และสะดวกใช้เวลาสั้นๆในการดำเนินงาน โดยส่วนประกอบของระบบช่วยขออนุญาตใช้รถบรรทุกและชำระค่าธรรมเนียมมีส่วนประกอบหลักคือ

- อุปกรณ์ติดตั้งในตัวรถบรรทุก ที่ใช้เทคโนโลยีการระบุพิกัดตำแหน่งเช่น GPS มีช่องทางในการป้อนข้อมูลรายละเอียดการเดินทางของผู้ใช้รถ รวมทั้งการชำระค่าธรรมเนียมแบบ cashless

และสามารถสื่อสารรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายของหน่วยงานรัฐผู้ให้อนุญาต

- ระบบช่วยในการให้อนุญาตการใช้รถบรรทุก ของหน่วยงานรัฐ ซึ่งมีความสามารถ
    - ให้อนุญาตรถบรรทุกเดินรถ โดยจัดเก็บค่าธรรมเนียมตามอัตรา
    - ช่วยค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมกับรถบรรทุกแต่ละประเภท
    - สามารถอัพเดทข้อมูลโครงข่ายโครงสร้างพื้นฐานทั้งสะพานและทางหลวงในด้านมิติขนาดและพิกัดน้ำหนักที่ผ่านได้อย่างปลอดภัย รวมทั้งสถานะปัจจุบันกรณีที่มีการปิดซ่อมแซม

2.5 ขนาดมิติที่มีขนาดบรรทุกเกินกว่ากฎหมายกำหนด

ระยะทางหลายพันไมล์ของถนนในชนบทและชานเมืองที่มีอยู่เดิมไม่ได้ออกแบบมาเพื่อการเดินรถบรรทุกหนักตามกฎหมายในปัจจุบัน การบรรทุกยานพาหนะที่ได้รับการยกเว้น หรือ OS / OW ที่อนุญาตให้บรรทุกเกินขนาดและ / หรือขนาดน้ำหนักบรรทุกตามกฎหมาย การกำหนดค่ารถบรรทุกทั่วไปสำหรับถนนเหล่านี้ได้รับการออกแบบในตอนแรกดังแสดงในรูปที่ 7

รูปที่ 7 รถกึ่งพ่วงสามเพลาของทศวรรษที่ 1940 – 1950

ที่มา : Ken Goudy 2010

ยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่และหนักมากมักจะเดินทางบนเส้นทางของรัฐที่จำกัดน้ำหนักบรรทุกตามกฎหมายโดยใช้ใบอนุญาต OS/OW แบบไม่กำหนดเส้นทางหรือใบอนุญาต OS/OW แบบกำหนดเส้นทางเดียว ความจำเป็นในการขนส่งของยานพาหนะที่มีน้ำหนักมากเหล่านี้บนถนนที่มีพื้นที่จำกัดในการรับน้ำหนักอาจเนื่องมาจากที่ตั้งเช่น เหมืองหินในชนบท ฟาร์ม ฟาร์มปศุสัตว์ ที่อยู่อาศัย อาคารพาณิชย์หรือสถานที่อื่น ๆ

ยานพาหนะที่มีน้ำหนักและ/หรือขนาดที่เกินขีดจำกัดที่กฎหมายกำหนดอาจเป็นข้อกังวลด้านความปลอดภัยและการปฏิบัติงานเมื่อเดินทางในเส้นทางแคบ การรับน้ำหนักมากด้านข้างหรือบนขอบผิวทางที่ไม่ได้รับการสนับสนุน/ออกแบบที่เหมาะสม อาจส่งผลให้เกิดการยุบตัวแบบร่องล้อ การแตกร้าว และสภาพการขับขี่ที่เสื่อมโทรม การขาดไหล่ทางอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อขอบผิวทางจากรถบรรทุกหนักที่บรรทุกอย่างถูกกฎหมายเช่นเดี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกของ OS/OW

2.5.1 ขนาดรถตามกฎหมาย

ขนาดรถสูงสุดตามกฎหมายในเท็กซัสคือกว้าง 8 ฟุต 6 นิ้ว และสูง 14 ฟุต ความยาวตามกฎหมายจะแตกต่างกันไป กฎเกณฑ์ของรัฐอนุญาตให้มีความยาวสูงสุดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของยานพาหนะหรือการพ่วงกันของยานพาหนะตามที่ระบุไว้ด้านล่าง อ้างอิงจาก (TxDOT, 201)

1. รถเทรลเลอร์ - รถกึ่งพ่วงบรรทุกรถยนต์หรือเรือ : ความยาว <= 75 '

2. รถเทรลเลอร์ - เทรลเลอร์แบบดั้งเดิมที่บรรทุกรถยนต์หรือเรือ : ความยาว <= 65 '

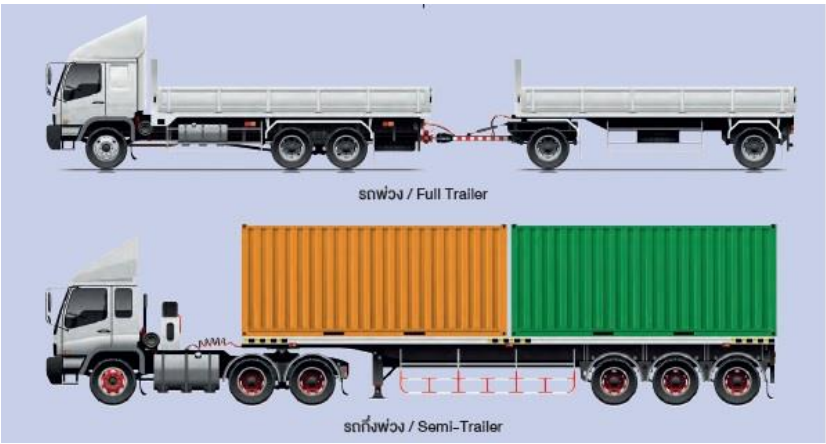
3. รถบรรทุกและรถพ่วง : ความยาว <= 65 '

4. รถบรรทุกและรถกึ่งพ่วง : ความยาว <= 65 '

5. ความยาวของรถบรรทุก : ไม่จำกัดความยาว

6. ความยาวรถกึ่งพ่วง : หน่วยเดียว <= 59 ฟุต ที่วัดจาก kingpin (อุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับรถกึ่งพ่วง) ไปทางด้านหลังของรถพ่วง และสำหรับรถพ่วงสองหน่วยจะแบ่งเป็น 28 ฟุต 6 นิ้ว จาก kingpin ไปที่ด้านหลังของตู้พ่วงแรก และ 28 ฟุต 6 นิ้ว สำหรับความยาวทั้งหมดของตู้พ่วงที่สอง

7. ความยาวรถบรรทุกกึ่งพ่วง : ความยาวโดยรวมไม่จำกัด



รูปที่ 8 แสดงลักษณะรถพ่วงและรถกึ่งพ่วง
ที่มา: ศูนย์ทดสอบ วิจัยและพัฒนา สถาบันยานยนต์

คู่มือการออกแบบถนน TxDOT ให้แนวทางสำหรับเกณฑ์การออกแบบขั้นต่ำสูงสุดและเป็นที่ต้องการและปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความกว้างของถนนรูปทรงเรขาคณิตแนวนอนและแนวตั้งและรัศมีวงเลี้ยวเพื่อรองรับยานพาหนะที่มีการติดตามระยะยาวซึ่งมีการติดตามและปัจจัยอื่น ๆ (TxDOT, 2010) . แม้ว่าคู่มือการออกแบบถนน TxDOT ปี 2010 จะมีประโยชน์ในการทำความเข้าใจเกณฑ์การออกแบบในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับความกว้าง ความสูง และความยาวของโหลด OS/OW ทีมวิจัยเน้นย้ำอีกครั้งว่าจำนวนเลนถนนในชนบทจำนวนมากได้รับการออกแบบโดยใช้เกณฑ์การออกแบบจากทศวรรษก่อนหน้าซึ่งไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับปัจจุบันมาตรฐานการออกแบบ

ส่วนถัดไปจะแสดงข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับความกว้างเกิน ความสูงเกิน และความยาวเกิน สำหรับรถบรรทุก OS / OW โดยคำนึงถึงต้นทุนและอัตราที่เหมาะสมต่อไมล์

ตารางที่ 20 จำนวนใบอนุญาต และอัตรา / ไมล์ ประเภทความกว้าง ,ความสูง และความยาว สำหรับ 2,000 ใบอนุญาต OS / OW Single-Trip Permits

Infrastructure Operations and Safety Impact Fee Schedule														
	OS/OW Widths summarized by category													
Category	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
Width Categories	<= 8'-6"	8'-7 / 9'-6'	9'-7 / 10'-6'	10'-7 / 11'-6'	11'-7 / 12'-6'	12'-7 / 13'-6'	13'-7 / 14'-6'	14'-7 / 15'-6'	15'-7 / 16'-6'	16'-7 / 17'-6'	17'-7 / 18'-6'	18'-7 / 19'-6'	19'-7 / 20'-6"	20'-7" -21'-6"
Number of Permits/Category	343	98	267	219	479	175	258	70	49	10	12	2	8	10
Current MCD rate / VMT	0	6¢	12¢	18¢	24¢	30¢	36¢	42¢	48¢	54¢	60¢	66¢	72¢	78¢
	OS/OW Heights summarized by category													
Category	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
Height Categories	< 14'-1"	14'-1" -15'	15' -1" - 16'	16'-1" - 17'	17'-1" - 18'	18'-1" - 19'	19'-1" - 20'	20'-1" - 21'	21'-1" - 22'	22'-1" -23'	23'-1" - 24'	24'-1" - 25'	25'-1" - 26'	26'-1" - 27'
Number of Permits/Category	1081	423	398	77	15	2	3	1	0	0	0	0	0	0
Current MCD rate / VMT	0	4¢	8¢	12¢	16¢	20¢	24¢	28¢	32¢	36¢	40¢	44¢	48¢	52¢
	OS/OW Lengths summarized by category													
Category	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
Length Categories	< 82' ^	82'-1" - 90'	90'-1" - 100'	100'-1" - 110'	110'-1" - 120'	120'-1" - 130'	130'-1" - 140'	140'-1" - 150'	150'-1" - 160'	160'-1" - 170'	170'-1" - 180'	180'-1" - 190'	190'-1" - 200'	200'-1" - 210'
Number of Permits/Category	997	279	256	228	86	60	16	41	5	6	15	2	7	2
Proposed new rate / VMT	0	2¢	4¢	6¢	8¢	10¢	12¢	14¢	16¢	18¢	20¢	22¢	24¢	26¢

Note: Although 14 rate categories are shown, a total of 34 rate categories have been developed based on the same rate increments.
^ Maximum allowable legal length for a stinger-steered car transporter = 75' + 3' front overhang + 4' rear overhang = 82'

ที่มา: Prozzi et al. (2012)

2.5.2 ความกว้างที่เกินกฎหมายกำหนด

น้ำหนักบรรทุกเกินเป็นเรื่องปกติในการจัดประเภทเส้นทางทั้งหมดในเท็กซัส รูปที่ 9 แสดงให้เห็นถึงการบรรทุกน้ำหนักเกินความกว้างโดยทั่วไป

รูปที่ 9 Overwidth และ Overheight ที่ IH 35 NB—Austin District

ที่มา: Prozzi et al. (2012)

ความกว้างของช่องทางการเดินทางบนทางหลวงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทเส้นทาง ,เส้นทางนั้นอยู่ในพื้นที่ชนบทหรือในเมือง และปัจจัยอื่นๆ

2.5.3 ความสูงที่เกินกฎหมายกำหนด

ระบบกำหนดเส้นทาง TxPROS ทำการกำหนดเส้นทางโดยพิจารณาจากการให้ระยะห่างที่เพียงพอสำหรับยานพาหนะ OS / OW โดยพิจารณาจากขนาดแนวตั้งและด้านข้าง TxPROS และ MCD ต้องระบุเส้นทางที่ตรงตามเงื่อนไขเหล่านี้ก่อนที่จะทำการเลือกเส้นทางใบอนุญาตขั้นสุดท้ายเพื่อให้มีการเคลื่อนย้ายที่ปลอดภัยทั้งสำหรับผู้ให้บริการขนส่ง OS / OW และผู้เดินทางสาธารณะ รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างของการโหลด OS / OW ที่สูงเกินความสูงที่กฎหมายกำหนด

รูปที่ 10 Super-Heavy Load Transporter with Transformer on IH 35 NB Main Lanes—Austin

ที่มา: Prozzi et al. (2012)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5.4 ความยาวที่เกินกฎหมายกำหนด

หมวดหมู่ความยาวที่แสดงในตารางก่อนหน้า (ตารางที่ 20) ได้รับการพัฒนาโดยทีมวิจัยโดยอิงจากปัจจัยต่างๆ รวมถึงการทบทวนคู่มือการออกแบบทางแยกของ TxDOT Design Division ซึ่งให้คำแนะนำสำหรับการออกแบบทางโค้ง ทางแยก และคุณลักษณะทางหลวงอื่นๆ โดยพิจารณาจากรัศมีวงเลี้ยวของรถยนต์ รถพ่วง และรถพ่วงนอกการติดตาม อ้างอิงจาก (TxDOT, 2010).

รถมาตรฐานที่ยาวที่สุดที่ TxDOT ใช้ในการกำหนดเกณฑ์การออกแบบคือรถกึ่งพ่วงเทรลเลอร์มาตรฐาน WB-12, WB-15 และ WB-19 และรถเทรลเลอร์สองชั้น WB-20D ความยาวรวมของชุดรวมเหล่านี้ตามที่แสดงในแผนภาพการติดตามรถพ่วงด้วยตนเองคือ

45.5 ฟุต ,55 ฟุต ,68.5 ฟุต และ 72.33 ฟุตตามลำดับ อย่างไรก็ตามยานพาหนะที่มีความยาวตามกฎหมายสูงสุดที่ยาวที่สุดที่ระบุไว้ในกฎเกณฑ์ของรัฐนั้นเป็นรถขนย้ายรถยนต์ ขนย้ายซึ่งมีความยาวได้ถึง 75 ฟุตพร้อมส่วนยื่นเพิ่มเติมด้านหน้า 3 ฟุต และระยะยื่นด้านหลัง 4 ฟุต รวมความยาว 82 ฟุต (ดูรูปที่ 11) (TxDOT, 2011) เพื่อวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบ รูปภาพ 12 แสดงหน่วยรถพ่วงแบบติดตั้งบนอานซึ่งทำงานบน IH 35 ซึ่งตามกฎเกณฑ์ของรัฐที่อนุญาตให้มีการยกเว้นความยาวคลื่นต่างๆได้รับอนุญาตให้ใช้งานได้ที่ความยาวสูงสุด 97 ฟุต

รูปที่ 11 รถขนย้ายรถยนต์ ที่ IH 35 NB
ที่มา: Prozzi et al. (2012)

รูปที่ 12 Saddle-Mount Truck Tractor Unit Operating along IH 35 SB—Austin District
ที่มา: Prozzi et al. (2012)

2.6 ความเสียหายที่เกิดจากรถบรรทุก OS/OW เกินมาตรฐาน

ประเภทความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเมื่อยานพาหนะ OS/OW ชน แตกต่างกันไปออกไป ความเสียหายเล็กน้อยถึงมากอาจเกิดขึ้นได้ รูปที่ 13 และ 14 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานลอย เมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม 2012 ค่าความเสียหาย $500,000 รูปที่ 15 แสดงความเสียหายของสะพาน และ รูปที่ 16 และ 17 แสดงการหลุดลอกของซีลจากการที่บรรทุกหนักใช้เส้นทาง

รูปที่ 13 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานลอยจากรถบรรทุก OS/OW ที่ US 385 at SH 158—Odessa District

ที่มา: TxDOT Odessa District

รูปที่ 14 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานลอยจากรถบรรทุก OS/OW ที่ US 385 at SH 158—Odessa District

ที่มา: TxDOT Odessa District

รูปที่ 15 แสดงความเสียหายของสะพานที่ IH20 & PR 41

ที่มา: TxDOT Odessa District

รูปที่ 16 แสดงการหลุดลอกของซีลจากการที่บรรทุกหนักใช้เส้นทาง

ที่มา: TxDOT

รูปที่ 17 แสดงการหลุดลอกของซีลจากการที่บรรทุกหนักใช้เส้นทาง

ที่มา: TxDOT

2.6.1 ค่าความเสียหายของผิวทางที่เกิดจากประเภทยานพาหนะ

การศึกษาเกี่ยวกับการวัดผลกระทบที่เกิดจาก mixed truck ,distress severity และ climate ที่มีผลต่อความเสียหายของผิวทาง และค่าบำรุงรักษา โดยพิจารณาจากทางหลวง 9 ตอนที่อยู่ในโครงการการศึกษาสมรรถนะผิวทางระยะยาว (Long-Term Pavement Performance, LTPP) การวิเคราะห์ต้นทุนดำเนินการโดยใช้ข้อมูลบันทึกของการบำรุงรักษาและข้อมูลการฟื้นฟู ตั้งแต่ปี 1988 ถึงปี 2016 คำนวณต้นทุนความเสียหายต่อ VMT (Vehicle Miles Travelled) และ ESAL-mile สำหรับรถบรรทุก FHWA แต่ละประเภท โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 21 อ้างอิงจาก (Shady Abdelazim และคณะ 2020)

ตารางที่ 21 รายละเอียดตัวแปรที่เกี่ยวข้องในทางหลวงช่วงที่ใช้ในการศึกษา

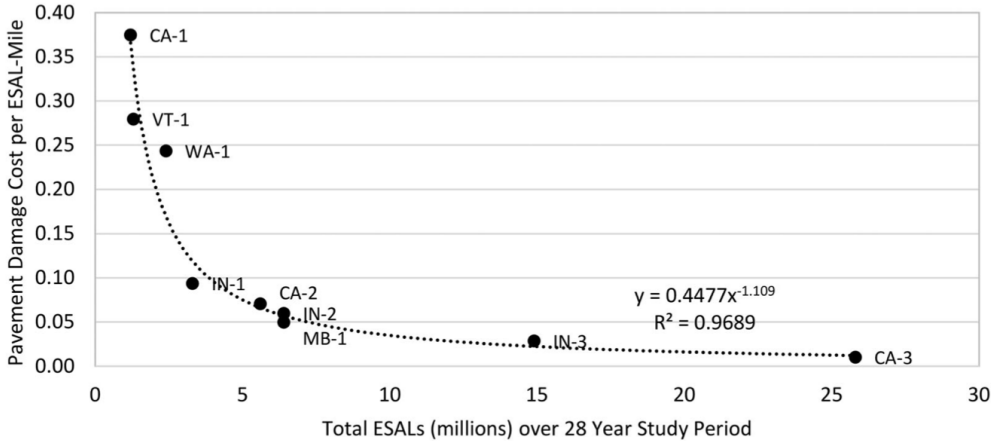
Table 1. LTPP pavement sections used in the study.

Section ID	LTTP Section	Mean Annual Prec. (mm)	Mean Annual Temp. (°C)	LTPP Climate Cat.	Life cycle Single Axles (millions)	Life cycle Tandem Axles (millions)	Life cycle ESALs (millions)
CA-1	California 7452	1061	15	Wet and Non-Freeze	6.1	1	1.2
VT-1	Vermont 1004	985	8	Wet and Freeze	4.4	2.4	1.3
WA-1	Washington 6056	483	10	Dry and Non-Freeze	5.6	2.7	2.4
IN-1	Indiana 1037	1308	14	Wet and Non-Freeze	6.4	4.4	3.3
CA-2	California 8535	60	24	Dry and Non-Freeze	17.6	10.8	5.6
IN-2	Indiana 2008	1003	10	Wet and Freeze	13.6	11.2	6.4
MB-1	Manitoba 0502	645	3	Wet and Freeze	8.2	5.9	6.4
IN-3	Indiana 1028	1310	14	Wet and Non-Freeze	26.6	27.3	14.9
CA-3	California 8149	114	23	Dry and Non-Freeze	27.9	29.6	25.8

ที่มา: Shady Abdelazim et al. (2020)

โดยการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value) ของการบำรุงและบูรณะทาง (M&R) ทั้งหมดสำหรับแต่ละส่วนผิวทางในช่วงระยะเวลาการศึกษา 28 ปี (ค.ศ. 1988-2016) คำนวณจากข้อมูล M&R ในอดีต และใช้ข้อมูล WIM ถูกใช้เพื่อกำหนดต้นทุนความเสียหายของผิวทางต่อ ESAL-mile และเพื่อรับต้นทุนความเสียหายผิวทางต่อไมล์ สำหรับรถบรรทุกแต่ละประเภท ค่า IRI เฉลี่ยของทางหลวงแต่ละตอน มีค่าอยู่ในช่วง 0.8 – 1.7 m/km และค่าความลึกร่องล้อเฉลี่ย อยู่ในช่วง 3 – 12 มม. ค่า SN ของตอนทางหลวงที่ใช้วิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 6 – 8 นิ้ว

ผลการวิจัยได้ประเมินค่าความเสียหายผิวทาง ต่อ เพลามาตรฐานไมล์ (ESAL mile) และค่าความเสียหายผิวทาง ต่อ ระยะทางไมล์ ของรถบรรทุกชนิด ดังแสดงในรูปที่ 18 และตารางที่ 22 การวิเคราะห์ได้ประเมินต้นทุนความเสียหายของผิวทางที่เป็นของรถบรรทุกหนักที่ $7.6 ต่อไมล์เทียบกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพียง $0.08 ต่อไมล์



Relationship between Pavement Damage Cost per ESAL-Mile and Loading (ESALs) for Sections with Strength of 6 to 8 SN.

รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำรุงบูรณะทางกับจำนวนเพลามาตรฐานสะสม

ที่มา: Shady Abdelazim et al., 2020

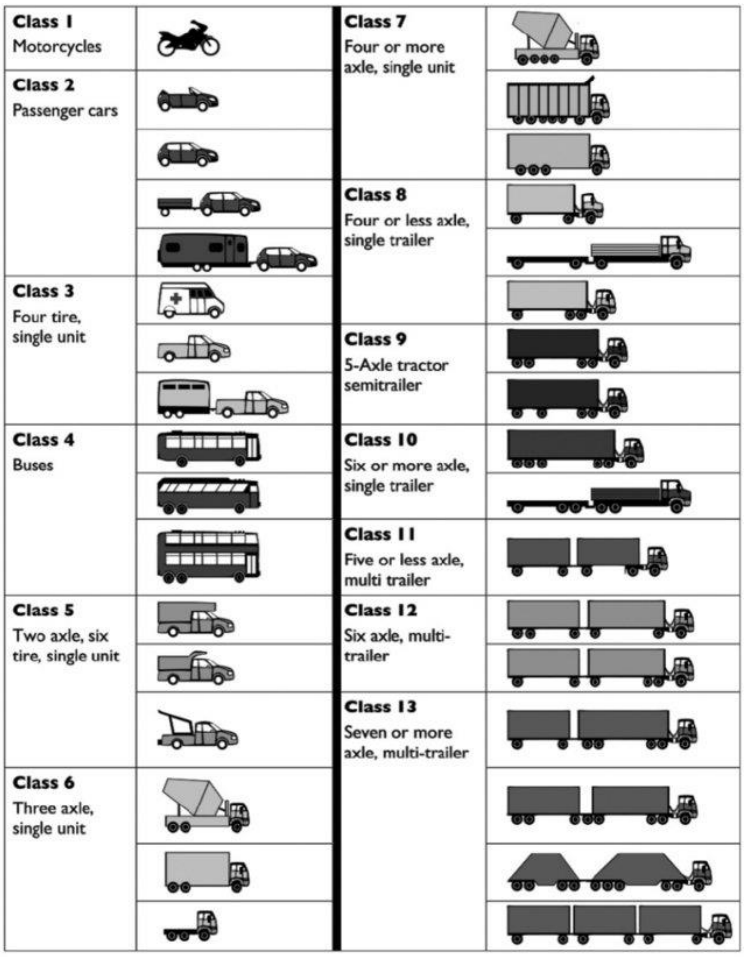
ตารางที่ 22 ค่าความเสียหายผิวทางที่คำนวณได้สำหรับรถทุกประเภท

	Section ID								
Vehicle Class	CA-1	VT-1	WA-1	IN-1	CA-2	IN-2	MB-1	IN-3	CA-3
4	0.106	0.043	0.046	0.006	0.017	0.007	0.017	0.003	0.006
5	0.004	0.001	0.005	0.001	0.002	NA	0.001	NA	NA
6	0.049	0.067	0.057	0.010	0.004	0.006	0.004	0.004	0.001
7	1.247	0.483	0.084	0.087	0.080	0.069	0.002	0.040	0.011
8	0.096	0.006	0.009	0.002	0.006	0.002	0.010	0.003	NA
9	0.090	0.049	0.066	0.014	0.008	0.008	0.017	0.032	0.014
10	0.256	0.505	0.384	0.016	0.009	0.008	0.038	0.007	0.008
11	0.064	0.135	0.126	0.033	0.012	0.025	0.005	0.013	0.005
12	0.312	0.275	0.133	0.051	0.010	0.032	0.014	0.013	0.009
13	0.591	0.308	0.460	0.022	0.033	0.028	0.092	0.041	0.007

Note: NA indicates the traffic data reported by LTPP included zero passes of this vehicle class on this test section.

ที่มา: Shady Abdelazim et al. (2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 19 การจำแนกประเภทยานพาหนะ

ที่มา: FHWA 2013

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.6.2 การวิเคราะห์ค่าความเสียหายของผิวทาง

จากการศึกษาในต่างประเทศเรื่องของต้นทุนความเสียหายของผิวทางต่อประเภทรถบรรทุก คำนวณโดยใช้กลุ่ม axle load ที่พบมากที่สุด และน้ำหนักเพลาทั่วไปในรถบรรทุกแต่ละประเภท ข้อมูลที่คำนวณและนำเสนอในตารางที่ 22 คำนวณโดยใช้การกำหนดค่าเพลาและน้ำหนักบรรทุกในปี 2009 เท่านั้น เนื่องจากมีการรวมข้อมูลการจราจรโดยละเอียดเฉพาะในปี 2009 และข้อมูลการจราจร LTPP ที่บันทึกไว้ในปีต่อๆ มาไม่มีรายละเอียดที่เพียงพอในการคำนวณต้นทุนความเสียหายของผิวทางต่อประเภทรถบรรทุก

FHWA จัดประเภทรถบรรทุกตามจำนวนเพลา ซึ่งตรงกับการจำแนกประเภทที่ใช้โดย LTPP program อัตราค่าผ่านทางหลวงที่เก็บรวบรวมบนทางด่วนมักจะขึ้นอยู่กับจำนวนเพลาที่รถบรรทุกมีมากกว่าน้ำหนักรถหรือน้ำหนักบรรทุกของเพลา อ้างอิงจาก (Zhao and Wang 2015)

ความแตกต่างของต้นทุนความเสียหายต่อไมล์อาจเกิดจากรถบรรทุกที่เพลามีการรับน้ำหนักสูงในเพลาหลัก ซึ่งเป็นประเภทเพลาที่มีจำนวนเพลาเฉลี่ยสูงสุดต่อรถบรรทุกในประเภทเดียวกัน ดังนั้นจึงเป็นการผสมผสานระหว่างน้ำหนักบรรทุกเพลา และองค์ประกอบเพลารถบรรทุก

<u>ตัวอย่างการคำนวณสำหรับส่วน WA-1</u>

เอกสารส่วนนี้นำเสนอตัวอย่างการคำนวณเพื่อแสดงให้เห็นว่าหน่วยงานขนส่งสามารถกำหนดต้นทุนความเสียหายของผิวทางสำหรับทางหลวง การคำนวณจะแสดงเป็นขั้นตอน อ้างอิงจาก (Shady Abdelazim et al., 2020)

<u>ขั้นตอนที่ 1: ค่าบำรุงรักษา (Maintenance cost)</u>

ตามข้อมูลของ LTPP ส่วน WA-1 ถูก Seal coated ในปี 2016 ต้นทุนต่อหน่วยที่สันนิษฐานของการบำรุงรักษาคือ US$2.95/ m^2 หลังจากการแปลงสกุลเงินและการปรับราคาชั่วคราว (Alberta Transportation 2013) จะได้ส่วน LTPP คือ 3.66 ม. x 46.45 ม. การประมาณค่าบำรุงรักษาในปี 2016 คือ 3.66 ม.×46.45 ม.× 2.95 ดอลลาร์/$ม^2$ = 501.5 ดอลลาร์ ค่าใช้จ่ายนี้จะถูกแปลงเป็นปี 2019 โดยสมมติว่าอัตราเงินเฟ้อ 2% ต่อปี:

- Maintenance cost (2019) = $501.5 x $(1.02)^{(2019-2016)}$ = $532.2

<u>ขั้นตอนที่ 2: ค่าฟื้นฟู/บูรณะ (Rehabilitation cost)</u>

Overlay 5.6 นิ้ว (0.14 ม.) และ 1.8 นิ้ว (0.046 ม.) ถูกนำไปใช้กับส่วน WA-1 ในปี 1997 และ 2010 ตามลำดับ ข้อมูล LTPP ปี 2010 ระบุ Asphalt Overlay mixture รวม RAP (Recycled Asphalt Pavement) เปอร์เซ็นต์ RAP 12% ถูกนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนของ Overlay ปี 2010 โดยความหนาแน่นของ HMA เท่ากับ 2,243 kg/m^3

ต้นทุน HMA คิดเป็น $39.76 / ตัน ในปี 1997 และ $88.47/ตัน ในปี 2010 ตามรายงานราคา HMA จาก อ้างอิงจาก (Caltrans 2017) น้ำหนัก HMA คือผลคูณของปริมาตร

(ความกว้างของเลน 3.66 ม. × ความยาวหน้าตัด 46.45 ม. x ความหนาของชั้น) และความหนาแน่น (2243 กก./ลบ.ม.) ซึ่งส่งผลให้มี HMA 53,385.6 กก. (5338.6 ตัน) และ 15,436.1 กก. (1543.6 ตัน) ของ HMA ที่ใช้ในการ Overlay ปี 1997 และ 2010 ตามลำดับ

- 1997 HMA Overlay Material Cost (1997) = 5,338.6 ton × $39.76/ton = $2,122.6
- 2010 HMA Overlay Material Cost (2010) = 1,543.6 ton × $88.47/ton = $1,365.6

จากการวิเคราะห์ที่ดำเนินการโดย NJDOT ต้นทุนการ Overlay HMA ทั้งหมดประมาณ 3.5 เท่าของต้นทุนวัสดุ HMA เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและต้นทุนการก่อสร้าง อ้างอิงจาก (Carnegie 2016)

- 1997 HMA Overlay Cost (2019) = (3.5 x 2,122.6) x $1.02^{(2019-1997)}$ = $11,485.3
- 2010 HMA Overlay Cost (2019) = (3.5 x 1,365.6) x $1.02^{(2019-1997)}$ = $5,072.3

<u>ขั้นตอนที่ 3: ต้นทุน M&R ทั้งหมด</u>

ค่าใช้จ่าย M&R ทั้งหมดของหมวด WA-1 คือผลรวมของการบำรุงรักษาด้วย Seal coating และการ Overlay

- Total M&R Costs (2019) = $532.2 + $11,485.3 + $5,072.3 = $17,089.8

<u>ขั้นตอนที่ 4: ค่าความเสียหายผิวทางต่อ ESAL-Mile</u>

ข้อมูล LTPP รายงาน ESAL ทั้งหมดในส่วน WA-1 เป็น 2,367,500 ต้นทุนความเสียหายของผิวทางคืออัตราส่วนของต้นทุน M&R ทั้งหมดต่อ ESAL ทั้งหมด:

- Pavement Damage Cost per ESAL (2019) = $17,089.8 ÷ 2,367,500 = $0.0072

ส่วน LTPP มีความยาว 46.45 ม. (0.029 ไมล์) ดังนั้น ค่าเสียหายผิวทางต่อ ESAL-Mile คือ:

- Pavement Damage Cost per ESAL (2019) = $0.0072 ÷ 0.029 mile = $0.248 per ESAL-mile

<u>ขั้นตอนที่ 5: ค่าความเสียหายของผิวทางแยกตามประเภทยานพาหนะ</u>

ข้อมูลการจราจรของ LTPP ระบุกลุ่มน้ำหนักบรรทุกเพลาที่พบบ่อยที่สุดในรถทุกประเภทและจำนวนเพลาโดยเฉลี่ย ข้อมูลนี้ใช้เพื่อกำหนด ESAL ทั่วไปของยานพาหนะแต่ละประเภท ตัวอย่างนี้จะแสดงการคำนวณสำหรับยานพาหนะ FHWA Class 4

การบรรทุกโดยทั่วไปสำหรับรถ Class 4 คือโหลดเพลาเดียว 10 kips และโหลดเพลาคู่ 20 kips Equivalent Axle Load Factor (EALF) สำหรับการโหลดเพลาเดียว 10 kips คือ 0.0876 ในขณะที่ EALF สำหรับโหลดเพลาคู่ 20 kips คือ 0.120576 โดยเฉลี่ยแล้วรถบรรทุก Class 4 ประกอบด้วยเพลาเดี่ยว 1.72 และเพลาคู่ 0.28

ค่าบรรทุกเพลารวมและค่าความเสียหายของผิวทางที่เกี่ยวข้องต่อ ESAL-mile สำหรับยานพาหนะ Class 4 คือ:

- Vehicle Class 4 ESALs = 0.0876×1.72 + 0.120576×0.28 = 0.1847 ESALs
- Average Pavement Damage Cost for Class 4 Vehicle (2019) = 0.1847 ESAL ×$0.248/ESAL-mile = $0.0458 per ESAL-mile

2.6.2.1 การวิเคราะห์ค่าความเสียหายผิวทาง ในรัฐเท็กซัส

ผลการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า การจัดเก็บค่าธรรมเนียมที่รัฐบังคับใช้อยู่ในปัจจุบัน ไม่เพียงพอกับมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวทางจากการบรรทุกน้ำหนักเกินกว่าที่กำหนด และเสนอแนวทางการปรับค่าธรรมเนียมที่มาจากการนำข้อมูลจราจรจริงที่ผ่านมาและผลการวิเคราะห์การสึกหรอของโครงสร้างทาง โดยมีหลักการในการวิเคราะห์คำนวณอัตราค่าธรรมเนียมดังนี้

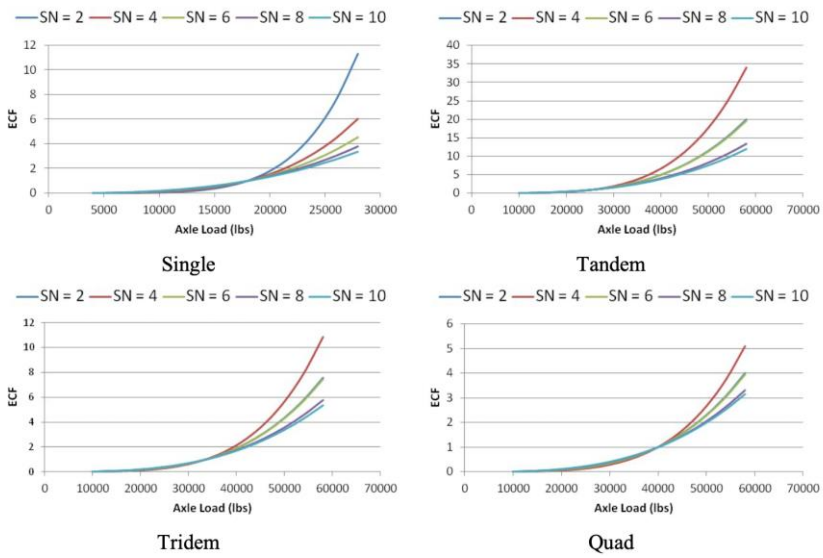
- ใช้ AASHTO Mechanistic Empirical Pavement Design Guide วิเคราะห์โครงสร้างผิวทางแต่ละหน้าตัดโดยพิจารณาความเสียหาย 3 รูปแบบคือ การยุบตัวเป็นร่องล้อ (Rutting) การแตกร้าว (Fatigue cracking) และความขรุขระสากลของผิวทาง (IRI) ที่เกิดจากน้ำหนักเพลาแบบต่าง ๆ และปริมาณน้ำหนักต่าง ๆ
- Equivalent Consumption Factor (ECF)

$$ECF = T18 / TL$$

T18 = time to failure under “N” repetitions of a standard 18-kip axle

TL = time to failure under “n” repetitions of any given axle load “L”

จากการวิเคราะห์ Mechanistic Empirical Design ภายใต้สภาพแวดล้อมของรัฐเท็กซัส เกณฑ์ความเสียหาย 3 รูปแบบคือ rut depth 0.5นิ้ว fatigue cracking 10% และ IRI 125 inches/mile ที่ระยะเวลา 20 ปี และสามารถคำนวณ ECF สำหรับผิวทางแอสฟัลต์ ผิวทางคอนกรีต และผิวทางแบบฉาบผิว (Surface Treated Pavement) รายละเอียดดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 การวิเคราะห์ค่า ECF โดยอาศัยข้อมูลความลึกร่องล้อบนผิวทางลาดยางแยกตามประเภทของเพลา

ที่มา: : Prozzi et al. (2012)

- คำนวณค่าก่อสร้างผิวทางสำหรับหน้าตัดโครงสร้างทางแบบต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลค่าก่อสร้างต่อหน่วยจากโครงการก่อสร้างที่ผ่านมาในรัฐ จากผลการวิเคราะห์ประมาณอัตราค่าธรรมเนียม ได้เสนอค่าเฉลี่ยธรรมเนียมน้ำหนักบรรทุกส่วนเกินจากพิกัดที่กฎหมายกำหนดไว้ที่
    - 3.7 cents/ESAL/mile สำหรับผิวทางคอนกรีต และ
    - 2.9 cents/ESAL/mile สำหรับผิวทางแอสฟัลต์
- การตั้งค่าปรับรถบรรทุกเกินน้ำหนักอย่างผิดกฎหมายที่ต่ำเกินไป (110US$) ทำให้มีการเสี่ยงละเมิดกฎหมาย หรือยอมจ่ายค่าปรับก็ยังคุ้มต่อการเดินรถ
- มีอุบัติเหตุที่ทำให้สูญเสียทรัพย์สิน (ทางหลวง สะพาน) การบาดเจ็บและเสียชีวิตของผู้ใช้ถนนที่เกิดจากรถขนาดเกินพิกัด จึงควรพิจารณาค่าธรรมเนียมในส่วนที่ต้องใช้งบประมาณในการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานเดิมให้รองรับกับรถที่เกินพิกัดขนาดด้วย
- การนำข้อมูลการใช้งานรถบรรทุกในปีงบประมาณ 2011 มาทดลองวิเคราะห์การจัดเก็บค่าธรรมเนียมแบบที่เสนอเทียบกับการจัดเก็บค่าธรรมเนียมแบบเดิม พบว่าในปีงบประมาณได้มีการเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุก OS/OW จริงได้ 111 ล้านเหรียญสหรัฐ ถ้าใช้แนวทางที่เสนอจะเก็บค่าธรรมเนียมได้ถึง 521 ล้านเหรียญสหรัฐ

2.6.2.2 การวิเคราะห์ค่าความเสียหายผิวทาง Banerjee และ Prozzi (2015)

Banerjee และ Prozzi (2015) ระบุว่า Texas Department of Motor Vehicles ได้มีการจัดเก็บค่าธรรมเนียมทั้งในส่วนที่เป็นรถที่มีขนาดใหญ่เกินมาตรฐาน (Oversize) และรถบรรทุกเกินมาตรฐาน (Overweight) แต่ที่ผ่านมามีข้อจำกัดซึ่งไม่สะท้อนการใช้งานจริง เช่น ไม่ได้คำนวณระยะทางในการเดินทาง VMT (Vehicle Miles Travel) จึงมีการศึกษาโครงสร้างของค่าธรรมเนียมบรรทุกน้ำหนักเกินโดยใช้พื้นฐานอายุการใช้งานเป็นหลัก โดยจัดสรรงบประมาณค่าซ่อมบำรุงและค่าก่อสร้างโดยมุ่งเน้นพิจารณา usage-based การวิเคราะห์โดยใช้หลักการ Load Equivalency Factor (LEF) และประยุกต์ใช้เป็น Equivalent Consumption Factor (ECF) รายละเอียดดังตารางที่ 23 สำหรับเกณฑ์ในการพิจารณาคือ ความลึกร่องล้อเกินกว่า 0.5 นิ้ว พื้นที่ความเสียหายประเภทรอย

แตกร้าวมากกว่า 100% หรือ IRI เกินกว่า 125 นิ้ว/ไมล์ รายละเอียดการวิเคราะห์ดังตาราง 24 โดยมีการจัดเก็บค่าธรรมเนียมแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ 80 – 120 kips, 120 – 160 kips, 160 – 220 kips และ 200 – 255 kips

ตารางที่ 23 แบบจำลองการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพโดยใช้หลักการ Load Equivalency Factor (LEF)

Distress Mechanism	Model	GEF, by Axle Type: Tandem	Tridem	Quad
Flexible Pavements				
Rutting	$\ln(\mathrm{ECF}) = \left(e^2 \times \mathrm{SN}^{-0.43}\right) \times \ln\left(\frac{W_L}{\mathrm{GEF} \times W_{18}}\right)$ [single axles]	1.44	1.87	2.22
	$\ln(\mathrm{ECF}) = \left(0.26\mathrm{SN}^{4.45} e^{-\mathrm{SN}^{1.09}} + 3.04\right) \times \ln\left(\frac{W_L}{\mathrm{GEF} \times W_{18}}\right)$ [tandem and higher]			
Cracking	$\ln(\mathrm{ECF}) = (-0.5n + 5.72) \times \ln\left(\frac{W_L}{\mathrm{GEF} \times W_{18}}\right)$	1.89	2.59	3.10
Roughness	$\mathrm{ECF} = e^{0.703 \times \left(\frac{W_L}{\mathrm{GEF} \times W_{18}} - 1\right)}$ [single axles]	1.57	2.21	2.41
	$\mathrm{ECF} = e^{0.945 \times \left(\frac{W_L}{\mathrm{GEF} \times W_{18}} - 1\right)}$ [tandem and higher]			
Rigid Pavements				
Punchout	$\ln(\mathrm{ECF}) = 3.27 \times \ln\left(\frac{W_L}{\mathrm{GEF} \times W_{18}}\right)$	1.38	2.14	3.08
Roughness	$\ln(\mathrm{ECF}) = 1.46 \times \left(\frac{W_L}{\mathrm{GEF} \times W_{18}} - 1\right)$	1.57	2.18	2.76

ที่มา: Ambarish Banerjee and Jorge A. Prozzi (2015)

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์การจัดเก็บค่าธรรมเนียมหลักการ Load Equivalency Factor (LEF)

Weight Class (kips)	Configuration	Pavement Rate ($/mi)	Bridge Rate ($/mi)	Composite Rate ($/mi)	VMT–Texas PROS (mi)[a]	Proposed Fee ($)	Highway Maintenance Fee FY 2011 ($)
80–120	15-kip steering + 45-kip tandem + 60-kip tridem[c] = 11.5 ESAL	0.347	0.231[b]	0.58	9 (minimum) 244 (average) 672 (maximum)	5.22 142 390	150
120–160	15-kip steering + 2 No. 42.5-kip tandem + 60-kip tridem[c] = 14.6 ESAL	0.494	0.377[b]	0.87	5 (minimum) 111 (average) 492 (maximum)	4.35 96.6 428	225
160–200	15-kip steering + 3 No. 42-kip tandem + 59-kip tridem[c] = 17.97 ESAL	0.648	0.485[b]	1.13	14 (minimum) 91 (average) 357 (maximum)	15.8 103 403	300
200–255	15-kip steering + 4 No. 60-kip quad[c] = 22.59 ESAL	0.861	0.896[b]	1.76	132 (minimum) 464 (average) 812 (maximum)	232 817 1,429	375

NOTE: Legal load (ESAL) = 3.97; unit cost for pavements = 3.7¢/mi/ESAL; Texas PROS = Texas Permitting–Routing Optimization System.
[a]VMT information for OW trucks is based on summary statistics obtained from Texas Department of Motor Vehicles OS-OW database.
[b]Consumption rate for bridges is beyond scope of study and its details can be found elsewhere (*14*).
[c]Representative axle configuration chosen corresponding to individual weight categories was also based on statistics obtained from OS-OW database.

ที่มา: Ambarish Banerjee and Jorge A. Prozzi (2015)

2.6.2.3 การวิเคราะห์ความเสียหายต่อถนน Dey และคณะ (2014)

ในการศึกษาของ Dey และคณะ (2014) ได้อธิบายว่า FHWA ได้มีการเก็บข้อมูล Vehicle Miles Traveled (VMT) ระหว่างปี ค.ศ. 1990 ถึง 2003 โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.32 ต่อปี ในขณะเดียวกันรถบรรทุกมีอัตราเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 3.06 ต่อปี และได้ประมาณการว่าการขนส่งทางบกจะมีอัตราเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 72 ระหว่างปี ค.ศ. 2008 ถึง ค.ศ. 2035 และในปี ค.ศ. 1993 ได้มีนโยบายในการเปิดชายแดนระหว่างการขนส่งสินค้าระหว่างรัฐ Texas และ Mexico ซึ่งจากนโยบายดังกล่าวทาง Texas ประมาณการว่าต้องใช้เงินมากกว่า 7.7 พันล้านเหรียญสหรัฐ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถนนและสะพานเพื่อรองรับรถบรรทุกจากทาง Mexico ซึ่งความเสียหายของผิวทางเป็นในลักษณะของกราฟ Exponential เมื่อเทียบกับอัตราการเพิ่มขึ้นของ Axle Load (รถบรรทุก 1 คันที่วิ่งผ่านอาจจะมีค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลนับพันคันที่วิ่งผ่าน) จากการศึกษาที่ Ontario พบว่าความเสียหายของผิวทางเนื่องจากรถบรรทุกจะมีความเสียหายหนักเมื่อวิ่งบนถนนเส้นรองมากกว่าถนนเส้นหลัก โดยถนนเส้นหลักมีค่าความเสียหายที่ 0.004 เหรียญสหรัฐต่อ 1 กิโลเมตรแต่ในขณะเดียวกันมีค่าเท่ากับ 0.46 เหรียญสหรัฐเมื่อวิ่งบนถนนสายรอง และมีการประเมินอายุการใช้งานของถนนลดลงร้อยละ 50 เมื่อมีการสัญจรของรถบรรทุกน้ำหนักเกินโดยปรากฏอยู่ในรูปแบบความเสียหายชนิดร่องล้อ และการศึกษาของ Arizona พบว่าทุก 1 เหรียญสหรัฐที่ลงทุนเกี่ยวกับหน่วยเคลื่อนที่เพื่อบังคับใช้กฎหมายด้านน้ำหนักบรรทุกจะช่วยประหยัดงบประมาณซ่อมบำรุง 4.50 เหรียญสหรัฐ การศึกษาของ Michigan พบว่า Single Tandem axle ส่งผลกระทบให้เกิดความเสียหายประเภทรอยแตกร้าวมากกว่า Multiple Axle แต่ในทางกลับกันจะพบความเสียหายประเภทร่องล้อมากกว่า แต่ไม่มีนัยสำคัญของทั้งสองประเภทต่อความขรุขระของถนน

ดังนั้นจึงมีการการประเมินความเสียหายของผิวทางอันเนื่องมากจาก Overweight Truck เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าธรรมเนียมที่ภาครัฐได้ดำเนินการจัดเก็บ โดยการวิเคราะห์จะใช้พื้นฐานตามสมมติฐานของ Ohio DOT โดยมุ่งเน้นผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตเป็นหลัก โดยคำนวณความเสียหายของผิวทางอ้างอิง ESAL สมมติฐานว่ารถบรรทุกร้อยละ 8.3 ของจำนวนรถบรรทุกแต่ละ

ประเภทจะบรรทุกน้ำหนักสูงสุดตามกฎหมายกำหนด โดยการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 Scenarios ดังนี้

- S1 ไม่มีรถบรรทุกวิ่งในโครงข่าย
- S2 ไม่มี OW วิ่งในโครงข่าย
- S3 มี OW วิ่งในโครงข่ายร้อยละ 8.3

การวิเคราะห์อ้างอิง The Mechanistic – Empirical Design Guide ในการวิเคราะห์โดยกำหนดสมมติฐานอายุการใช้งานเท่ากับ 20 ปี และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรร้อยละ 2 ดังนี้

$$\textit{design ESALs} = \textit{AADTT} \times \frac{(1+r)^n - 1}{r} \times f_d \times f_l \times 365 \times \textit{ESAL factor}$$

f_d = directional distribution factor (0.5),
f_l = lane distribution factor (0.95),
ESAL = 18-kip equivalent single axle loads,
r = annual growth rate (2%), and
n = design life (20 years).

จากการวิเคราะห์พบว่า OW ในอัตราร้อยละ 8.3 จากปริมาณรถบรรทุกหนักปกติส่งผลให้มูลค่าทดแทนถนน (Replacement Costs) สูงกว่า 1.1 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยสามารถกระจายออกเป็นกลุ่ม ๆ ดังต่อไปนี้

- ยานพาหนะทุกประเภท 0.0078 เหรียญสหรัฐต่อไมล์
- รถบรรทุกทุกประเภท 0.1839 เหรียญสหรัฐต่อ ESAL ต่อ ไมล์
- รถบรรทุก OW 0.0313 เหรียญสหรัฐต่อ ESAL ต่อ ไมล์

สรุปได้ว่าการคำนวณหาค่าความเสียหายผิวทางที่เกิดจากยานพาหนะเป็นหนึ่งในวิธีที่ต่างประเทศนำมาใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์และประเมินค่าธรรมเนียมใบอนุญาตรถบรรทุกอย่างมีหลักการ เนื่องด้วยปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างทางซึ่งเป็นหนึ่งในแนวโน้มที่มาจากการใช้งานของรถบรรทุกหนัก นอกเหนือจากกรณีดังกล่าวการเก็บค่าธรรมเนียมในประเทศ

จีนยังใช้เรื่องของมลพิษที่ปล่อยจากรถบรรทุกมาเป็นตัวแปรในการคิดค่าธรรมเนียมเพิ่มเติมดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ ปัจจัยภายนอกที่มีผลกับค่าธรรมเนียม

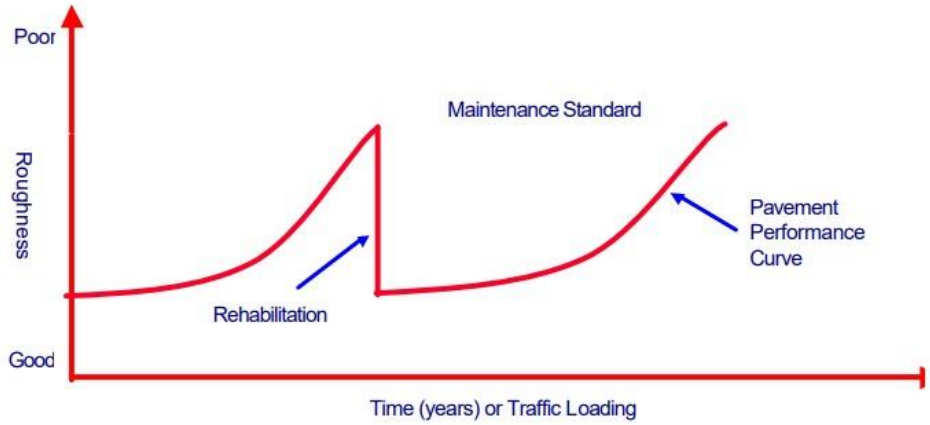
2.6.3 HDM 4 กับการคาดการณ์ความเสียหาย

ระบบ HDM4 (Highway Development and Management System) คือ โปรแกรมบริหารจัดการงบประมาณอย่างมีหลักวิชาการ โดยอาศัยหลักการของระบบการบริหารบำรุงทางหลวงแบบครบวงจร คือ มีความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการ โดยแบ่งตามลำดับขั้นตอนการบริหารจัดการสายทาง ดังนี้

- ขั้นตอนการวางแผน (Planning Processing) คือ ขั้นตอนการวางแผนระดับนโยบายของ ผู้บริหารระดับสูง โดยครอบคลุมระบบยุทธศาสตร์ระบบโครงข่ายสายทาง และระบบบริหารงานบำรุงทาง
- ขั้นตอนการกำหนดแผนงาน (Programming Processing) คือ ขั้นตอนการจัดลำดับ ความสำคัญของสายทาง การจัดสรรงบประมาณ และการกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงทั้งในระยะสั้น และ ระยะยาว
- ขั้นตอนการเตรียมการดำเนินงาน (Preparation Processing) คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ ประเมินค่าโครงการบำรุงทางหลวงในแต่ละทางเลือก โดยอาศัยการประมาณค่าทางเศรษฐศาสตร์และ ทางด้านวิศวกรรม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละโครงการ
- ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Operations processing) คือ ขั้นตอนการจัดการโครงการด้าน บริหารงานบำรุงทาง ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์ด้านการเงินและบัญชีเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานเป็นไปตามที่วางแผนไว้ตามระบบ HDM4

ระบบ HDM4 คำนึงถึงสภาพผิวทางตลอดอายุการใช้งาน ได้แก่ การเสื่อมสภาพของผิวทาง กล่าวคือ ลักษณะความเสียหายของผิวทางที่เกิดจากการใช้งานไปได้ในระยะเวลาหนึ่ง เช่น การเกิดรอยร้าว ร่องล้อ และหลุมบ่อ เป็นต้น โดยสามารถอธิบายในรูปของความขรุขระของผิวทาง (Roughness) และ อายุการใช้งานหรือปริมาณงานจราจร (Time or traffic loading) ดังรูปที่ 21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อถนนใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่งจะส่งผลให้ค่าความขรุขระเพิ่มขึ้นหรือผิวถนนมีสภาพแย่ขึ้น จนถึงระดับมาตรฐานที่จำเป็นต้องบำรุงรักษาทาง (Maintenance Standard) ในที่นี้อยู่ที่แต่ละหน่วยงานจะกำหนดจุดที่ควรบำรุงรักษา และเมื่อทำการบูรณะผิวทาง (Rehabilitation) ถนนจะกลับมาอยู่ในสภาพพร้อม

ใช้งานอีกครั้งหรือค่าความขรุขระอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปได้ระยะหนึ่ง ถนนก็จะเริ่มเสื่อมสภาพอีกครั้งจึงจำเป็นต้องกลับไปเริ่มกระบวนการบำรุงรักษาอีกครั้ง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความ ขรุขระผิวทาง ได้แก่ ความแข็งแรงโครงสร้างทาง ปริมาณจราจร ความเสียหายผิวทาง และสภาพแวดล้อม



รูปที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระผิวทางกับระยะเวลาที่ถนนถูกใช้งาน

จากการศึกษาของ Sanchit Anand และคณะ (2021) มีการนำ HDM-4 มาช่วยวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของผิวทางในชนบท โดยศึกษารูปแบบการเสื่อมสภาพของผิวทางทั้ง 5 รูปแบบที่มีใน HDM-4 คือ Cracking, Ravelling, Edge break, Rutting และ Potholes ในช่วงระยะเวลา 15 ปี (2021-2036)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

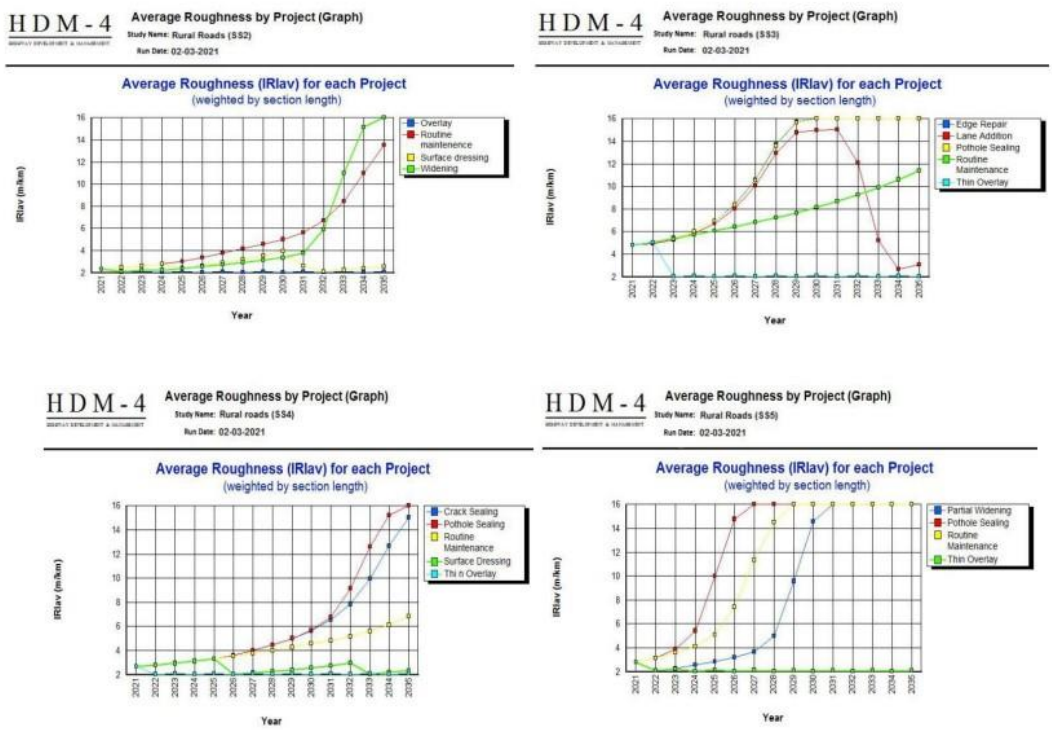
ตารางที่ 25 แสดงการเสื่อมสภาพของผิวทาง

Pavement Deterioration Projection by Project								
Sections	Projection Year	AADT	IRI (m/km)	Cracking %	Raveling%	Edge break(sqm)	Rut Depth(mm)	Number of Potholes
SS2	2021	3564	2.330	10.225	6.107	14.880	19.720	0.340
	2025	4758	3.025	35.855	59.807	0	20.862	58.370
	2030	6833	4.877	71.543	23.492	0	22.492	0
	2035	9809	13.560	78.205	0.566	0	24.360	470.165
SS3	2021	695	4.620	19.810	11.895	44.670	2.840	1.620
	2025	929	5.880	95.290	3.820	8.410	4.890	90.310
	2030	1334	7.935	98.750	0	17.400	7.930	136.470
	2035	1915	11.145	97.825	0	36.180	11.100	182.465
SS4	2021	775	2.650	7.100	4.775	17.940	3.425	0.355

	2025	1035	2.310	34.175	57.88	21.475	5.185	14.345
	2030	1485	4.555	78.885	12.865	29.600	7.735	0
	2035	2132	6.825	91.735	0.010	91.920	10.630	143.175
SS5	2021	2073	2.770	12.955	37.130	30.900	3.490	0.820
	2025	2769	5.115	87.980	0	154.650	5.690	188.305
	2030	3975	16	77.610	0	270	9.040	658.575
	2035	5706	16	75.880	0	270	12.475	917.670

ที่มา: Sanchit Anand et al (2021)

จากการศึกษานี้สามารถคาดการณ์ผลกระทบจากการเสื่อมสภาพที่แสดงให้เห็นถึงความแปรผันในแนวโน้มของความหยาบเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2021 ถึงปี 2036 โดยกราฟแสดง ดังรูปที่ 22 เป็นการแสดงให้เห็นทางเลือกที่ชัดเจน เช่น การซ่อมแซมขอบ การเพิ่มเลน การปิดหลุมบ่อ การบำรุงรักษาเป็นประจำ โดยที่มีการนำ Thin Overlay และ Overlay มาเป็นกลยุทธ์ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ เนื่องจากการประมาณการความหยาบผิวทางน้อยที่สุดภายในปี 2036



รูปที่ 22 แสดงค่าความหยาบเฉลี่ยในปี 2021-2036

2.6.4 ค่า IRI กับการประเมินสภาพความเสียหาย

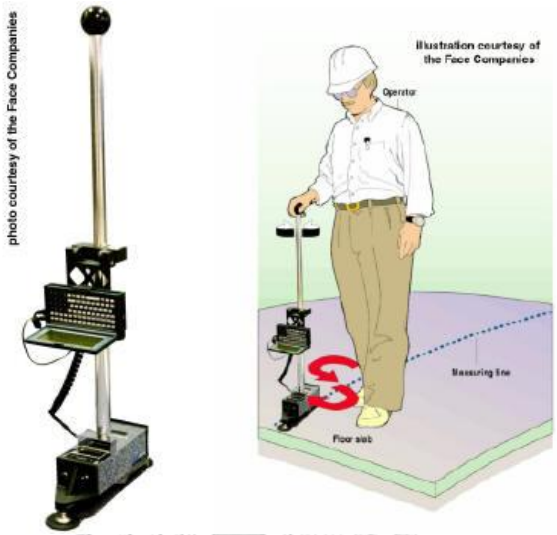
ค่าดัชนีความเรียบสากลของพื้นผิวทาง หรือ IRI ตัวแปรที่บ่งชี้ถึงความเรียบของผิวถนนโดยหน่วยที่ใช้เป็น m/km โดยที่ข้อมูลได้จากการสำรวจของหน่วยงานส่วนกลางที่มาทำการสำรวจเส้นทางให้กลับกรมทางหลวง/แขวงการทางของแต่ละปีงบประมาณ ค่า IRI ที่ได้มานั้นจะนำไปวิเคราะห์กับข้อมูลความเสียของโครงสร้างทางและประเมินรูปแบบการซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งในปัจจุบันการวัดค่าสามารถจำแนกวิธีการตรวจสอบค่า IRI ได้ดังนี้ อ้างอิงจาก (โครงการศึกษาปรับปรุงโปรแกรมบริหารงานบำรุงรักษา และโครงการสำรวจสภาพผิวทางคอนกรีตสำนักบริหารบำรุงทางกรมทางหลวง)

- Laser Profilometer โดยข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์เลเซอร์ ลักษณะข้อมูลเป็นค่าต่อเนื่อง ตลอดระยะทางการสำรวจเมื่อรถตำรวจวิ่งสำรวจข้อมูล ด้วยความเร็วประมาณ 30 ถึง 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำให้การตรวจสอบสภาพทางเป็นไปอย่างรวดเร็ว ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเป็นมาตรฐานสากล มีความละเอียดแม่นยำ
- Bump Integrator (BI) โดยอุปกรณ์ Bump Integrator เป็นเพลาหลังเดี่ยวควบคุมการสั่นสะเทือนสองล้อ (Solid Rear Axle) การติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator จึงทำการติดตั้ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาท้ายของยานพาหนะ

รูปที่ 23 การวัด IRI โดยใช้ Bump Integrator

- เครื่องวัด SSI Walking Profiler เป็นเครื่องมือที่ มีความสามารถในการหา Relative Profile ระหว่างความสูง ความชัน และระยะทาง โดยสามารถเก็บข้อมูลได้ทุกๆ 25 มิลลิเมตร

- เครื่อง Dipstick ใช้หลักการตรวจวัดค่าความแตกต่างของขาทั้งสองข้าง เครื่องมือชนิดนี้จะให้ความละเอียดในการตรวจวัดสูงมากจัดอยู่ในระดับชั้นเดียวกันกับ Laser Profiler แต่ ต้องใช้วิธีการเดินตรวจวัดด้วยกำลังคน



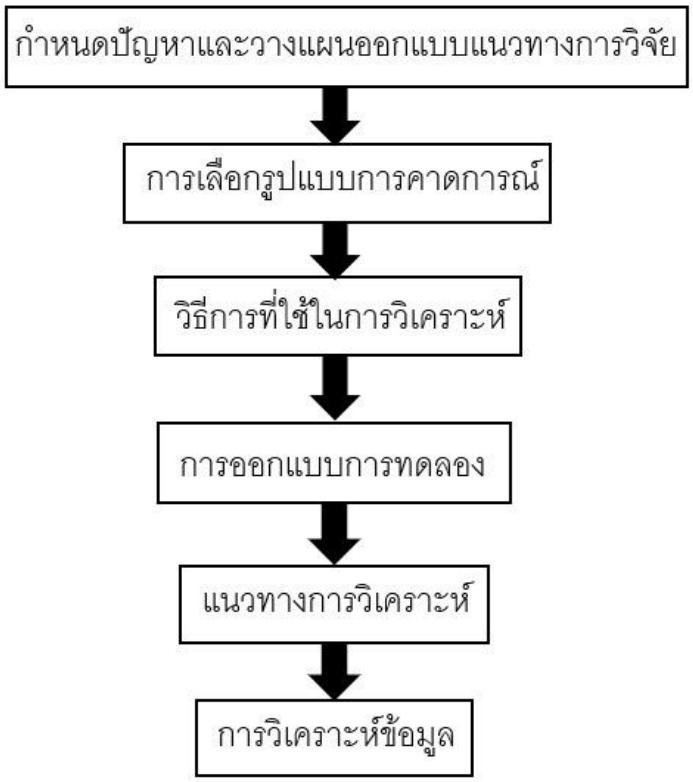
รูปที่ 24 Dipstick 2000 และ การทำงานของ Dipstick

ทั้งนี้การปล่อยให้ค่า IRI สูงเกินกว่าจุดที่ควรจะบำรุงรักษาจะทำให้ส่งผลต่อกระบวนการในการแก้ไขและฟื้นฟู กล่าวคือแทนที่จะเสียงบประมาณในการ Overlay หรือการ Seal กลับเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายมหาศาลให้การรื้อทางเพื่อสร้างใหม่ สรุปได้ว่าค่า IRI นอกจากจะบ่งชี้ความสมบูรณ์ของสภาพพื้นผิวถนนแล้วยังเป็นตัวแปรที่ช่วยชี้วัดความเหมาะสมในการเลือกรูปแบบวิธีการบำรุงรักษาทาง

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานที่มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยและตัวแปรที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพและการชำรุดเสียหายของโครงสร้างทาง รวมถึงการวิเคราะห์หาอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกที่ครอบคลุมค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงรักษาโครงสร้างทางเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมผิวทางที่เกิดจากการใช้งานของรถบรรทุกหนัก เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องก่อนเริ่มดำเนินงานวิจัยเพื่อให้ทราบถึงปัจจัย ความสัมพันธ์ และพฤติกรรมต่างๆที่เกิดขึ้น

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเริ่มจากกำหนดปัญหาและวางแผนออกแบบแนวทางการวิจัย ขั้นตอนที่สองการเลือกรูปแบบการคาดการณ์ ขั้นตอนที่สามวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ขั้นตอนที่สี่แนวทางการวิเคราะห์ และขั้นตอนสุดท้ายคือการวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 25 ผังลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การกำหนดปัญหาและการวางแผนออกแบบแนวทางการวิจัย

จากการศึกษาทบทวนเอกสารและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องพบว่าในต่างประเทศมีการศึกษาทดลอง และปรับปรุงคุณภาพงานวิจัยเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงตามสภาพแวดล้อมของประเทศนั้นๆ อีกทั้งในประเทศไทยเองยังไม่มีการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมจากรถบรรทุกหนัก จึงเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาและเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

โดยเริ่มจากการวางแผนและออกแบบขั้นตอนงานวิจัยโดยการกำหนดพื้นที่การศึกษาโดยใช้แนวโน้มของพื้นที่ เส้นทาง และประเภทยานพาหนะที่ผ่านสถานีชั่งน้ำหนัก (Weight Station) รวมถึงการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่มีผลเชื่อมโยงกันในด้านของการเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างทางเพื่อนำไปสู่การคิดค่าความเสียหายผิวทาง และค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนัก

ด้วยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนักรวมไปถึงการเลือกใช้ตัวแปรที่มีผลกับความเสียหายโครงสร้างทาง เช่น ค่าดัชนีความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI), ความลึกร่างล้อ (Rut Depth), รอยร้าว (Cracking) และรอยปะซ่อม (Skin Patching) โดยที่รอยปะซ่อมนี้เป็นผลจากความเสียหายทุกรูปแบบที่เป็นจุด ตัวอย่างเช่น ผิวหลุดร่อน รอยแตกร้าว เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาคาดการณ์ความเสียหายโดยใช้วิธี HDM-4 (Highway Development and Management System 4) โดยในส่วนของข้อมูลประเภทรถบรรทุก จำนวนรถได้ข้อมูลจากระบบ WIM (Weight in Motion System) จากสำงานควบคุมน้ำหนักยานพาหนะ กรมทางหลวง

การเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ความเสียหายด้วย HDM-4 นั้นเพราะว่ากรมทางหลวงของประเทศไทยได้มีการใช้งาน ปรับปรุงและพัฒนาเรื่อยมา จนพัฒนามาถึงปัจจุบันที่มีเกณฑ์มาตรฐานงานซ่อมบำรุง การวางแผนการซ่อมบำรุงระยะสั้น (ทุกๆ 1 ปี) ระยะกลาง (ทุกๆ 3 ปี) และระยะยาว (ทุกๆ 5 ปี) ไปจนถึงการวางแผนการซ่อมบำรุงด้วยการใช้การคาดการ์ความเสียหายในอนาคต

ทั้งนี้การวิเคราะห์ความเสียหายโดยใช้วิธี HDM-4 นี้เพื่อให้เกิดการคาดการณ์ค่า IRI ในอนาคต ,การวางแผนการซ่อมบำรุง ,ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น และการนำไปคิดเป็นค่าก่อสร้างได้รวมถึงช่วยเพิ่มรูปแบบในการตัดสินใจในการเลือกใช้งานเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงในประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 การเลือกรูปแบบการคาดการณ์และการประมาณการ

การศึกษาครั้งนี้กำหนดรูปแบบในการวิเคราะห์ คาดการณ์และประมาณการ ออกเป็น 4 รูปแบบ เพื่อให้ครอบคุมผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานของรถบรรทุก ดังนี้

3.2.1 การคาดการณ์ความเสียหายที่เกิดขึ้น

กำหนดตัวแปรที่ใช้กำหนดประเภทของความเสียหายเป็น 4 กลุ่ม ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

3.2.1.1 ร่องล้อ (Rut Depth)

แบบจำลองการคาดการณ์ความลึกร่องล้ออยู่บนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน ดังนี้

- <u>ขั้นตอนที่ 1 Initial densification</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์ร่องจากความหนาแน่นเริ่มต้น โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)
- <u>ขั้นตอนที่ 2 Structural deformation</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นโดยรวมในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.) เพื่อนำไปพิจารณาร่องที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสียรูปของโครงสร้างโดยไม่เกิดการแตกร้าวในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.) และ ร่องที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสียรูปของโครงสร้างหลังจากการแตกร้าวในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)
- <u>ขั้นตอนที่ 3 Plastic deformation</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์การเสียรูปแบบ Plastic ที่เพิ่มขึ้นในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)
- <u>ขั้นตอนที่ 4 Wear from studded tyres</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์ความลึกของร่องที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากยางแบบมีปุ่มในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.1.2 ค่าดัชนีความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI)

กำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อเรียบของผิวทางออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

- <u>ขั้นตอนที่ 1 โครงสร้าง (Structural)</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพของโครงสร้างในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น IRI เมตร/กิโลเมตร (IRI m/km) และการปรับ SN (Structure number) ของผิวทางเนื่องจากการแตกร้าว ณ สิ้นปีที่วิเคราะห์
- <u>ขั้นตอนที่ 2 รอยร้าว (Cracking)</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการแตกร้าวระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น IRI เมตร/กิโลเมตร (IRI m/km)
- <u>ขั้นตอนที่ 3 ร่อง (Rutting)</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากร่องในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น IRI เมตร/กิโลเมตร (IRI m/km)
- <u>ขั้นตอนที่ 4 หลุมบ่อ (Potholing)</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากหลุมบ่อในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น IRI เมตร/กิโลเมตร (IRI m/km)
- <u>ขั้นตอนที่ 5 สิ่งแวดล้อม (Environment)</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพแวดล้อมในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น IRI เมตร/กิโลเมตร (IRI m/km)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.1.3 รอยปะซ่อม (Skin Patching)

กำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อความเสียหายให้รูปแบบการปะซ่อมออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.2.1.3.1 หลุดร่อน (Ravelling)

แบบจำลองการหลุดร่อนแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- <u>ขั้นตอนที่ 1 Initiation</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์ระยะเวลาที่เริ่มเกิดความเสียหายในรูปแบบหลุดร่อนโดยมีหน่วยเป็นปี (year)
- <u>ขั้นตอนที่ 2 Progression</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่กับการหลุดร่อนระหว่างปีที่วิเคราะห์ (% ของพื้นทางทั้งหมด)

3.2.1.3.2 หลุมบ่อ (Potholing)

แบบจำลองหลุมบ่อแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- <u>ขั้นตอนที่ 1 Initiation</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์ระยะเวลาระหว่างการเริ่มต้นหลุดร่อนและการเริ่มต้นของหลุมบ่อ โดยมีหน่วยเป็นปี (year)
- <u>ขั้นตอนที่ 2 Progression</u>
  ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคาดการณ์จำนวนหลุมบ่อที่เพิ่มขึ้นต่อกิโลเมตร ในระหว่างปีการวิเคราะห์

3.2.1.4 รอยร้าว (Cracking)

กำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อการแตกร้าวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.2.1.4.1 การแตกร้าวจากโครงสร้าง (Structural cracking)

ในส่วนนี้คือการแตกร้าวที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักที่มากระทำ อายุของสายทาง และสภาพแวดล้อม แบบจำลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- <u>ขั้นตอนที่ 1 Initiation</u>

  ในขั้นตอนนี้เป็นการคาดการณ์ระยะเวลาเริ่มต้นของรอยแตกร้าวโครงสร้างทั้งหมด โดยมีหน่วยเป็นปี (year) และนำไปใช้คาดการณ์ระยะเวลาเริ่มต้นที่เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างตามแนวกว้าง โดยมีหน่วยเป็นปี (ปี)

- <u>ขั้นตอนที่ 2 Progression</u>

  ในขั้นตอนนี้เป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของการแตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมดในระหว่างปีที่วิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด) และนำไปใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในบริเวณรอยแตกของโครงสร้างตามแนวกว้างระหว่างปีวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

3.2.1.4.2 การแตกร้าวด้วยความร้อนตามแนวขวาง (Transverse thermal cracking)

- <u>ขั้นตอนที่ 1 Initiation</u>

  ในขั้นตอนนี้เป็นการคาดการณ์การระยะเวลาที่การเกิดรอยร้าวจากความร้อนตามขวาง โดยมีหน่วยเป็นปี (year)

- <u>ขั้นตอนที่ 2 Progression</u>

  ในขั้นตอนนี้เป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของจำนวนการแตกร้าวจากความร้อนตามขวางระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น n^{o}/km

3.2.2 การคาดการณ์การซ่อมบำรุงในอนาคต

กำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อการซ่อมบำรุงเป็น 3 ส่วน ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

3.2.2.1 ปะซ่อม (Patching)

แบบจำลองการคาดการณ์การซ่อมบำรุงจากการปะซ่อมแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- <u>ขั้นตอนที่ 1 หลุมบ่อ (Potholing)</u>

  ในขั้นตอนนี้เป็นการคาดการณ์พื้นที่หลุมบ่อก่อนงานปะซ่อม (% พื้นที่ทางทั้งหมด) และพื้นที่หลุมบ่อ ณ สิ้นปี (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

- <u>ขั้นตอนที่ 2 หลุดร่อน (Ravelling)</u>
  ในขั้นตอนนี้เป็นการคาดการณ์พื้นที่หลุดร่อนก่อนงานปะซ่อม (% พื้นที่ทางทั้งหมด) และ พื้นที่หลุดร่อน ณ สิ้นปี (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)
- <u>ขั้นตอนที่ 3 ความกว้างของรอยร้าวโครงสร้าง (Wide structural cracking)</u>
  ในขั้นตอนนี้เป็นการคาดการณ์พื้นที่ความกว้างของรอยแตกร้าวโครงสร้างก่อนงานปะ (% พื้นที่ทางทั้งหมด) และ พื้นที่ความกว้างของรอยแตกร้าวโครงสร้าง ณ ปลายปี (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

3.2.2.2 ปิดรอยแตกร้าว (Crack sealing)

ในส่วนนี้จะเป็นการคาดการณ์การพื้นที่ของการปิดรอยแตกร้าว โดยมีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อกิโลเมตร (m^2/Km)

3.2.2.3 ซ่อมขอบ (Edge-repair)

ในส่วนนี้จะเป็นการคาดการณ์พื้นที่ของการซ่อมแซมขอบ โดยมีหน่วยเป็น ตารางเมตรต่อกิโลเมตร (m^2/Km)

3.2.3 การประมาณราคาค่าก่อสร้าง

กำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าก่อสร้างเป็น 2 ส่วน ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

3.2.3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพ (Upgrading)

ในส่วนของงานเพิ่มประสิทธิภาพ แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- <u>ขั้นตอนที่ 1 ปริมาณและต้นทุน (Quantities and Cost)</u>
  ต้นทุนรวมของการเพิ่มประสิทธิภาพได้มาจากผลการคำนวณจำนวนงานเพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีหน่วยเป็นกิโลเมตร (Km) และผู้ใช้ระบุราคาต่อหน่วยกิโลเมตร
- <u>ขั้นตอนที่ 2 ผลของการเพิ่มประสิทธิภาพ (Effects of upgrading)</u>
  หลังจากเพิ่มประสิทธิภาพ พารามิเตอร์ของการสร้างแบบจำลองที่จำเป็นจะถูกปรับเป็นค่าที่ผู้ใช้กำหนด หรือคำนวณตามปัจจัยด้านล่าง ดังนี้

- ความยาวใหม่ (New length)

  ความยาวใหม่ของถนนหลังการเพิ่มประสิทธิภาพนั้นมาจากผลของ ตัวคูณความยาวปรับแก้ (LF>0) และ ความยาวถนนก่อนการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีหน่วยเป็นกิโลเมตร (km)

- ความกว้างทาง (Carriageway width)

  ความกว้างใหม่หลังจากการเพิ่มประสิทธิภาพนั้นมาจากผลของ ความกว้างทางก่อนการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีหน่วยเป็น (m) และ การเพิ่มขึ้นของความกว้างทาง โดยมีหน่วยเป็นเมตร (m)

- <u>ขั้นตอนที่ 3 Bituminous pavements</u>

  หากชั้นผิวถนนใหม่เป็นลาดยาง ประเภทผิวทาง โครงสร้าง ความแข็งแรง ความยาว ความกว้าง จำนวนช่องจราจร และคุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง จะถูกปรับค่าโดยที่ผู้ใช้กำหนดหรือจากการคำนวณ

3.2.3.2 การก่อสร้างใหม่ หรือต่อเติม

จำนวนการก่อสร้างใหม่สามารถแสดงเป็นจำนวนกิโลเมตรที่สร้าง (NEWCON) ซึ่งเท่ากับความยาวของส่วนใหม่ ส่วนต้นทุนการก่อสร้างทั้งหมด (CSTNEW) ได้มาจากผลของ NEWCON และต้นทุนต่อหน่วยที่ผู้ใช้กำหนดต่อกิโลเมตร

3.2.4 การประมาณค่าซ่อมบำรุงรักษาทาง

ในการประมาณการค่าซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางจะพิจารณาข้อมูลจากสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น (ผลคาดการณ์ความเสียหายได้จาก HDM-4) และสรุปเป็นค่าใช้จ่าย โดยที่ต้นทุนต่อหน่วยถูกระบุเป็นบาท/กิโลเมตร/ปี อ้างอิงราคากลางของค่าบำรุงรักษาแยกตามประเภทผิวทาง รวบรวมจากสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง

3.3 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์

วิธีการ รูปแบบ ในการวิเคราะห์และคาดการณ์นั้นมีอยู่หลากหลายขึ้นอยู่กับการกำหนดปัจจัยที่จะนำมาใช้ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ใช้ HDM-4 model ในการวิเคราะห์ โดยปัจจัยดังนี้

- HDM-4 สามารถคาดการณ์ดัชนีความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI)
- HDM-4 สามารถคาดการณ์ความเสียหาย
- HDM-4 สามารถช่วยในการหาทางเลือกที่ดีที่สุดในการบำรุงรักษาทาง

อีกทั้ง HDM-4 ยังสามารถคาดการณ์แผนการซ่อมบำรุงในอนาคตและค่าก่อสร้าง ซึ่งนำไปสู่การเลือกกระบวนการวิเคราะห์โดยใช้วิธี HDM-4 model ในงานวิจัยนี้

ในส่วนของข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลบางส่วนจากกรมทางหลวง และจากการคาดการณ์สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการคาดการณ์ดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์หาค่าพื้นที่การแตกร้าวทั้งหมดกำหนดไว้ดังสมการที่ 3.1

$$ACRA = ACA + ACT \tag{3.1}$$

โดยที่

$ACRA$ คือ พื้นที่ถนนแตกร้าวทั้งหมด (% ของพื้นที่ถนนทั้งหมด)

ACA คือ พื้นที่แตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมด (% ของพื้นที่ถนนทั้งหมด)

ACT คือ พื้นที่แตกร้าวจากความร้อนตามขวาง (% ของพื้นที่ถนนทั้งหมด)

3.3.2 การวิเคราะห์หาพื้นที่ทั้งหมดและต้นทุนของการปะซ่อม

พื้นที่ทั้งหมดที่ปะซ่อม (TAPAT) มีหน่วยเป็นตารางเมตร กำหนดโดยผลของพื้นที่ปะซ่อม (APAT) และความยาวหน้าตัด (L) ในหน่วยกิโลเมตร ต้นทุนรวมของการปะซ่อมทั้งหมดได้มาจากผลของ TAPAT และต้นทุนต่อหน่วยโดยที่ผู้ใช้กำหนดต่อตารางเมตร

พื้นที่ปะซ่อม (APAT) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.2 และ 3.3

$$\mathrm{APAT} = \mathrm{MIN}[\mathrm{APAT_{lim}}, \mathrm{ASP}] \tag{3.2}$$

$$\mathrm{ASP} = \mathrm{Pdam} * \mathrm{ADAMS_{bw}} * \mathrm{CW} * 10^{-1} \tag{3.3}$$

โดยที่

APAT คือ พื้นที่ปะซ่อม $(\mathrm{m^2/km})$

$\mathrm{APAT_{lim}}$ คือ ปริมาณการปะซ่อมสูงสุดประจำปี ป้อนข้อมูลโดยผู้ใช้ โดยมีหน่วยเป็น $(\mathrm{m^2/km})$

$\mathrm{ADAMS_{bw}}$ คือ พื้นที่เสียหายหนักก่อนทำการปะซ่อม $(= \mathrm{ADAMS_b})$ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

$\mathrm{ADAMS_b}$ คือ พื้นที่เสียหายหนักในช่วงปลายปี (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

Pdam คือ เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เสียหายร้ายแรงที่จะปะซ่อม ใส่ค่าโดยผู้ใช้ (ค่าเริ่มต้น=*100)*

CW คือ ความกว้างของถนน โดยมีหน่วยเป็นเมตร (m)

3.3.3 การวิเคราะห์หาความลึกของร่องทั้งหมด

3.3.3.1 ความลึกของร่องรวมที่มีการเพิ่มขึ้นทุกปี (ΔRDM) *คำนวณได้ดังสมการที่ 3.4, 3.5 และ 3.6*

ถ้า AGE4 $\leq$ 1

$$\Delta RDM = \Delta RDPD + \Delta RDW + RDO \qquad (3.4)$$

ฉะนั้น

$$\Delta RDM = \Delta RDST + \Delta RDPD + \Delta RDW \qquad (3.5)$$

โดยที่

ΔRDM คือ การเพิ่มขึ้นของความลึกร่องทั้งหมดเฉลี่ยในเส้นทางของล้อทั้งสองในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

RDO คือ ร่องเนื่องจากความหนาแน่นเริ่มต้นในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

ΔRDST คือ การเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนรูปของโครงสร้าง (Structural deformation) ในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

ΔRDPD คือ การเปลี่ยนรูปพลาสติก (Plastic deformation) ที่เพิ่มขึ้นในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

ΔRDW คือ การสึกหลอที่เพิ่มขึ้นตามรูปแบบชนิดยางที่มีหมุดในปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.3.2 ความลึกของร่องทั้งหมด (RDM_b) ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง

$$RDM_b = MIN[(RDM_a + \Delta RDM), 100] \quad (3.6)$$

โดยที่

RDM_b คือ ความลึกร่องทั้งหมดเฉลี่ยในเส้นทางล้อทั้งสองเมื่อสิ้นสุดปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

RDM_a คือ ความลึกร่องทั้งหมดเฉลี่ยในเส้นทางล้อทั้งสองเมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

3.3.4 การวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงความหยาบของผิวโดยรวม

3.5.4.1 การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดในความหยาบของผิวทางได้จากการคำนวณดังสมการที่ 3.7

$$\Delta RI = K_{gp}[\Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_t] + \Delta RI_e \quad (3.7)$$

โดยที่

ΔRI คือ การเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวโดยรวมที่เพิ่มขึ้นในช่วงสิ้นปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น IRI m/km

ΔRI_s คือ การเปลี่ยนแปลงความหยาบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพของโครงสร้างในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น (IRI m/km)

ΔRI_c คือ การเปลี่ยนแปลงความหยาบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการแตกร้าวในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น (IRI m/km)

ΔRI_r คือ การเปลี่ยนแปลงความหยาบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากร่องในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น (IRI m/km)

ΔRI_t คือ การเปลี่ยนแปลงความหยาบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดหลุมบ่อในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น (IRI m/km)

ΔRI_e คือ การเปลี่ยนแปลงความหยาบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพแวดล้อมในระหว่างปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น (IRI m/km)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

K_{gp} คือ ปัจจัยการสอบเทียบสำหรับความก้าวหน้าของความหยาบผิว โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1

3.3.4.2 ความหยาบของผิวทางเมื่อสิ้นสุดปีที่วิเคราะห์ กำหนดโดยสมการที่ 3.8

$$RI_b = MIN[(RI_a + \Delta RI), a_0] \quad (3.8)$$

โดยที่

RI_b คือ ความหยาบของผิวทาง ณ สิ้นปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น (IRI m/km)

RI_a คือ ความหยาบของผิวทาง ณ ต้นปีที่วิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น (IRI m/km)

a_0 คือ ข้อจำกัดของความหยาบของผิวทาง กำหนดโดยผู้ใช้ (ค่าเริ่มต้น = 16 IRI m/km)

ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับองค์ประกอบของความหยาบผิวต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับส่วนประกอบความหยาบ

Pavement type	Roughness component	Equation	a_0	a_1	a_2
All pavement types	Structural	11.1	134		
	dSNPK	11.3	0.0000758	63.0	40.0
	Cracking	11.4	0.0066		
	Rutting	11.5	0.088		
	Potholing	11.7	0.00019	2.0	1.5

ที่มา: HDM-4 Volume 4 analytical Framework & Model Descriptions : Part C (P.C2-55)

3.3.4.3 ความหยาบเฉลี่ยรายปีของผิวทางสำหรับปีการวิเคราะห์ที่กำหนด คำนวณได้ดังสมการที่ 3.9

$$RI_{av} = 0.5(RI_a + RI_b) \quad (3.9)$$

โดยที่

RI_{av} คือ ความหยาบเฉลี่ยรายปีของผิวทางสำหรับปีการวิเคราะห์ โดยมีหน่วยเป็น (IRI m/km)

3.3.5 ความแข็งแรงผิวทาง

3.5.5.1 การวิเคราะห์ค่า SN เพื่อบ่งชี้ความแข็งแรงของผิวทาง

ความแข็งแรงของผิวทางมีลักษณะตาม SNP (Parkman and Rolt, 1997) ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นคำอธิบายเกี่ยวกับความแข็งแรงของผิวทาง คำนวณได้ดังสมการ 4.0 ,4.1 ,4.2 และ 4.3

$$SNP_s = SNBASU_s + SNSUBA_s + SNSUBG_s \quad (3.10)$$

$$SNBASU_s = 0.0394 \sum_{i=1}^{n} a_{is} h_i \quad (3.11)$$

$$SNSUBA_s = 0.0394 \sum_{j=1}^{m} a_{js} \{ (\frac{b_0\, exp(-b_3 Z_j)}{-b_3} + \frac{b_1\, exp(-(b_2+b_3) Z_j)}{(b_2+b_3)}) - (\frac{b_0\, exp(-b_3 Z_{j-1})}{-b_3} + \frac{b_1 exp\,(-(b_2+b_3) Z_{j-1})}{(b_2+b_3)}) \quad (3.12)$$

$$SBSUBG_s = [b_0 - b_1\, exp(-b_2 Z_m)][exp(-b_3 Z_m)] [3.51 log_{10} CBR_s - 0.85 (log_{10} CBR_s)^2 - 1.43] \quad (3.13)$$

โดยที่

SNP_s คือ การปรับ Structural number ของผิวทางสำหรับช่วงเวลา S

$SNBASU_s$ คือ การมีส่วนร่วมของชั้นผิวทาง (Surfacing) และ ชั้นพื้นทาง (Base) สำหรับช่วงเวลา S

$SNSUBA_s$ คือ การมีส่วนร่วมของชั้นรองพื้นทาง (Sub-base) หรือ เลือกชั้นใส่ สำหรับช่วงเวลา S

$SNSUBG_s$ คือ การมีส่วนร่วมของชั้นดินเดิม (Subgrade) สำหรับช่วงเวลา S

n คือ จำนวนชั้นพื้นทาง (Base) และชั้นผิวทาง (Surfacing) (i=1,2,...,n)

a_{is} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นพื้นทาง (Base) หรือชั้นผิวทาง (Surfacing) i สำหรับช่วงเวลา S (จากตารางที่ 27)

h_i คือ ความหนาของชั้นพื้นทาง (Base) หรือชั้นผิวทาง (Surfacing) i (mm)

m คือ จำนวนของชั้นรองพื้นทาง (Sub-base) และ เลือกชั้นใส่ (j=1,2,...,m)

Z คือ พารามิเตอร์ที่วัดความลึกจากด้านบนของ Sub-base (ใต้พื้นทาง) (mm)

Z_j คือ ความลึกถึงด้านล่างของชั้น j^{th} $(Z_0 = 0)$ (mm)

CBR_s คือ Subgrade CBR สำหรับช่วงเวลา S

a_{js} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ชั้นสำหรับชั้นรองพื้นทาง (Sub-base) หรือ เลือกชั้นใส่ j สำหรับช่วงเวลา S (จากตารางที่ 27)

b_0, b_1, b_2, b_3 คือ สัมประสิทธิ์แบบจำลอง (จากตารางที่ 28)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 27 ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของชั้นผิวทาง

Layer	Layer type	Condition	Coefficient
Surfacing	ST	Usually 0.2	a_i = 0.20 to 0.40
	AM	h_i < 30 mm, low stability and cold mixes	a_i = 0.20
		h_i > 30 mm, MR_{30} = 1500 MPa	a_i = 0.30
		h_i > 30 mm, MR_{30} = 2500 MPa	a_i = 0.40
		h_i > 30 mm, $MR_{30} \geq$ 4000 MPa	a_i = 0.45
Base	GB	Default	$a_i = (29.14\ CBR - 0.1977\ CBR^2 + 0.00045\ CBR^3)\ 10^{-4}$
		CBR > 70, cemented sub-base	$a_i = 1.6\ (29.14\ CBR - 0.1977\ CBR^2 + 0.00045\ CBR^3)\ 10^{-4}$
		CBR < 60, max. axle load > 80kN	$a_i = 0$
	AB, AP	Dense graded with high stiffness	$a_i = 0.32$
	SB	Lime or cement	$a_i = 0.075 + 0.039\ UCS - 0.00088(UCS)^2$
Sub-base		Granular	$a_j = -0.075 + 0.184(\log_{10} CBR) - 0.0444(\log_{10} CBR)^2$
		Cemented UCS > 0.7 MPa	$a_j = 0.14$

ที่มา: Watanatada et al. (1987)

ตารางที่ 28 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง SN ที่ปรับปรุงแล้ว

Pavement type	b_0	b_1	b_2	b_3
All pavement types	1.6	0.6	0.008	0.00207

ที่มา: HDM-4 Volume 4 analytical Framework & Model Descriptions : Part C (P.C2-12)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.6 ลักษณะความเสียหายที่มาจากการจำลองการแตกร้าว

จากการศึกษารูปแบบความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีการพิจารณาและจำแนกการจำลองการแตกร้าวด้วยโปรแกรม HDM-4 ออกเป็น 2 ประเภท คือ Structural Cracking และ Transverse Thermal Cracking โดยที่การแตกร้าวทั้งสองเป็นหนึ่งในปัญหาที่สำคัญที่สุดในผิวทางลาดยาง ความล้าและการเสื่อมสภาพได้ถูกระบุว่าเป็นปัจจัยหลักที่นำไปสู่การแตกร้าวของชั้นผิวทางลาดยาง การแพร่ขยายของรอยแตกถูกเร่งโดยการเสื่อมสภาพและการซึมของน้ำซึ่งจะทำให้ผิวทางด้านล่างอ่อนแอลงไปอย่างมาก ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ในส่วนของ Structural Cracking เนื่องจาก Transverse Thermal Cracking จะเกิดขึ้นเฉพาะบางสภาพอากาศเท่านั้นโดย Structural Cracking แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ประเภท คือ All Structural Cracking และ Wide Structural Cracking โดยการแตกร้าวทั้งสองลักษณะนี้จะถูกนำเสนอเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทาง ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของการแตกร้าวแบบ Structural Cracking และ Wide Structural Cracking คำนวณโดยสมการ (4.1) และ (4.2) ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวทางที่แตกร้าวแบบ All Structural Cracking

$$dACA = K_{cpa}\left[\frac{CRP}{CDS}\right] Z_A[(Z_A a_0 a_1 \delta t_A + SCA^{a1})^{\frac{1}{a1}} - SCA] \qquad (3.14)$$

ความก้าวหน้าของ All Structural Cracking เริ่มเมื่อ $\delta t_A > 0$ หรือ $ACA_a > 0$

โดยที่

ถ้า $ACA_a > 0$ $\delta t_A = 1$ ฉะนั้น $\delta t_A = MAX\{0, MIN[(AGE2 - ICA), 1]\}$

ถ้า $ACA_a \geq 50$ แล้ว $Z_A = -1$ ฉะนั้น $Z_A = 1$

$$ACA_a = MAX(ACA_a, 0.5)$$

$$SCA = MIN[ACA_a, (100 - ACA_a)]$$

$$YAX = MAX[MIN(YAX, 1), 0.1]$$

$$Y = [a_0 a_1 Z_A \delta t_a + SCA^{a1}]$$

เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทางที่แตกร้าวแบบ Wide Structural Cracking

$$dACW = K_{cpw}\left[\frac{CRP}{CDS}\right] Z_w[(Z_w a_0 a_1 \delta t_w + SCW^{a1})^{\frac{1}{a1}} - SCW] \qquad (3.15)$$

เมื่อ:

dACA	คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของ All Structural Cracking ระหว่างปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)
dACW	คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของ Wide Structural Cracking ระหว่างปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)
ACA_a	คือ พื้นที่ของ All Structural Cracking ที่ต้นปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)
ACW_a	คือ พื้นที่ของ Wide Structural Cracking ที่ต้นปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)
δt_A	คือ fraction of analysis year in which All Structural Cracking progression applies
δt_W	คือ fraction of analysis year in which Wide Structural Cracking progression applies
CDS	คือ ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิวลาดยาง
AGE2	คือ อายุผิวทางตั้งแต่ก่อนการ reseal, overlay, reconstruction หรือ new construction (ปี)
ICA	คือ เวลาเริ่มต้นของ All Structural Cracking (ปี)
ICW	คือ เวลาเริ่มต้นของ Wide Structural Cracking (ปี)
K_{cpa}	คือ Calibration factor สำหรับ progression of All Structural Cracking
K_{cpw}	คือ Calibration factor สำหรับ progression of Wide Structural Cracking
CRP	คือ การชะลอการลุกลามของรอยแตกเนื่องจากการรักษาเชิงป้องกัน โดย CRP = 1-0.12 CRT

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 29 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับ Progression of All และ Wide Structural Cracking

Pavement type	Surface material	HSOLD value	All cracking		Wide cracking	
			a_0	a_1	a_0	a_1
AMGB	All	0	1.84	0.45	2.94	0.56
	All except CM	> 0	1.07	0.28	2.58	0.45
	CM	> 0	2.41	0.34	3.40	0.35
AMAB	All	0	1.84	0.45	2.94	0.56
		> 0	1.07	0.28	2.58	0.45
AMAP	All	> 0	1.07	0.28	2.58	0.45
AMSB	All	0	2.13	0.35	3.67	0.38
		> 0	2.13	0.35	3.67	0.38
STGB	All	0	1.76	0.32	2.50	0.25
		> 0	2.41	0.34	3.40	0.35

3.3.7 ลักษณะความเสียหายที่มาจากการจำลองการหลุดร่อน

การหลุดร่อน (Ravelling) เป็นการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นของวัสดุพื้นผิวจากสภาพดินฟ้าอากาศและ/หรือการเสียดสีจากการจราจร โดยที่ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างผิวทางลาดยาง คือ CDS โดยที่ CDS ใช้เป็นตัวแปลในแบบจำลองการหลุดร่อน (Ravelling model) โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

การเริ่มต้น (Initiation) เป็นเวลาในการเริ่มต้นหลุดร่อน (ปี)

การหลุดร่อนจะเกิดขึ้นบนส่วนถนนที่กำหนดเมื่อ 0.5% ของพื้นที่ผิวทาง

$$IRV = K_{vi}CDS^2 a_0 RRF exp(a_1 YAX) \quad (3.16)$$

ความก้าวหน้า (Progression) เป็นการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หลุดร่อนระหว่างปีที่วิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

$$dARV = \left[\frac{K_{vp}}{RRF}\right]\left[\frac{1}{CDS^2}\right] Z[(Z(a_0 + a_1 YAX)a_2 \delta t_v + SRV^{a2})^{\frac{1}{a2}} - SRV \quad (3.17)$$

ความก้าวหน้าของการหลุดร่อนเริ่มต้นขึ้นเมื่อ $\delta t_v > 0$ หรือ $ARV_a > 0$

โดยที่

ถ้า $ARV_a > 0 \quad \delta t_v = 1$ ฉะนั้น $\delta t_v = MAX\{0, MIN[(AGE2 - IRV), 1]\}$

ถ้า $ARV_a > 50$ ดังนั้น Z = -1

ฉะนั้น Z = 1

$$ARV_a = MAX(ARV_a, 0.5)$$

$$SRV = MIN[ARV_a, (100 - ARV_a)]$$

$$YAX = MAX[MIN(YAX, 1), 0.1]$$

$$Y = [(a_0 + a_1 YAX)a_2 Z\delta t_v + SRV^{a2}]$$

ถ้า $Y < 0$

ดังนั้น

$$dARV = \left[\frac{K_{vp}}{RRF}\right][\frac{1}{CDS^2}](100 - ARV_a)$$

ถ้า $Y \geq 0$

ดังนั้น

$$dARV = \left[\frac{K_{vp}}{RRF}\right][\frac{1}{CDS^2}]Z(Y^{\frac{1}{a2}} - SRV)$$

ถ้า $ARV_a \leq 50$ และ $ARV_a + dARV > 50$

ดังนั้น

$$dARV = \left[\frac{K_{vp}}{RRF}\right][\frac{1}{CDS^2}](100 - c_1^{\frac{1}{a2}} - ARV_a)$$

และ

$$c_1 = MAX\{[2(50^{a2}) - SRV^{a2} - (a_0 + a_1 YAX)a_2\delta t_v]0\}$$

เมื่อ:

IRV	คือ เวลาในการเริ่มหลุดร่อน (ปี)
CDS	คือ ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับผิวทางลาดยาง
YAX	คือ จำนวนเพลาต่อปีของยานพาหนะทุกประเภทในปีที่วิเคราะห์ (ล้าน/เลน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

K_{vi} คือ Calibration factor สำหรับการเริ่มต้นการหลุดร่อน

RRF คือ ปัจจัยการชะลอตัวของการหลุดร่อนจากการบำรุงรักษา (อยู่ใน HDM-4 ในส่วนการบำรุงรักษา : Part D)

dARV คือ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของการหลุดร่อนในปีที่วิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

ARV_a คือ พื้นที่ของการหลุดร่อนที่ต้นปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

δt_v คือ fraction of analysis year in which ravelling progression applies

AGE2 คือ อายุของผิวทางตั้งแต่การ reseal, overlay และ reconstruction หรือ new construction ล่าสุด (ปี)

K_{vp} คือ Calibration factor สำหรับความก้าวหน้าการหลุดร่อน

IRV คือ เวลาในการเริ่มหลุดร่อน (ปี)

ตารางที่ 30 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับแบบจำลองการเริ่มต้นการหลุนร่อน

Surface type	Surface material	a_0	a_1
AM	All except CM	100	-0.156
	CM	8.0	-0.156

ตารางที่ 31 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับแบบจำลองความก้าวหน้าการหลุนร่อน

Pavement type	a_0	a_1	a_2
All pavement types	0.6	3.0	0.352

3.3.8 ลักษณะความเสียหายที่มาจากการจำลองการเกิดร่องล้อ

ร่อง (rutting) หมายถึง การเสียรูปที่เกี่ยวข้องกับการจราจรอย่างถาวรหรือไม่สามารถกลับคืนได้ภายในชั้นผิวทาง และจะสะสมเมื่อเวลาผ่านไปและปรากฏเป็นร่อง (Paterson, 1987)

การสร้างแบบจำลองความลึกของร่องจะดำเนินการหลังจากคำนวณค่าของ Surface distressทั้งหมด (นั่นคือ การแตกร้าว การหลุดร่อน การเกิดหลุมบ่อ และแตกร้าวบริเวณขอบ) ณ สิ้นปีที่คำนวณ

แบบจำลองร่องล้อตั้งอยู่บนองค์ประกอบของทั้ง 4 ส่วนดังนี้

3.3.8.1 ความหนาแน่นเริ่มต้น (Initial densification)

ความหนาแน่นเริ่มต้นขึ้นอยู่กับระดับของการบดอัดของชั้น Base, Sub-base และ selected subgrade ตัวที่ใช้ชี้วัดนั่นคือ COMP

ความหนาแน่นเริ่มต้น คือ

$$ROD = K_{rid}[a_0(YE410^6)^{a_1 a_2 DEF} SNP^{a_3} COMP^{a_4}] \quad (3.18)$$

เมื่อ:

RDO	คือ rutting due to initial densification (mm)
YE4	คือ จำนวนเพลามาตรฐานเทียบเท่าต่อปี (ล้าน/เลน)
DEF	คือ ค่าเฉลี่ยต่อปี Benkelman beam deflection (มิลลิเมตร)
SNP	คือ ค่าเฉลี่ยต่อปีของ adjusted structural number ผิวทาง
COMP	คือ การบทอัดสัมพัทธ์ (%)
K_{rid}	คือ Calibration factor สำหรับความหนาแน่นเริ่มต้น

3.3.8.2 การเสียรูปของโครงสร้าง (Structural deformation)

แบบจำลองการเสียรูปเชิงโครงสร้างที่ใช้ใน HDM-III ได้ถูกทำให้ง่ายขึ้นในรูปแบบเชิงเส้นสำหรับการรวมไว้ใน HDM-4 (Morosiuk, 1998c) มีการเสนอข้อกำหนดแยกต่างหากสำหรับการเสียรูปโครงสร้างโดยไม่เกิดการแตกร้าวและการเสียรูปโครงสร้างหลังการแตกร้าวดังนี้

Structural deformation ไม่มีการแตกร้าว

$$\Delta RDST_{uc} = K_{rst}(a_0 SNP^{a_1} YE4^{a_2} COMP^{a_3}) \quad (3.19)$$

Structural deformation หลังการแตกร้าว

$$\Delta RDST_{crk} = K_{rst}(a_0 SNP^{a_1} YE4^{a_2} MMP^{a_3} ACX_a{}^{a4}) \quad (3.20)$$

การเพิ่มขึ้นของ Structural deformation ที่เพิ่มขึ้นทุกปีมีดังนี้

ถ้า ACRA = 0

จากนั้น

$$\Delta RDST = \Delta RDST_{uc} \tag{3.21}$$

ถ้า ACRA > 0

$$\Delta RDST = \Delta RDST_{uc} + \Delta RDST_{crk} \tag{3.22}$$

เมื่อ:

$\Delta RDST$	คือ การเพิ่มขึ้นโดยรวมของการเสียรูปโครงสร้างในปีการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
$\Delta RDST_{uc}$	คือ ร่องที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสียรูปของโครงสร้างโดยไม่มีการแตกร้าวในปีที่วิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
$\Delta RDST_{crk}$	คือ ร่องที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสียรูปของโครงสร้างหลังจากการแตกร้าวในปีที่วิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
MMP	คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (มิลลิเมตร/เดือน)
ACX_a	คือ พื้นที่ของ indexed cracking เมื่อต้นปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)
K_{rst}	คือ Calibration factor สำหรับการเสียรูปโครงสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.8.3 การเปลี่ยนรูปพลาสติก (Plastic deformation)

แบบจำลองการเปลี่ยนรูปพลาสติกประกอบด้วยตัวแปร CDS ซึ่งบ่งชี้ว่าพื้นผิวมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนรูปพลาสติกหรือไม่

วิธีการระบุการเสียรูปพลาสติกของพื้นผิวลาดยางที่แม่นยำยิ่งขึ้นมีรายละเอียดอยู่ใน A Guide to calibration and adaptation วิธีการนี้รวมถึงการใช้ตัวแปรเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุ เช่น จุดอ่อนตัวของสารยึดเกาะและช่องว่างในส่วนผสม เพื่อจำลองการเพิ่มขึ้นของการเสียรูปพลาสติกที่เพิ่มขึ้น

แบบจำลองการเปลี่ยนรูปพลาสติกทั่วไป กำหนดโดย :

$$\Delta RDPD = K_{rpd} CDS^3 a_0 YE4Sh^{a_1} HS^{a_2} \quad (3.23)$$

เมื่อ:

$\Delta RDPD$	คือ การเพิ่มขึ้นจาก plastic deformation ในปีที่วิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
CDS	คือ ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิวลาดยาง
Sh	คือ ความเร็วของยานพาหนะหนัก (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
HS	คือ ความหนารวมของพื้นผิวลาดยาง (มิลลิเมตร)
K_{rpd}	คือ Calibration factor สำหรับ plastic deformation

3.3.8.4 การสึกหรอของพื้นผิว (Surface wear)

แบบจำลองการสึกหรอของพื้นผิว (Djarf, 1995) ถูกนำไปใช้กับสภาพแวดล้อมที่ใช้ยางแบบมีกระดุมระหว่างช่วงสภาพอากาศเยือกแข็ง

$$RDW = K_{rsw}[a_0 PASS^{a_1} W^{a_2} S^{a_3} SALT^{a_4}] \quad (3.24)$$

เมื่อ:

ΔRDW	คือ ความลึกของร่องเพิ่มขึ้นทีละน้อยเนื่องจาก studded types ในปีการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
PASS	คือ จำนวนรถที่ผ่านต่อปีโดย studded tyres ใน 1 ทิศทาง (1000s)
S	คือ ความเร็วการจราจรเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
SALT	คือ ตัวแปรสำหรับถนนที่ salted หรือ unsalted (2=salted; 1=unsalted)
W	คือ ความกว้างถนน (เมตร) (ความกว้างทางบวกกับไหล่ทางทั้งหมด)
K_{rsw}	คือ Calibration factor สำหรับ surface wear

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลของสมการทั้ง 4 นำมาวิเคราะห์ความลึกของร่องล้อทั้งหมด (Total rut depth)

ความลึกของร่องล้อรวมที่เพิ่มขึ้นทุกปี (ΔRDM) คำนวณได้ดังสมาการนี้

ถ้า $AGE4 \leq 1$

$$\Delta RDM = RDO + \Delta RDPD + \Delta RDW$$

มิฉะนั้น

$$\Delta RDM = \Delta RDST + \Delta RDPD + \Delta RDW$$

ตารางที่ 32 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับแบบจำลองความหนาแน่นเริ่มต้น

Pavement type	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
AMGB, AMAB, AMSB, STGB, STAB, STSB	51740	0.09	0.0384	-0.502	-2.30
AMAP, STAP	0	0	0	0	0

ตารางที่ 33 default coefficient values for structural densification model

	Pavement type	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Without cracking	All pavement types	44950	-1.14	0.11	-2.3	
After cracking	All pavement types	0.0000248	-0.84	0.14	1.07	1.11

ตารางที่ 34 default coefficient values for plastic deformation model

Surface type	a_0	a_1	a_2
AM	2.46	-0.78	0.71
ST	0	-0.78	0.71

ตารางที่ 35 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับรูปแบบการสึกหรอของพื้นผิว

Pavement type	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
All pavement types	0.0000248	1.0	-0.46	1.22	0.32

3.3.9 ลักษณะความเสียหายที่มาจากการจำลองการเกิดหลุมบ่อ

หลุมบ่อมักจะพัฒนาบนพื้นผิวที่แตกร้าวหรือการหลุดร่อน หรือเกิดจากทั้งสองอย่าง น้ำจะเร่งการก่อรูปของหลุมบ่อโครงสร้างผิวทางจะอ่อนลง และลดความต้านทานของพื้นผิวและวัสดุฐานต่อการสึกกร่อนแบบจำลองหลุมบ่อใช้ CDB เป็นตัวแปรที่บ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับชั้น Base หลุมบ่อจะแสดงเป็นจำนวนหน่วยของหลุมบ่อโดยที่มีพื้นที่ต่อ

หลุมบ่อเท่ากับ 0.1 ตร.ม. ปริมาตรของหน่วยหลุมบ่อ แต่ละหน่วยจะถือว่าเท่ากับ 10 ลิตร (นั่นคือ 100 มม. คือความลึก) ความสัมพันธ์สำหรับการเริ่มต้นและความก้าวหน้าของการหลุมบ่อได้รับการแก้ไขจากที่กำหนดไว้ใน NDLI (1995) และ Riley (1996b) การเริ่มต้นของหลุมบ่อเนื่องมาจากการแตกร้าวจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นที่ทั้งหมดของ wide structural cracking (AWC) เกิน 20% หรือการหลุดร่อนเริ่มเกิดขึ้นเป็นหลุมบ่อเมื่อพื้นที่หลุดร่อน (ARV) เกิน 30%

Initiation

$$IPT = K_{pi} * a_0 \left[\frac{(1+a_1 HS)}{(1+a_2 CDB)(1+a_3 YAX)(1+a_4 MMP)}\right] \quad (3.25)$$

ค่าสำหรับ IPT คำนวณแยกกันสำหรับหลุมบ่อเนื่องจากการแตกร้าวและการหลุดร่อน การแยกระหว่างสองกลไกของหลุมบ่อถูกรักษาไว้ตลอดการวิเคราะห์ด้วยความก้าวหน้าที่ถูกสร้างแบบจำลองที่แตกต่างกันสำหรับหลุมบ่อเนื่องจากการแตกร้าวจากการหลุดร่อนและเนื่องจากการขยายตัวของหลุมบ่อที่มีอยู่.

Progression

$$dNPT_i = K_{pp} * a_0 * ADIS_i(TLF) \left[\frac{(1+a_1 CDB)(1+a_2 YAX)(1+a_3 MMP)}{(1+a_4 HS)}\right] \quad (3.26)$$

ความคืบหน้าของหลุมบ่อเกิดขึ้นจากการแตกร้าว การหลุดร่อน และการขยายตัวของหลุมบ่อที่มีอยู่ ความคืบหน้าของหลุมบ่อได้รับผลกระทบจากระยะเวลาระหว่างการเกิดและการปะซ่อมหลุมบ่อ มีการนำ Time Lapse Factor (TLF) มาใช้เป็นตัวบ่งชี้เวลาตอบสนองต่อการปะซ่อมหลุมบ่อ (Odoki, 1997; and Riley, 1997)

ความคืบหน้าของหลุมบ่อจาก Wide cracking หรือ Ravelling เริ่มดังต่อไปนี้

หากเมื่อเริ่มต้นปีแรกของระยะเวลาการวิเคราะห์ $ACW_a = 0$, จากนั้นความคืบหน้าของหลุมบ่อ จาก wide cracking เริ่มต้นเมื่อ :

$$AGE2 > ICW + IPT \ and \ ACW_a > 20,$$

ถ้าต้นปีแรกของการวิเคราะห์ $ARV_a = 0$, จากนั้นค่อยเกิดเป็นหลุมบ่อจากการหลุดร่อน เมื่อ

$$AGE2 > IRV + IPT \ and \ ARV_a > 30,$$

หากเมื่อเริ่มต้นปีแรกของระยะเวลาการวิเคราะห์ $0 < ACW_a \leq 20$, จากนั้น ความคืบหน้าของหลุมบ่อ จาก wide cracking เริ่มต้นเมื่อ $ACW_a > 20$

หากเมื่อเริ่มต้นปีแรกของระยะเวลาการวิเคราะห์ $0 < ARV_a \leq 30$, จากนั้น ความคืบหน้าของหลุมบ่อ จาก ravelling เริ่มต้นเมื่อ $ARV_a > 30$

หากเมื่อเริ่มต้นปีแรกของระยะเวลาการวิเคราะห์ $ACW_a > 20$ จากนั้น ความคืบหน้าของหลุมบ่อจากwide cracking เริ่มทันที

หากเมื่อเริ่มต้นปีแรกของระยะเวลาการวิเคราะห์ $ARV_a > 30$ จากนั้น ความคืบหน้าของหลุมบ่อจาก ravelling เริ่มทันที

ความคืบหน้าของหลุมบ่อจาก enlargement เริ่มต้นถ้า $NPTa > 0$ เมื่อต้นปีการวิเคราะห์

การเพิ่มขึ้นของจำนวนหลุมบ่อใน 1 ปี ต่อกิโลเมตร ของความยาวถนน คำนวณโดย

$$dNPT = \sum_{i=1}^{3} dNPT_i \tag{3.27}$$

เมื่อ:

IPT	คือ เวลาระหว่างการเริ่มต้นของ wide structural cracking หรือ ravelling และ การเริ่มต้นของ potholes (ปี)
HS	คือ ความหนารวมของพื้นผิวบิลาดยาง (มิลลิเมตร)
CDB	คือ ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับฐาน
YAX	คือ จำนวนเพลาประจำปีของยานยนต์ทุกประเภทในปีที่วิเคราะห์ (ล้าน/เลน)
MMP	คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (มิลลิเมตร/เดือน)
K_{pi}	คือ Calibration factor สำหรับการเริ่มต้นการเกิดหลุมบ่อ
$dNPT_i$	คือ จำนวนหลุมบ่อที่เพิ่มขึ้นต่อกิโลเมตรมาจาก Distress ประเภทที่ 1 (การแตกร้าวของ โครงสร้างเป็นวงกว้าง การหลุดร่อน การขยายตัว) ระหว่างปีที่วิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$ADIS_i$ คือ พื้นที่ร้อยละของการแตกร้าวเป็นวงกว้างเมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์ หรือพื้นที่ร้อยละของการเกิดการหลุดร่อนเมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์ หรือจำนวนหลุมบ่อที่มีอยู่ต่อกิโลเมตรเมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์

TLF คือ time lapse factor

dNPT คือ จำนวนหลุมที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดต่อ กม.ในระหว่างปีที่วิเคราะห์

K_{pp} คือ Calibration factor สำหรับ ความก้าวหน้าการเกิดหลุมบ่อ

ตารางที่ 36 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับแบบจำลองการเริ่มต้นของหลุมบ่อ

Cause of pothole initiation	Pavement type	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Cracking	AMGB, STGB	2.0	0.05	1.0	0.5	0.01
	All except GB bases	3.0	0.05	1.0	0.5	0.01
Ravelling	AMGB, STGB	2.0	0.05	1.0	0.5	0.01
	All except GB bases	3.0	0.05	1.0	0.5	0.01

ตารางที่ 37 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับแบบจำลองความก้าวหน้าของหลุมบ่อ

Cause of pothole progression	Pavement type	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Cracking	AMGB, STGB	1.0	1.0	10	0.005	0.08
	All except GB bases	0.5	1.0	10	0.005	0.08
Ravelling	AMGB, STGB	0.2	1.0	10	0.005	0.08
	All except GB bases	0.1	1.0	10	0.005	0.08
Enlargement	AMGB, STGB	0.07	1.0	10	0.005	0.08
	All except GB bases	0.035	1.0	10	0.005	0.08

ตารางที่ 38 ค่าเริ่มต้นสำหรับ TLF

Time lapse between the occurrence of potholes and patching	TLF
Less than 2 weeks	0.02
1 month	0.06
2 months	0.12
3 months	0.20
4 months	0.28
6 months	0.43
12 months	1.00

3.3.10 ลักษณะความเสียหายที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหยาบของผิวทางในแบบจำลอง

แบบจำลองความหยาบประกอบด้วยองค์ประกอบหลายอย่างของความหยาบ (cracking, disintegration, deformation และ maintenance). ความหยาบที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดเป็นผลรวมของ ส่วนประกอบเหล่านี้. ค่า surface distress ที่ใช้ในการทำนายความหยาบคือค่าที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อให้พื้นที่ผิวที่เสียหายทั้งหมดบวกกับพื้นที่ที่ไม่เสียหายเท่ากับ 100%

<u>โครงสร้าง (Structural)</u>

องค์ประกอบโครงสร้างของความขรุขระเกี่ยวข้องกับการเสียรูปในวัสดุผิวทางภายใต้แรงเฉือนที่กำหนดโดยปริมาณการจราจร ดังสมการ

$$\Delta RI_c = a_0 \exp\,(mK_{gm}AGE3)(1 + SNPK_b)^{-5}YE4 \tag{3.28}$$

และ

$$SNPK_b = MAX[(SNP_a - dSNPK), 1.5]$$

และ

$$dSNPK = K_{snpk}\{MIN(a_1, ACX_a)HSNEW + MAX[MIN(ACX_a - PACX, a_2), 0]HSOLD\}$$

เมื่อ:

ΔRI_s	คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของความหยาบเนื่องจากการเสื่อมสภาพของโครงสร้างในระหว่างปีการวิเคราะห์ (IRI เมตร/กิโลเมตร)
$dSNPK$	คือ การลดลงใน adjusted structural number ของผิวทางเนื่องจากการแตกร้าว
$SNPK_b$	คือ adjusted structural number ของผิวทางเนื่องจากการแตกร้าวที่สิ้นปีการวิเคราะห์
SNP_a	คือ adjusted structural number ของผิวทางที่ต้นปีการวิเคราะห์
ACX_a	คือ area of indexed cracking ที่ต้นปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)
$PACX$	คือ area of previous indexed cracking in the old surfacing (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด); that is, 0.62 (PCRA)+0.39(PCRW)
$HSNEW$	คือ ความหนาของพื้นผิวล่าสุด (มิลลิเมตร)
$HSOLD$	คือ ความหนารวมของชั้นพื้นผิวก่อนหน้า (มิลลิเมตร)
$AGE3$	คือ pavement age since last overlay (rehabilitation), reconstruction หรือ new construction (ปี)
$YE4$	คือ จำนวนเพลามาตรฐานเทียบเท่าต่อปี (ล้าน/เลน)
m	คือ environmental coefficient (ตารางที่ 41)
K_{gm}	คือ calibration factor สำหรับ environmental coefficient
K_{snpk}	คือ calibration factor สำหรับ SNPK

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>แตกร้าว (Cracking)</u>

การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของความหยาบเนื่องจากการแตกร้าว ได้จาก:

$$\Delta RI_c = a0\Delta ACRA \tag{3.29}$$

เมื่อ:

ΔRI_c คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของความหยาบเนื่องจากการแตกร้าวในระหว่างปีการวิเคราะห์ (IRI เมตร/กิโลเมตร)

$\Delta ACRA$ คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของการแตกร้าวทั้งหมดในระหว่างปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ทางทั้งหมด)

<u>ร่อง (Rutting)</u>

การเปลี่ยนแปลงความหยาบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความลึกของร่อง

ถูกกำหนดโดย:

$$\Delta RI_r = a0\Delta RDS \tag{3.30}$$

เมื่อ:

ΔRI_r คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของความหยาบเนื่องจากร่องระหว่างปีการวิเคราะห์ (IRI m/km)

ΔRDS คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ rut depth ระหว่างปีการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร) (=$RDS_b - RDS_a$)

<u>หลุมบ่อ (Potholing)</u>

ผลกระทบของหลุมบ่อนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนยานพาหนะที่กระทบหลุมบ่อ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรและการหลบหลีก โดยที่ตัวแปล Freedom to Manoeuvre (FM) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และคาดการณ์โดยใช้สมการที่ x ด้านล่าง

$$FM = (MAX\{MIN[0.25(CW-3),1],0\})\{MAX\left[\left(1-\frac{AADT}{5000}\right),0\right]\} \tag{3.31}$$

การเปลี่ยนแปลงของความหยาบคำนวณได้ดังนี้

หากไม่มีการปะซ่อม (TLF=1) หรือ 100% จากนั้น

$$\Delta RI_t = a_0(a_1 - FM)[\left(NPT_a * TLF + \frac{\Delta NPT * TLF}{2}\right)^{a2} - {NPT_a}^{a2}] \quad (3.32)$$

มิฉะนั้น (สำหรับตัวเลือกการปะซ่อมบางส่วน)

$$\Delta RI_t = a_0(a_1 - FM) * \Delta NPT * (NPT_a + \frac{\Delta NPT}{2})^{a2} \quad (3.33)$$

เมื่อ:

FM	คือ freedom to manoeuvre
CW	คือ ความกว้างของถนน (เมตร)
$AADT$	คือ ปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยต่อปี (คัน/วัน)
ΔRI_t	คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของความหยาบเนื่องจากหลุมบ่อระหว่างปีการวิเคราะห์ (IRI เมตร/กิโลเมตร)
ΔNPT	คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของจำนวนหลุมบ่อต่อ กม. ในระหว่างปีการวิเคราะห์
NPT_a	คือ จำนวนหลุมบ่อต่อกิโลเมตร ณ ต้นปีที่วิเคราะห์
TLF	คือ time lapse factor

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>สภาพแวดล้อม (Environment)</u>

องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อมของความหยาบเกิดจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งรวมถึงความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้น ตลอดจนการเคลื่อนที่ของฐานราก (เช่น การทรุดตัว) จะได้ว่า

$$\Delta RI_e = m * K_{gm} RI_a \quad (3.34)$$

เมื่อ:

ΔRI_e คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของความหยาบเนื่องจากสภาพแวดล้อมในระหว่างปีการวิเคราะห์ (IRI m/km)

RI_a คือ ความหยาบที่ต้นปีการวิเคราะห์ (IRI m/km)

m คือ environmental coefficient

K_{gm} คือ Calibration factor สำหรับองค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม

<u>การเปลี่ยนแปลงความขรุขระโดยรวม</u>

การเปลี่ยนแปลงความขรุขระทั้งหมดของผิวทางได้จากสมการ

$$\Delta RI = K_{gp}[\Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_t] + \Delta RI_e \tag{3.35}$$

เมื่อ:

ΔRI คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในความหยาบในระหว่างปีการวิเคราะห์ (IRI m/km)

K_{gp} คือ Calibration factor สำหรับความคืบหน้าของความหยาบ

ความขรุขระของผิวทางเมื่อสิ้นสุดปีที่วิเคราะห์ กำหนดโดย

$$RI_b = MIN[(RI_a + \Delta RI), a_0] \tag{3.36}$$

เมื่อ:

RI_b คือ ความหยาบของผิวทางที่สิ้นปีการวิเคราะห์ (IRI m/km)

RI_a คือ ความหยาบของผิวทางที่ต้นปีการวิเคราะห์ (IRI m/km)

a_0 คือ การจำกัดค่าสูงสุดของความหยาบของผิวทางซึ่งกำหนดโดยผู้ใช้ (ค่าเริ่มต้น = 16 IRI เมตร/กิโลเมตร)

ตารางที่ 39 ค่าสัมประสิทธิ์สิ่งแวดล้อม 'm' ตามเขตภูมิอากาศ

Moisture classification	Temperature classification				
	Tropical	Sub-tropical hot	Sub-tropical cool	Temperate cool	Temperate freeze
Arid	0.005	0.010	0.015	0.025	0.040
Semi-arid	0.010	0.015	0.025	0.035	0.060
Sub-humid	0.020	0.025	0.040	0.060	0.100
Humid	0.025	0.030	0.060	0.100	0.200
Per-humid	0.030	0.040	0.070		

ตารางที่ 40 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นสำหรับองค์ประกอบความหยาบ

Pavement type	Roughness component	Equation	a_0	a_1	a_2
All pavement types	Structural	11.1	134		
	dSNPK	11.3	0.0000758	63.0	40.0
	Cracking	11.4	0.0066		
	Rutting	11.5	0.088		
	Potholing	11.7	0.00019	2.0	1.5

3.4 ข้อมูล Falling Weight Deflectometer (FWD) สำหรับจำลองความแข็งแรงโครงสร้างทาง

การคำนวณหาค่าความแข็งแรงผิวทางจากข้อมูล FWD

- <u>**ขั้นตอนที่ 1**</u> Field M_r ของ subgrade จากสูตร

$$M_r = \frac{0.24P}{d_r r} \tag{3.37}$$

เมื่อ:

M_r (psi) คือ Subgrade field M_R (psi)

P คือ FWD Load (lbs) typ. 9000 lbs

d_r คือ deflection (not adjusted) at distance r (in.)

r (in.) คือ ควรใช้ r > 36 in. (91.44 cm.)

- **<u>ขั้นตอนที่ 2</u>** Calculate effective modulus (E_p) of all pavement layers from FWD data

จากสูตร

$$d_0 = 1.5pa\left\{\frac{1}{M_R\sqrt{1+\left(\frac{D^3}{a}\sqrt{\frac{E_p}{M_R}}\right)^2}} + \left[\frac{1-\frac{1}{\sqrt{1+(\frac{D}{a})^2}}}{E_p}\right]\right\} \quad (3.38)$$

เมื่อ:

d_0 (in.) คือ deflection at load center (adjusted for 9000 lbs, $20^o\ C$)

M_R คือ Subgrade field M_R (psi)

D คือ ความหนารวมของผิวทางเหนือชั้น Subgrade (นิ้ว)

P คือ Plate pressure (psi) (700 kPa = 101.506 psi)

a คือ Plate radius (นิ้ว)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- **<u>ขั้นตอนที่ 3</u>** Determine SN_{eff} of structure จากสูตร

$$SN_{eff} = 0.0045D^3\sqrt{E_p} \quad (3.39)$$

ผลการคำนวณหาค่าความแข็งแรงผิวทางจากข้อมูล FWD เส้น 344 ชลบุรี-ระยอง

FWD FileName	Operator	Route No.	Ctrl Sec.	Chainage	Lane Test	Surface Condition -	-	Crack	Drop No.	Stress (kPa)	Deflection 0	Deflection (micron) at Distance ..... (mm) 200	300	450	600	900	1200	1500	1800
3440201	FWD DOH	344	344	20.000	L2	8	0	0	2	699	335.6	274.6	224	157.6	117.1	76.7	50.2	34	27.6
3440201	FWD DOH	344	344	20.100	L2	8	0	0	2	706	239.4	214.1	188.7	153.1	129.6	102.9	72.2	44.4	35.1
3440201	FWD DOH	344	344	20.207	L2	8	0	0	2	709	219.3	192.1	170.7	138.2	117.2	96.7	70.1	45.8	37.1
3440201	FWD DOH	344	344	20.300	L2	8	0	0	2	704	249.1	215.7	199.6	173.5	155.8	144.2	119.8	84.6	73
3440201	FWD DOH	344	344	20.407	L2	8	0	0	2	701	290.5	267	237.3	196.9	170.6	151.4	122.9	82.6	75.3
3440201	FWD DOH	344	344	20.517	L2	8	0	0	2	701	332.4	291.9	248.9	196	164.1	136.3	104.9	70.8	58.1
3440201	FWD DOH	344	344	20.617	L2	8	0	0	2	710	216.3	199.4	180.2	156.5	139.4	128.2	101.1	69	57.8
3440201	FWD DOH	344	344	20.712	L2	8	0	0	2	700	354.4	292.4	237.5	177	142.1	107.8	77.7	50.7	40.9
3440201	FWD DOH	344	344	20.811	L2	8	0	0	2	705	330.8	279.1	237.2	186	145.8	109.4	78.6	55.2	46.4
3440201	FWD DOH	344	344	20.911	L2	8	0	0	2	704	408.3	334.4	266	194.1	158.3	133.4	103.1	70.6	57.5
3440201	FWD DOH	344	344	21.000	L2	8	0	0	2	707	178.2	154.6	137.2	118.6	106	102	86.1	62.2	53.9
3440201	FWD DOH	344	344	21.103	L2	8	0	0	2	709	195.6	174.4	153.8	132.9	118.5	112.8	94.8	68.8	58.7
3440201	FWD DOH	344	344	21.199	L2	8	0	0	2	702	217.5	188.2	166.3	144.9	130.9	122.4	101.7	72.9	61.2
3440201	FWD DOH	344	344	21.300	L2	8	0	0	2	703	183.3	162.1	145.4	123.6	108.4	97.9	77.8	52.5	42.6
3440201	FWD DOH	344	344	21.408	L2	8	0	0	2	709	167.9	137.8	110.4	87.2	73.5	62.4	49.7	36.5	32.4
3440201	FWD DOH	344	344	21.507	L2	8	0	0	2	708	227.2	199.1	163.6	118.8	94.4	76.7	60.7	42.3	35.4
3440201	FWD DOH	344	344	21.603	L2	8	0	0	2	706	210.9	186.1	169.8	147.2	131.7	125.1	104.8	70.7	62
3440201	FWD DOH	344	344	21.707	L2	8	0	0	2	703	353.8	297.6	237.1	169	128.4	79	50.2	33.6	27.4
3440201	FWD DOH	344	344	21.804	L2	8	0	0	2	712	295.7	248.3	205.4	152.7	122	87.5	56.8	39	34
3440201	FWD DOH	344	344	21.907	L2	8	0	0	2	712	349	289.1	230.8	158.2	116.8	83.4	52.4	37.8	30.5
3440201	FWD DOH	344	344	22.000	L2	8	0	0	2	700	229.8	182.6	157.3	123.3	98.8	69.1	41.7	32.2	30.3
3440201	FWD DOH	344	344	22.102	L2	8	0	0	2	705	532.4	408.4	346.2	261.6	200.9	136.9	80.6	55.2	47.9
3440201	FWD DOH	344	344	22.222	L2	8	0	0	2	707	148.2	114	99.8	85.8	75.6	65.7	52.2	37.1	31.2
3440201	FWD DOH	344	344	22.320	L2	8	0	0	2	710	251.1	216.9	189.9	155.2	133.1	111.1	83	54	43
3440201	FWD DOH	344	344	22.359	L2	8	0	0	2	703	203	190.7	172.1	145.7	129.1	117.9	96	67.9	58.1
3440201	FWD DOH	344	344	22.510	L2	8	0	0	2	705	408.3	336.5	263.2	180.8	132.8	85.4	54.7	37	31
3440201	FWD DOH	344	344	22.596	L2	8	0	0	2	708	200.7	179.3	160.1	134.1	115.7	102.2	79.2	54.9	47.3
3440201	FWD DOH	344	344	22.702	L2	8	0	0	2	706	165	141.9	124.8	105	92.4	84.2	69.1	49.9	43
3440201	FWD DOH	344	344	22.802	L2	8	0	0	2	705	271.3	225.9	191.7	153.5	130.9	108.4	82.4	54.8	44.1
3440201	FWD DOH	344	344	22.909	L2	8	0	0	2	704	210.6	180.9	156.2	124.8	105.7	94	74.1	52.9	45.4
3440201	FWD DOH	344	344	23.000	L2	8	0	0	2	697	224.5	192.7	166.2	133.9	113.5	96.7	75.3	52	43.5
3440201	FWD DOH	344	344	23.122	L2	8	0	0	2	708	161.1	134.4	114.9	91.9	77.1	63.5	47.8	33.5	28.3
3440201	FWD DOH	344	344	23.210	L2	8	0	0	2	707	180.6	155.6	135.2	112.5	98.1	85.6	70.2	49.6	45.1
3440201	FWD DOH	344	344	23.304	L2	8	0	0	2	704	304.3	205.1	148.6	122.1	110.4	105.7	89.9	64	58.2
3440201	FWD DOH	344	344	23.400	L2	8	0	0	2	709	187.6	149.7	125.9	106	93.8	86.9	72.8	53.2	47.5
3440201	FWD DOH	344	344	23.496	L2	8	0	0	2	705	272.7	225.8	183.1	132.3	101.9	79.2	58.9	38.3	31.2
3440201	FWD DOH	344	344	23.602	L2	8	0	0	2	704	356.2	294.9	231.9	177.3	138.1	104.6	75.4	50	42.3
3440201	FWD DOH	344	344	23.709	L2	8	0	0	2	704	315.7	265.1	218	165.4	134	104.7	78.2	52.1	43.3
3440201	FWD DOH	344	344	23.820	L2	8	0	0	2	702	284.1	243.9	202.5	153.7	122.8	94.7	67.4	46.2	39.8
3440201	FWD DOH	344	344	23.866	L2	8	0	0	2	703	272.2	222.4	177.6	129	105.8	82.7	55.3	38.8	32.8
3440201	FWD DOH	344	344	24.000	L2	8	0	0	2	711	251.1	198.1	156.6	110.7	84.8	56.4	36.9	23.5	19.1
3440201	FWD DOH	344	344	24.100	L2	8	0	0	2	704	281.9	229.8	185.8	128.6	98.8	72.7	49.3	34.7	29.7
3440201	FWD DOH	344	344	24.210	L2	8	0	0	2	702	310.4	257.5	214	161.5	131.3	104.7	76.9	51.2	40.4
3440201	FWD DOH	344	344	24.300	L2	8	0	0	2	704	341.8	270.7	202.5	136.8	96.4	69.5	53.5	39	36
3440201	FWD DOH	344	344	24.395	L2	8	0	0	2	710	339.5	258.6	205.3	131.3	95.1	61.2	40.1	26.6	23.8
3440201	FWD DOH	344	344	24.500	L2	8	0	0	2	704	309.2	247.8	187.6	132	97.2	61.8	43	30.5	27.9
3440201	FWD DOH	344	344	24.600	L2	8	0	0	2	710	517.8	407.7	304.5	186.2	127.6	90	69.3	52.7	47.4
3440201	FWD DOH	344	344	24.703	L2	8	0	0	2	704	514.3	385.7	286	184.4	131.2	84.3	55.1	35.2	28.5
3440201	FWD DOH	344	344	24.807	L2	8	0	0	2	703	410.3	303.6	234.7	158.3	115.4	76	49.4	34.2	28.7
3440201	FWD DOH	344	344	24.908	L2	8	0	0	2	706	730.5	556.3	410.3	257.7	188	137.9	105.6	76	62.7
3440201	FWD DOH	344	344	25.000	L2	8	0	0	2	706	683.7	568.6	452.5	329.5	252.7	176.2	117.4	72.2	54.9
3440201	FWD DOH	344	344	25.100	L2	8	0	0	2	705	152.4	106.8	85	69.8	57.7	45.6	32.7	22.2	18.3
3440201	FWD DOH	344	344	25.207	L2	8	0	0	2	709	113	80.7	64.4	51.4	43.6	35.1	25.9	17.1	14.4
3440201	FWD DOH	344	344	25.309	L2	8	0	0	2	707	89	65.6	53.3	43.2	35.4	30.2	23.2	16.6	13.7
3440201	FWD DOH	344	344	25.410	L2	8	0	0	2	707	132.5	101.2	80.4	63	51.7	39.8	28.8	19.3	15.9
3440201	FWD DOH	344	344	25.503	L2	8	0	0	2	703	175.4	148.4	125.1	104.8	93.1	85.4	71.2	51.8	46.4
3440201	FWD DOH	344	344	25.600	L2	8	0	0	2	703	179.7	148.4	127.2	104.9	91.5	82.6	69.1	49.6	45.1
3440201	FWD DOH	344	344	25.706	L2	8	0	0	2	702	157.2	125.6	107.1	87	74.6	63.1	50.4	36.5	32
3440201	FWD DOH	344	344	25.813	L2	8	0	0	2	704	101.8	80.7	68.5	59.1	51.4	43.9	35.9	26.5	23.9
3440201	FWD DOH	344	344	25.900	L2	8	0	0	2	694	116.8	82.7	65.6	57.1	51	49.5	42.1	32.8	29.3
3440201	FWD DOH	344	344	26.007	L2	8	0	0	2	703	168.5	118.5	97.8	83.1	74.8	72.3	62.5	47.3	42.3
3440201	FWD DOH	344	344	26.100	L2	8	0	0	2	701	149.2	115.3	97.9	85.1	78.6	79.2	70.2	53.5	47.1
3440201	FWD DOH	344	344	26.200	L2	8	0	0	2	704	175.6	129.7	106.3	86.5	78.4	78.1	65.5	50.8	43.8
3440201	FWD DOH	344	344	26.302	L2	8	0	0	2	703	118.3	78.7	61.7	50.1	42.8	36.1	27.7	20.1	16.3
3440201	FWD DOH	344	344	26.416	L2	8	0	0	2	708	115.8	81.6	66.8	54.4	48.4	42.8	34	23.7	19.1
3440201	FWD DOH	344	344	26.512	L2	8	0	0	2	708	72.5	48.9	38.4	31.5	26.6	23.6	19.3	14.5	12.9
3440201	FWD DOH	344	344	26.610	L2	8	0	0	2	710	83.7	56.5	43.5	36.2	30.8	27.3	22.1	16.3	14
3440201	FWD DOH	344	344	26.714	L2	8	0	0	2	706	93.7	62.7	50.4	41	36.3	31.9	25.4	17.3	15.9
3440201	FWD DOH	344	344	26.818	L2	8	0	0	2	708	87.4	61.6	49.7	41.3	35.5	30.7	23.4	16.1	12.7
3440201	FWD DOH	344	344	26.924	L2	8	0	0	2	699	133.7	105.2	94	82.9	77.6	81.3	74.1	58.5	54
3440201	FWD DOH	344	344	27.000	L2	8	0	0	2	707	77.8	54.5	45	38.5	35	33.7	30	23.9	22.3

รูปที่ 26 ตัวอย่างข้อมูล FWD จากเส้น 344 ชลบุรี-ระยอง

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> FWD อ่านค่า Chainage ที่ 22.102 ได้ว่า d_0 = 0.5324 mm, r = 1200 mm, d_r = 0.0806 mm และ D = ความหนาชั้นทางทั้งหมดเหนือชั้น Subgrade = 650 mm เพื่อคำนวณค่า SN_{eff}

$$M_R = \frac{0.24 \times P}{d_r \times r} = 14408.1\ psi$$

$$d_0 = 1.5pa\left\{\frac{1}{M_R\sqrt{1+\left(\frac{D^3}{a}\sqrt{\frac{E_p}{M_R}}\right)^2}} + \left[\frac{1-\frac{1}{\sqrt{1+(\frac{D}{a})^2}}}{E_p}\right]\right\}, E_p$$
$$= 54663.07\ psi$$

$$SN_{eff} = 0.0045D^3\sqrt{E_p} = 4.370414$$

ผลการคำนวณจะได้ค่า SN_{eff} = 4.37 และ $Subgrade\ CBR = \frac{14408.1 \times 0.00689}{10}$ = 9.93%

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> FWD อ่านค่า Chainage ที่ 22.510 ได้ว่า d_0 = 0.4083 mm, r = 1200 mm, d_r = 0.0547 mm และ D = ความหนาชั้นทางทั้งหมดเหนือชั้น Subgrade = 650 mm เพื่อคำนวณค่า SN_{eff}

$$M_R = \frac{0.24 \times P}{d_r \times r} = 21230.21\ psi$$

$$d_0 = 1.5pa\left\{\frac{1}{M_R\sqrt{1+\left(\frac{D^3}{a}\sqrt{\frac{E_p}{M_R}}\right)^2}} + \left[\frac{1-\frac{1}{\sqrt{1+(\frac{D}{a})^2}}}{E_p}\right]\right\}, E_p$$

$$= 68589.14\ psi$$

$$SN_{eff} = 0.0045D^3\sqrt{E_p} = 4.713857$$

ผลการคำนวณจะได้ค่า $SN_{eff} = 4.71$ และ $Subgrade\ CBR = \frac{21230.21\times0.00689}{10} = 14.64\%$

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> FWD อ่านค่า Chainage ที่ 24.300 ได้ว่า d_0 = 0.3418 mm, r = 1200 mm, d_r = 0.0535 mm และ D = ความหนาชั้นทางทั้งหมดเหนือชั้น Subgrade = 650 mm เพื่อคำนวณค่า SN_{eff}

$$M_R = \frac{0.24\times P}{d_r\times r} = 21706.4\ psi$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$d_0 = 1.5pa\left\{\frac{1}{M_R\sqrt{1+\left(\frac{D^3}{a}\sqrt{\frac{E_p}{M_R}}\right)^2}} + \left[\frac{1-\frac{1}{\sqrt{1+(\frac{D}{a})^2}}}{E_p}\right]\right\}, E_p$$

$$= 87987.57\ psi$$

$$SN_{eff} = 0.0045D^3\sqrt{E_p} = 5.121907$$

ผลการคำนวณจะได้ค่า $SN_{eff} = 5.12$ และ $Subgrade\ CBR = \frac{21706.4 \times 0.00689}{10} = 14.97\%$

<u>ตัวอย่างที่ 4</u> FWD อ่านค่า Chainage ที่ 24.600 ได้ว่า d_0 = 0.5178 mm, r = 1200 mm, d_r = 0.0693 mm และ D = ความหนาชั้นทางทั้งหมดเหนือชั้น Subgrade = 650 mm เพื่อคำนวณค่า SN_{eff}

$$M_R = \frac{0.24 \times P}{d_r \times r} = 16757.47\ psi$$

$$d_0 = 1.5pa\left\{\frac{1}{M_R\sqrt{1+\left(\frac{D^3}{a}\sqrt{\frac{E_p}{M_R}}\right)^2}} + \left[\frac{1-\frac{1}{\sqrt{1+(\frac{D}{a})^2}}}{E_p}\right]\right\}, E_p$$
$$= 54663.07\ psi$$

$$SN_{eff} = 0.0045D^3\sqrt{E_p} = 4.370414$$

ผลการคำนวณจะได้ค่า $SN_{eff} = 4.37$ และ $Subgrade\ CBR = \frac{16757.47 \times 0.00689}{10} = 11.55\%$

<u>ตัวอย่างที่ 5</u> FWD อ่านค่า Chainage ที่ 24.807 ได้ว่า d_0 = 0.4103 mm, r = 1200 mm, d_r = 0.0494 mm และ D = ความหนาชั้นทางทั้งหมดเหนือชั้น Subgrade = 650 mm เพื่อคำนวณค่า SN_{eff}

$$M_R = \frac{0.24 \times P}{d_r \times r} = 23507.95\ psi$$

$$d_0 = 1.5pa\left\{\frac{1}{M_R\sqrt{1+\left(\frac{D^3}{a}\sqrt{\frac{E_p}{M_R}}\right)^2}}+\left[\frac{1-\frac{1}{\sqrt{1+(\frac{D}{a})^2}}}{E_p}\right]\right\}, E_p$$
$$= 68589.14\ psi$$

$$SN_{eff} = 0.0045D^3\sqrt{E_p} = 4.713857$$

การคำนวณจะได้ค่า $SN_{eff} = 4.71$ และ $Subgrade\ CBR = \frac{23507.95\times0.00689}{10} = 16.21\%$

ตารางสรุปผลค่า SN_{eff} และ $Subgrade\ CBR$

ตัวอย่าง	d_0 (mm)	d_r (mm)	SN_{eff}	$Subgrade\ CBR$ (%)
1	0.5324	0.0806	4.37	9.93
2	0.4083	0.0547	4.71	14.64
3	0.3418	0.0535	5.12	14.97
4	0.5178	0.0693	4.37	11.55
5	0.4103	0.0494	4.71	16.21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 41 ค่าแนะนำ CBR ของดิน สำหรับโครงสร้างทาง

Pavement Course	Material	CBR
Base course	Good quality crushed rock	>80
	Good quality gravel	50 to 80
Subbase course	Good quality soil	30 to 50
	Very good	20 to 30
Subgrade	Good to fair	10 to 20
	Questionable to fair	5 to 10

(อ้างอิงจาก : Hooper and Marr,2003)

พิจารณาใช้ค่าในตัวอย่างที่ 1 และ 4 เนื่องจากมีค่า d_0 และ d_r สูงกว่าตัวอย่างอื่น อีกทั้งยังมีค่า Subgrade CBR ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 9.93-11.55% ใกล้เคียงกับค่าประมาณ 10% ต้นๆที่สุด ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์ค่าแนะนำ (ในระดับดี) CBR ของดิน สำหรับโครงสร้างทาง

3.5 การออกแบบการทดลอง

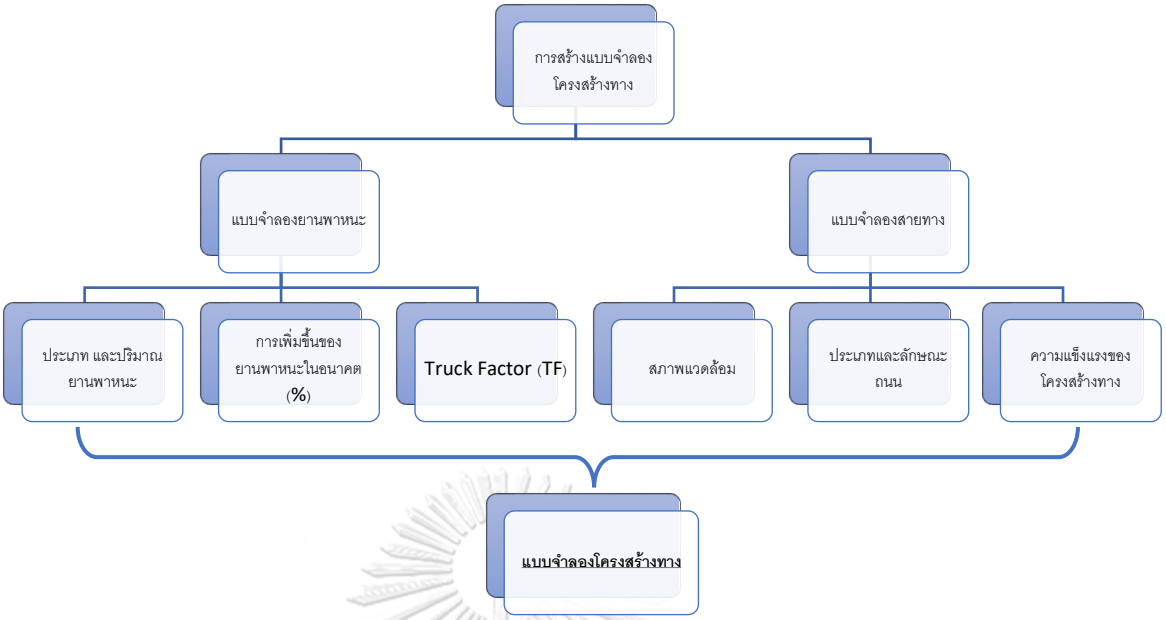
การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนที่มีผลต่อการซ่อมบำรุงออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

3.5.1 การเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

หลังจากการจำลองความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดจากการใช้งานของรถบรรทุกโดยการทดลอง Run Model ด้วยโปรแกรม HDM-4 จนครบจำนวนปีที่กำหนด คือ 20 ปี จึงทำการวิเคราะห์รูปแบบและผลความเสียหายของผิวทาง จากรูปแบบความเสียหายทั้งหมด 5 รูปแบบ คือ การแตกร้าว (Cracking), การหลุดร่อน (Ravelling), การเกิดหลุมบ่อ(Potholing), การเสียหายบริเวณขอบ (Edge-Break) และการเกิดร่องล้อ (Rut Depth) ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองจากแบบจำลองที่ผ่านมานั้น จึงทำการวิเคราะห์ผลของความเสียหายเพื่อหาแนวทางในการซ่อมบำรุง จากแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นทั้งหมด 6 แบบจำลอง โดยที่แบบจำลองที่ 1 สร้างขึ้นเพื่อใช้ทดลองและปรับแก้ความเหมาะสมภายในโปรแกรม HDM-4 ก่อนนำไปใช้จริงสำหรับงานวิจัย

3.5.2 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางบน HDM-4

กระบวนการสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ แบบจำลองยานพาหนะ และแบบจำลองสายทาง ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 ผังลำดับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโครงสร้างทาง

3.5.2.1 ความแข็งแรงโครงสร้างทาง

เป็นหนึ่งในตัวแปรที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของถนน ยิ่งความแข็งแรงมาก ค่าก่อสร้างสูง การซ่อมบำรุงจะน้อยลง ในทางกลับกันถ้ามีความแข็งแรงที่น้อย ค่าก่อสร้างต่ำ การซ่อมบำรุงจะมากขึ้น โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางตั้งแต่มีการก่อสร้าง การเสริมผิว การบูรณะ หรือการก่อสร้างใหม่ครั้งล่าสุด (SN) โดยอ้างอิงจากข้อมูล FWD เส้น 344 และสร้างเป็นแบบจำลองทั้งหมด 6 กรณี โดยที่แบบจำลองที่ 1 ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของตัวแปรที่ส่งผลกับสภาพผิวทาง ดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 แบบจำลองความแข็งแรงของโครงสร้างทาง

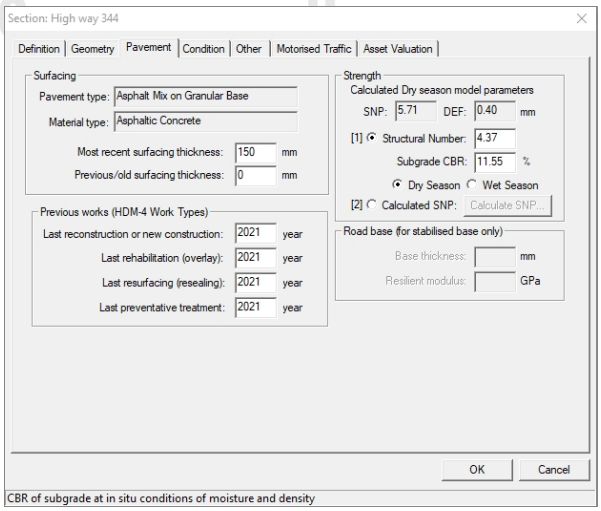
จำนวนแบบจำลอง	เงื่อนไข
แบบจำลองที่ 1	ไม่มีการ Calibration Factor (SN คงที่)
แบบจำลองที่ 2	Calibration Factor (SN คงที่)
แบบจำลองที่ 3	Calibration Factor และ เพิ่ม SN 20% โดยวิธี เพิ่มความหนาผิวทาง 5 ซม.
แบบจำลองที่ 4	Calibration Factor และ เพิ่ม SN 40% โดยวิธี เพิ่มความหนาผิวทาง 10 ซม.
แบบจำลองที่ 5	Calibration Factor และ ลด SN 20% โดยลดความหนาผิวทาง 5 ซม.
แบบจำลองที่ 6	Calibration Factor ลด SN 20% และปริมาณจราจร 40%

3.5.2.2 หน้าตัดถนนสำหรับสร้างแบบจำลอง

ลักษณะทางกายภาพของถนนเส้น 344 ชลบุรี-บ้านบึง เป็นถนนแอสฟัลต์คอนกรีต มีไหล่ทาง และมีจำนวนช่องจราจร 4 ช่องจราจร รวมทั้ง 2 ทิศทาง

➢ แบบจำลองความแข็งแรงโครงสร้างทาง

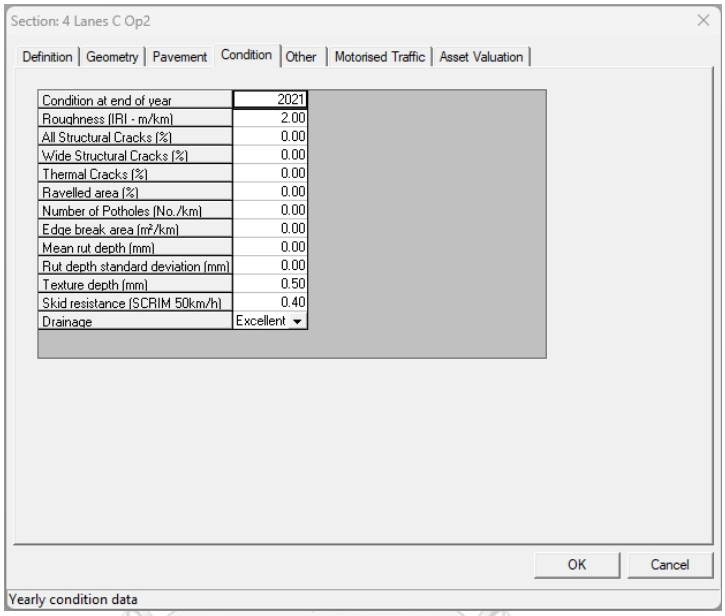
ใช้ค่า SN_{eff} (Structural Number) = 4.37 และ % Subgrade CBR = 11.55% ในการสร้างแบบจำลอง SNP ในโปรแกรม HDM-4



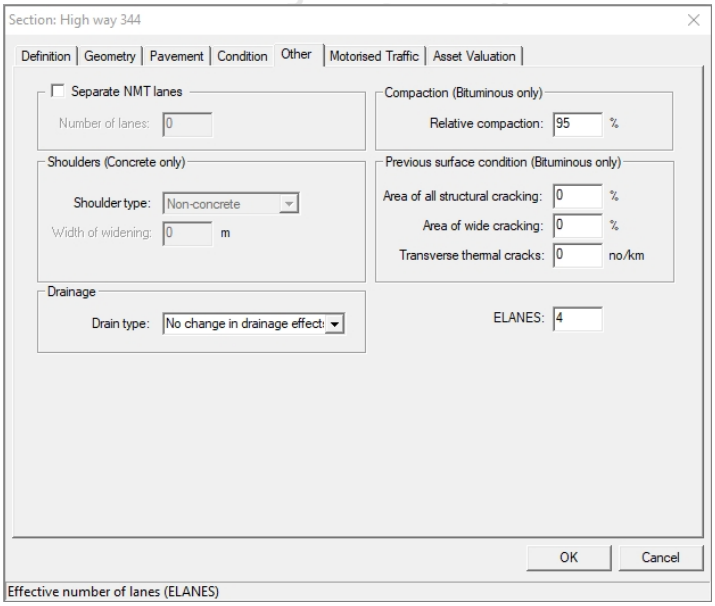
รูปที่ 28 แสดงผลการคำนวณค่า SNP และ DEF หลังจากกำหนดค่า SN และ Subgrade CBR

ผลการคำนวณค่า SNP และ DEF โดยโปรแกรม HDM-4 ออกมาให้เท่ากับ 5.71 และ 0.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ

แบบจำลองโครงสร้างทางที่จำลองด้วยโปรแกรม HDM-4 ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของถนนที่ถูกสร้างขึ้นมาใหม่จึงไม่มีการกำหนดความเสียหายรูปแบบใดๆในช่วงการเริ่มต้นการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงกำหนดค่า IRI =2.00 m/km



รูปที่ 29 แสดงรายละเอียดการกำหนดค่าสภาพของถนน



รูปที่ 30 แสดงรายละเอียดการกำหนดค่า Compaction

3.5.2.3 ประเภทและลักษณะถนน

ลักษณะทางกายภาพของทางหลวงสาย 344 ชลบุรี-บ้านบึง เป็นถนนแอสฟัลต์คอนกรีต มีไหล่ทาง และมีจำนวนช่องจราจร 4 ช่องจราจร รวมทั้ง 2 ทิศทาง

โดยข้อมูลหน้าตัดโครงสร้างทางที่ใช้ในการวิเคราะห์อยู่ในช่วง กม 20+000 – 25+000

ตารางที่ 43 แสดงรายละเอียดหน้าตัดชั้นทาง

Surface	150 mm	AC + AC Overlay
Base	200 mm	หินคลุก
Subbase	300 mm	หินลูกรัง

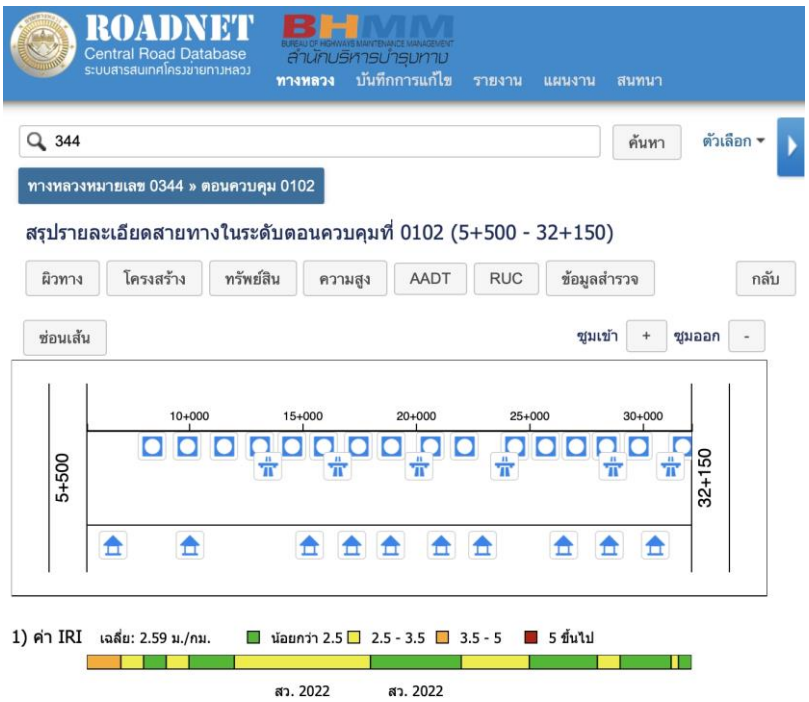
ตารางที่ 44 แสดงรายละเอียดแบบจำลองถนน

Length	1	Km
Carriageway Width	7	m
Shoulder Width	3.45	m

ตารางที่ 45 แสดงค่า IRI ที่จะนำมาใช้สร้างแบบจำลองถนน

IRI	ช่วง กม.	หน่วย
น้อยกว่า 2.0 – 3.5	20+000 – 25+000	m/km

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

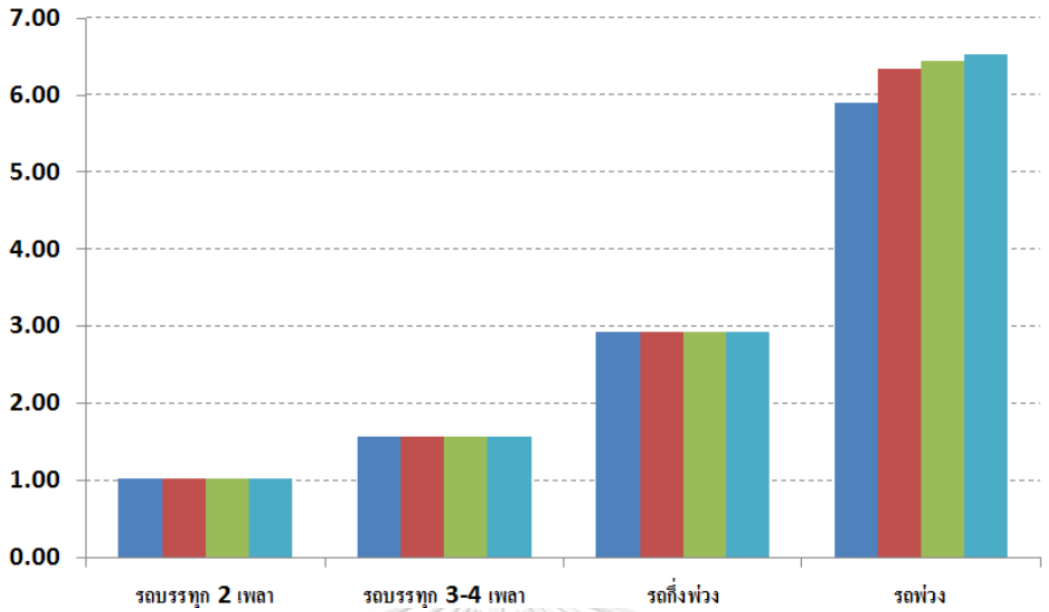


รูปที่ 31 แสดงข้อมูล IRI เส้น 344

(อ้างอิงจาก : สำนักบริหารและบำรุงทาง กรมทางหลวง)

3.5.2.4 ประเภทของยานพาหนะ

พิจารณาแบ่งรถบรรทุกออกเป็น 4 ประเภท คือ Medium Truck, Heavy Truck, Semi-Trailer และ Full Trailer และกำหนดค่า ESALF หรือ Truck Factor จากโครงการศึกษาพิกัดน้ำหนักรถบรรทุก วิทยาลัยโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยนเรศวร ดังรูปที่ 32



ชนิดรถบรรทุก	ประกาศ ทล 2552 (50.5 ตัน)	กรณี 53 ตัน	กรณี 56 ตัน	ผ่อนผันปีปัจจุบัน 2556 (58 ตัน)
รถบรรทุก 2 เพลา	1.03	1.03	1.03	1.03
รถบรรทุก 3-4 เพลา	1.57	1.57	1.57	1.57
รถกึ่งพ่วง	2.93	2.93	2.93	2.93
รถพ่วง	5.90	6.34	6.45	6.53

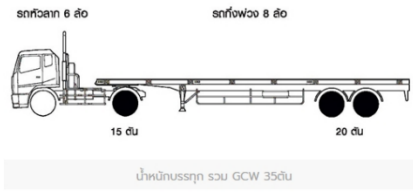
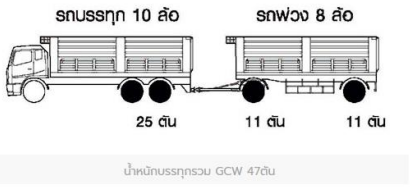
รูปที่ 32 ค่า Truck Factor ของรถบรรทุกสำหรับพิกัดน้ำหนักบรรทุกทั้ง 4 กรณี
(อ้างอิงจาก : โครงการศึกษาพิกัดน้ำหนักรถบรรทุก วิทยาลัยโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยนเรศวร)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- แบบจำลองยานพาหนะ

ข้อมูลยานพาหนะ สำรวจปี 2559 สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะอยู่ที่ 4%

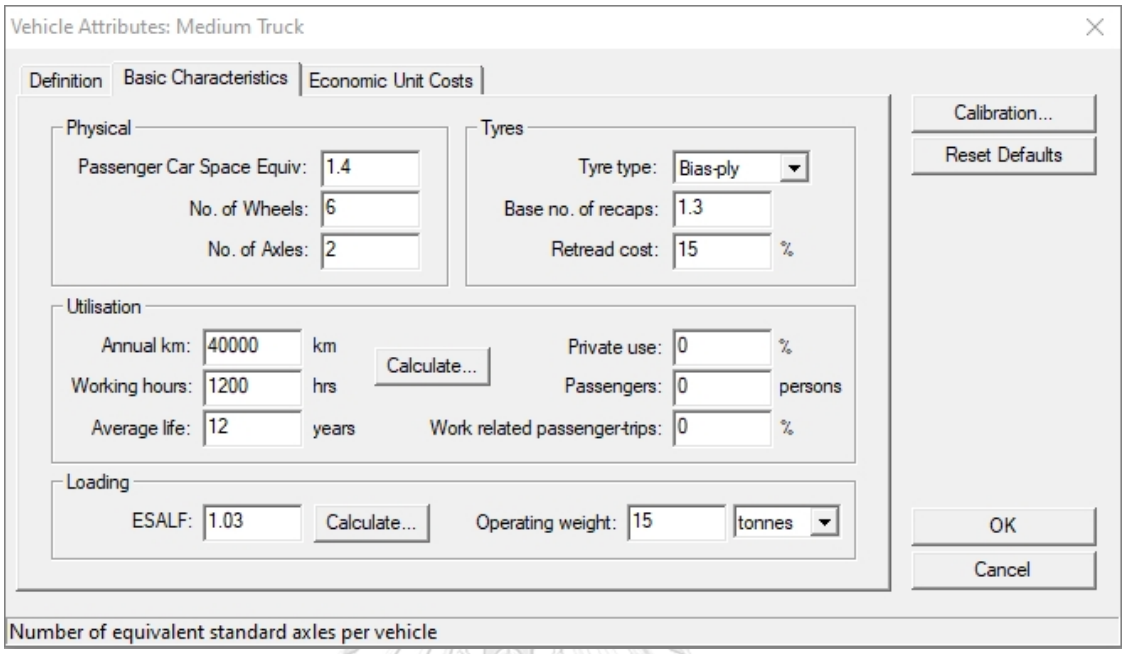
ตารางที่ 46 แสดงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับสร้างแบบจำลองยานพาหนะ

ประเภทรถบรรทุก	ปริมาณรถบรรทุก	จำนวนเพลา	น้ำหนักบรรทุก	จำนวนล้อ	ESALF
Medium Truck	1,327	2	15	6	1.03
Heavy Truck	1,214	3	25	10	1.57
Semi-Trailer 	1,412	4	35	14	2.93
Full-Trailer 	1,312	5	47	18	5.90

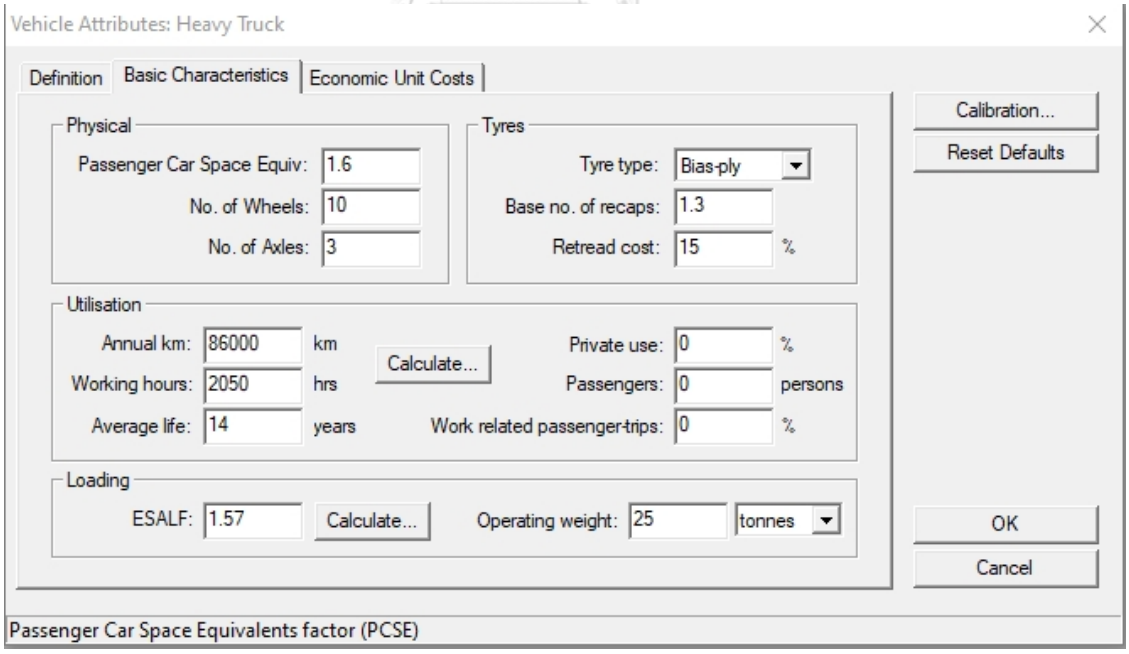
(อ้างอิงจาก : การวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะรถบรรทุกด้านวิศวกรรมโครงสร้างถนน โครงการศึกษาพิกัดน้ำหนักรถบรรทุก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

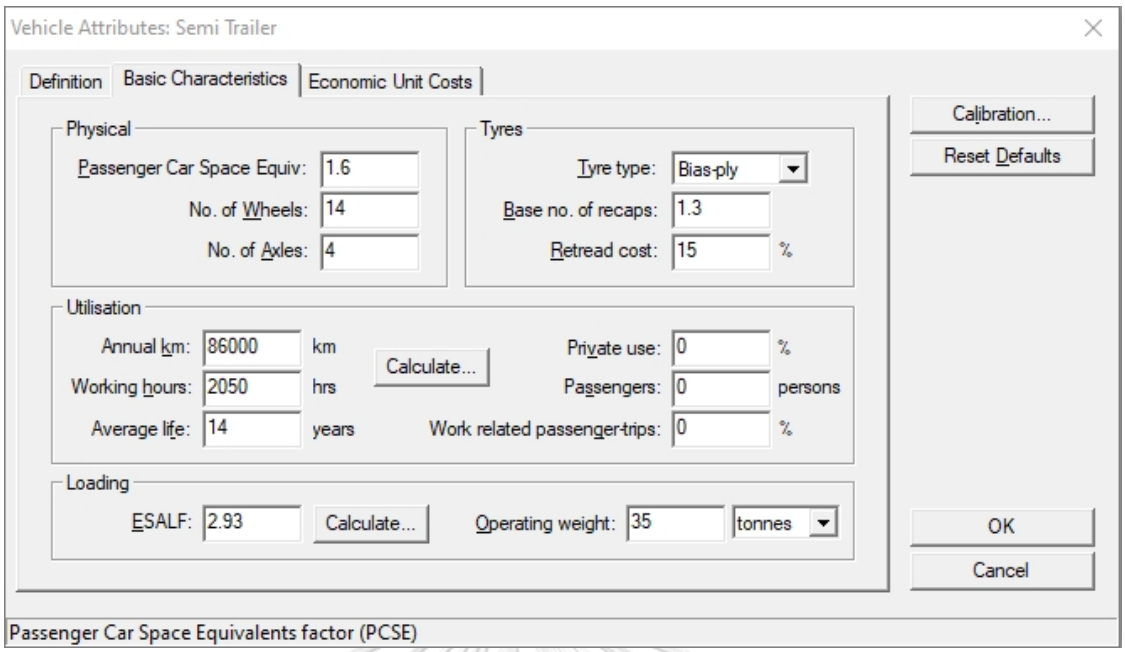
นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองยานพาหนะเพื่อใช้สำหรับทดลองความเสียหายบนแบบจำลองถนน



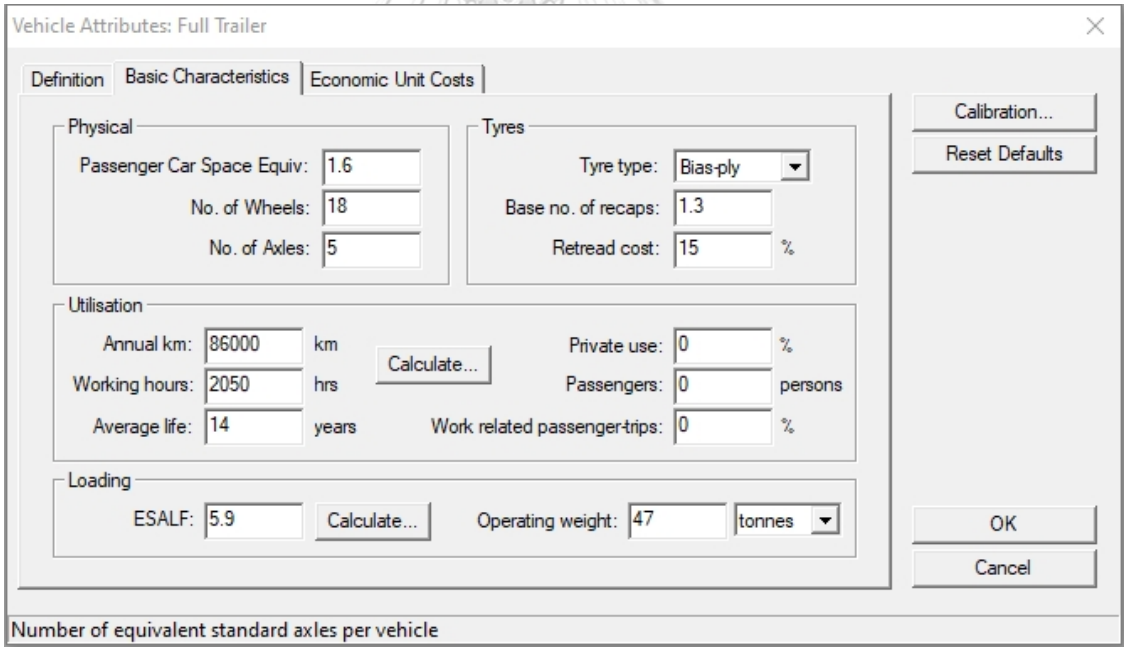
รูปที่ 33 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Medium Truck



รูปที่ 34 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Heavy Truck



รูปที่ 35 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Semi Trailer



รูปที่ 36 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Full Trailer

3.5.2.5 สภาพอากาศและสภาพแวดล้อม

สภาพภูมิอากาศที่ถนนตั้งอยู่มีผลกระทบอย่างมากต่ออัตราการเสื่อมสภาพของถนน ปัจจัยทางภูมิอากาศที่สำคัญเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และสภาพอากาศในฤดูหนาว ในหัวข้อนี้จะอธิบายข้อมูลภูมิอากาศหลักที่ใช้ในการจำลองการเสื่อมสภาพของถนนประเภทต่างๆ ที่พิจารณาใน HDM-4

<u>ปริมาณน้ำฝน (Precipitation)</u>

ปริมมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย (MMP) ถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางและ unsealed road deterioration แสดงเป็นหน่วย มม./เดือน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (PRECIP) ใช้ในการสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพของพื้นผิวคอนกรีตและแสดงเป็นนิ้วต่อปี

<u>ช่วงอุณภูมิ</u>

ช่วงอุณหภูมิ (TRANGE) หมายถึงช่วงอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายเดือน การคำนวณจะขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิสำหรับแต่ละเดือน ทั้งหมด 12 เดือน ดังนั้นใช้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดสำหรับแต่ละเดือน จากนั้นนำค่า 12 ค่าที่ได้รับมาเฉลี่ยเพื่อให้ได้ตัวแปร TRANGE ซึ่งใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองผิวทางคอนกรีต

ตารางที่ 47 Moisture classification

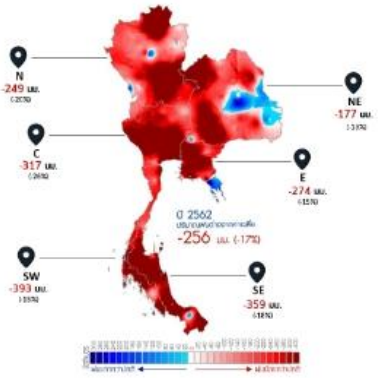
Moisture classification	Description	Thornthwaite moisture index	Annual precipitation (mm)
Arid	Very low rainfall, high evaporation	-100 to -61	< 300
Semi-arid	Low rainfall	-60 to -21	300 to 800
Sub-humid	Moderate rainfall, or strongly seasonal rainfall	-20 to +19	800 to 1600
Humid	Moderate warm seasonal rainfall	+20 to +100	1500 to 3000
Per-humid	High rainfall, or very many wet-surface days	> 100	> 2400

ตารางที่ 48 Temperature classification

Temperature classification	Description	Temperature range (°C)
Tropical	Warm temperatures in small range	20 to 35
Sub-tropical - hot	High day cool night temperatures, hot-cold seasons	-5 to 45
Sub-tropical - cool	Moderate day temperatures, cool winters	-10 to 30
Temperate - cool	Warm summer, shallow winter freeze	-20 to 25
Temperate - freeze	Cool summer, deep winter freeze	-40 to 20

ปริมาณฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศมีค่าประมาณ 1,467 มิลลิเมตร ปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะภูมิประเทศ เพราะฉะนั้นค่า Moisture classification จะใช้เป็น Sub-humid ตามเกณฑ์ที่ HDM-4 กำหนดคือ Annual precipitation อยู่ในช่วง 800 ถึง 1600 มิลลิเมตร

ตารางที่ 49 ค่าเฉลี่ย 30 ปี (2524-2553) ปริมาณน้ำฝน (มม.) ของประเทศไทย



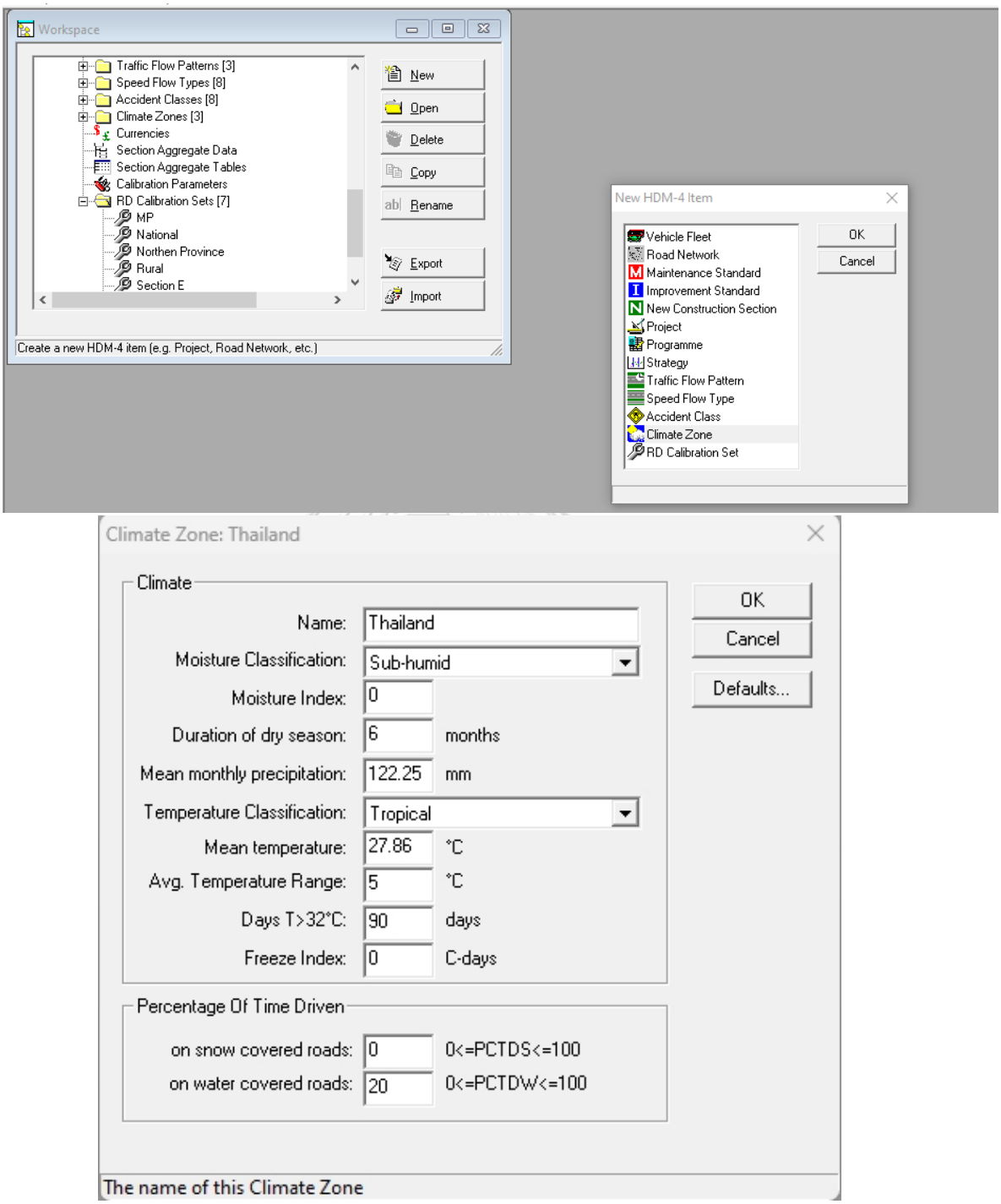
ปี 2562 ประเทศไทยมีปริมาณฝนน้อยกว่าค่าปกติ 17%

ภาค	ฝนปกติ	ฝนปี 2562	ปริมาณฝนที่ต่างจากปกติ	
			มิลลิเมตร	เปอร์เซ็นต์
ภาคเหนือ	1,232	983	-249	-20
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,384	1,207	-177	-13
ภาคกลาง	1,218	901	-317	-26
ภาคตะวันออก	1,848	1,572	-275	-15
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	1,972	1,614	-358	-18
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	2,535	2,142	-393	-15
ทั้งประเทศ	1,467	1,211	-256	-17

(อ้างอิงจาก : รายงานสถานการณ์น้ำประเทศไทย ปี 2562 (Thailand Water Situation 2019))

พ.ศ. 2564 ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 27.5 องศาเซลเซียส, ปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 28 องศาเซลเซียส และ ปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 28.1 องศาเซลเซียส อุณภูมิเฉลี่ย 3 ปีย้อนหลัง $\frac{27.5+28+28.1}{3} = 27.86$ องศาเซลเซียส เพราะฉะนั้นค่า Temperature classification จะใช้เป็น Tropical ตามเกณฑ์ที่ HDM-4 กำหนดคือ Temperature range (℃) อยู่ในช่วง 20 ถึง 35

สร้างแบบจำลองสภาพอากาศที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย โดยหลัก ๆ ทาง HDM-4 ใช้ปริมาณน้ำฝนรายปี และช่วงอุณภูมิในการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 37 รายละเอียดการสร้างแบบจำลองสภาพอากาศที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

3.5.3 คุณภาพของการก่อสร้าง (Construction Quality)

คุณภาพของการก่อสร้างที่ต่ำกว่ามาตรฐานจะส่งผลให้คุณสมบัติและประสิทธิภาพของวัสดุมีความแปรปรวนมากขึ้น โดยที่ HDM-4 ไม่ได้ให้วิธีการสร้างแบบจำลองสัดส่วนของถนนที่แบ่งได้ว่า ดี ปกติ และย่ำแย่ ดังนั้นจึงคิดเฉลี่ยเฉพาะข้อบกพร่องในการก่อสร้างเท่านั้น ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้าง (CDS และ CDB) ที่ใช้ในแบบจำลองการเสื่อมสภาพจะอธิบายได้ดังนี้

3.5.3.1 CDS (Construction Defects indicator for bituminous Surfacings)

คือตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับผิวทางลาดยาง โดยที่ CDS เป็นตัวแปรต่อเนื่อง โดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0.5 ถึง 1.5 ในส่วนของการวิเคราะห์ความเสียหาย CDS ใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าผิวทางลาดยางมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกร้าว (Crack) และการหลุดร่อน (Ravelling) หรือไม่ โดยที่แนวโน้มการเกิดรูปแบบความเสียหายทั้งสองจะสูงเมื่อมีค่า CDS ที่ต่ำ และมีแนวโน้มที่จะเกิดร่องล้อ (Rutting) จาก Plastic deformation โดยที่แนวโน้มการเกิดรูปแบบความเสียหายจะสูงเมื่อมีค่า CDS ที่สูง ในการสร้างแบบจำลองครั้งนี้กำหนดค่า CDS เท่ากับ 1

3.5.3.2 CDB (Construction Defects indicator for the base)

คือตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างฐาน โดยที่ CDB เป็นตัวแปรต่อเนื่องตั้งแต่ 0 (ไม่มีข้อบกพร่องในการก่อสร้าง) และ 1.5 (ข้อบกพร่องหลายอย่าง) ประเภทของข้อบกพร่องที่ควรพิจารณาในการกำหนดค่า CDB ในส่วนของการวิเคราะห์ความเสียหาย CDB ใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าผิวทางมีแนวโน้มที่จะเกิดหลุมบ่อ (Potholing) หรือไม่ ในการสร้างแบบจำลองครั้งนี้กำหนดค่า CDS เท่ากับ 0

ตารางที่ 50 การเลือกตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิวทางลาดยาง

Surfacing condition		CDS
Dry (Brittle)	Nominally about 10% below design optimal binder content	0.5
Normal	Optimal binder content	1.0
Rich (Soft)	Nominally about 10% above design optimal binder content	1.5

ตารางที่ 51 การเลือกตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างชั้นพื้นทาง

Construction defect	CDB
Poor gradation of material	0.5
Poor aggregate shape	0.5
Poor compaction	0.5

การบดอัดสัมพัทธ์ของชั้น base, sub-base และ selected subgrade (COMP) มีความสำคัญในการคาดการณ์ความหนาแน่นเริ่มต้นของร่องล้อ Paterson (1987) ให้สมการคำนวณ COMP แต่มีการเสนอให้ผู้ใช้สามารถประมาณค่าตามตารางที่ 52

ตารางที่ 52 ค่าเริ่มต้นสำหรับการบดอัดสัมพัทธ์

Compliance	Relative Compaction COMP (%)
Full compliance in all layers	100
Full compliance in some layers	95
Reasonable compliance in most layers	90
Poor compliance in most layers	85

3.5.4 ระยะเวลา

ในงานวิจัยครั้งนี้กำหนดระยะเวลาตามอายุการใช้งานของประเภทผิวทางซึ่งงานวิจัยนี้ใช้เป็นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต จึงกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเป็น 20 ปี

3.5.5 เงื่อนไขในการซ่อมบำรุง

สำหรับประเทศไทยนั้นในปัจจุบันถนนที่ก่อสร้างใหม่จะมีค่า IRI เท่ากับ 2.0 เมตร/กิโลเมตร หรือน้อยกว่า โดยที่ระหว่างปีที่คาดการณ์ได้พิจารณาซ่อมบำรุงแบบ Slurry seal สาเหตุมาจากในช่วง 5 ปีแรกที่ดำเนินการทดลองรันแบบจำลองพบว่าช่วงเวลาดังกล่าวเริ่มเกิดการแตกร้าวของโครงสร้างทางอยู่ที่ 1-5% โดยเริ่มเกิดขึ้นในปีที่ 4 ซึ่งมีค่าการแตกร้าวเท่ากับ 3% เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมก่อนการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่จึงกำหนดให้มีการซ่อมบำรุงด้วย Slurry seal เมื่อถนนเริ่มต้นแตกร้าว และกำหนดระยะห่าง 2 ปี ตามการค้ำประกันงานก่อนที่จะดำเนินการซ่อมบำรุงใหญ่ด้วยวิธี Mill and Overlay ต่อไป และเมื่อถนนที่มีค่า IRI มากกว่าหรือเท่ากับ 2.6 เมตร/กิโลเมตร จะดำเนินการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ โดยการพิจารณาจากค่า IRI เฉลี่ย ต่อเนื่องหลายปี โดยใช้ข้อมูล IRI ที่ได้เก็บบันทึกจาก Roadnet2 สำนักบริหารและบำรุงทาง กรมทางหลวง จึงได้กำหนดเกณฑ์เชิงนโยบายว่า IRI ไม่เกิน 2.60 และได้พิจารณาค่าดังกล่าวเป็นเกณฑ์ในการซ่อมบำรุง โดยที่ค่าที่สูงเกินเกณฑ์จำเป็นต้อง

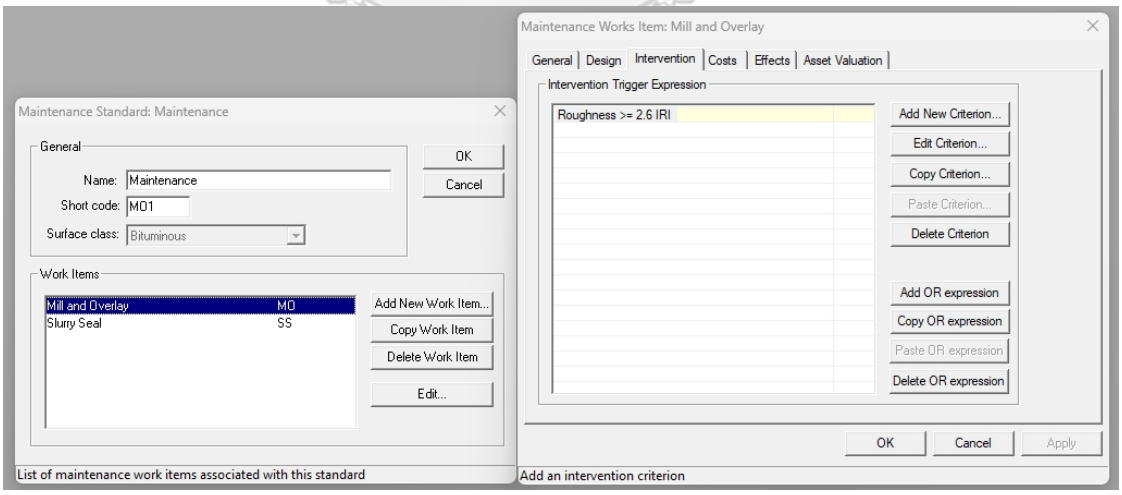
บำรุงรักษาด้วยวิธีการ Mill and Overlay โดยมีเงื่อนไขและค่าใช้จ่ายในการกำหนดการซ่อมบำรุง ดังตารางที่ 53

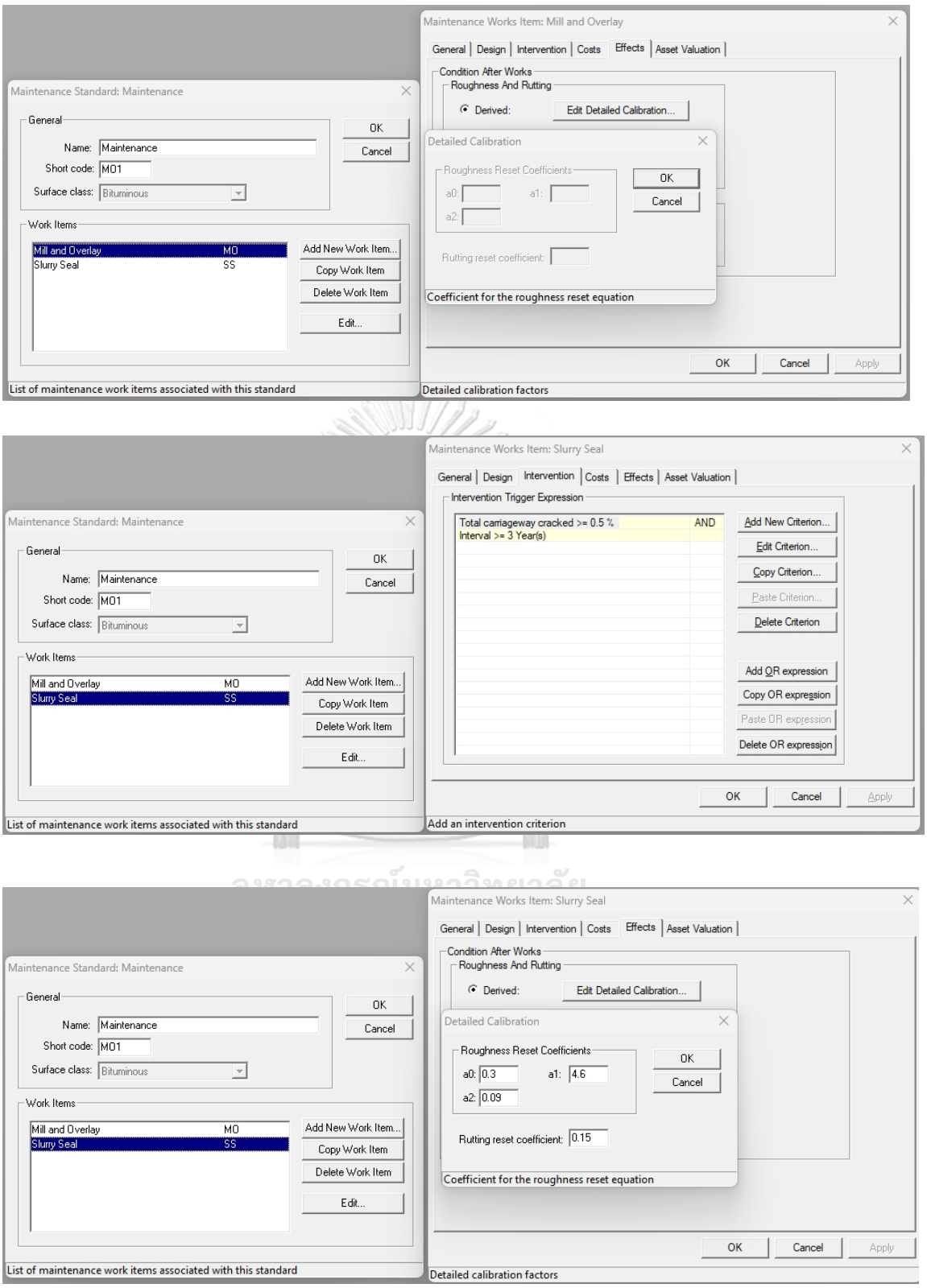
ตารางที่ 53 เงื่อนไขและค่าใช้จ่ายในการกำหนดการซ่อมบำรุงรักษา

รูปแบบการซ่อมบำรุง	เงื่อนไข	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม)
Mill and Replace (Milling of existing asphalt concrete surface 5 cm. thick + Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick)	IRI $\geq$ 2.60 IRI m/km	322.79 บาท = 8.39 USD
Slurry Seal Type 2 (10 mm)	Cracking Initiation = 0.5%	111 บาท =2.89 USD

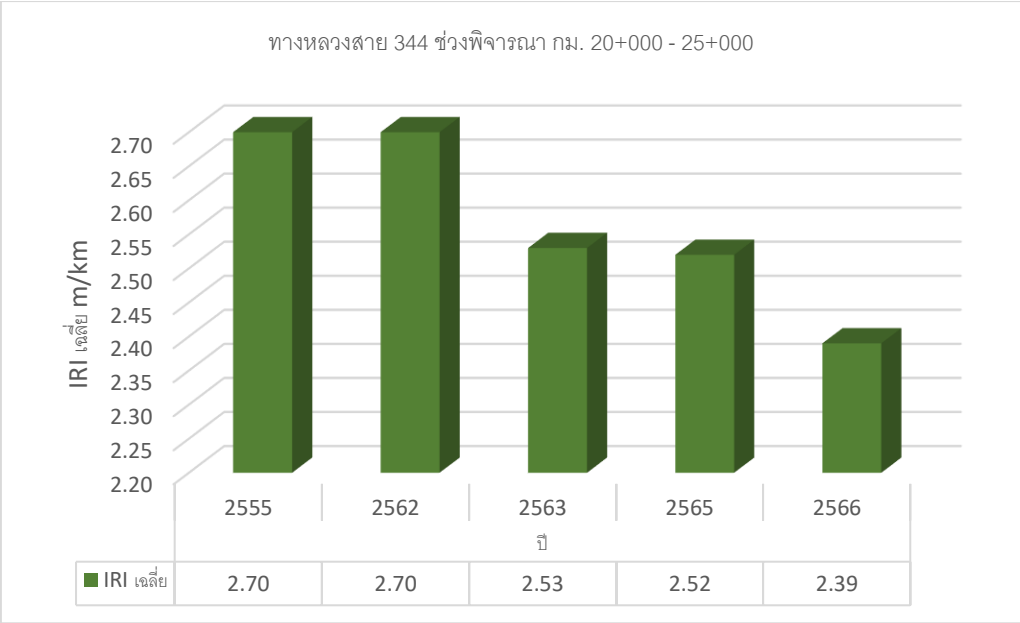
หมายเหตุ : 1 บาท เท่ากับ 0.026 USD ณ เดือน 10 ปี 2565

(อ้างอิงจาก : บัญชีแสดงปริมาณราคาวัสดุก่อสร้าง แยกทางหลวงหมายเลข 32 (บ้านต้นโพธิ์ - บ้านเกาะ))





รูปที่ 38 แบบจำลองการบำรุงรักษาด้วยวิธี Mill and Overlay และวิธี Slurry Seal



รูปที่ 39 กราฟแท่งค่าเฉลี่ย IRI บนทางหลวงสาย 344 ชลบุรี-แกลง ช่วง กม. 20+000 – 25+000 (อ้างอิงจาก : Roadnet 2 สำนักบริหารและบำรุงทาง กรมทางหลวง)

3.5.6 การ Calibration Factor เพื่อให้เหมาะสมกับประเทศไทย

การ Calibration Factor นั้นเป็นการปรับแก้ค่าความหยาบของผิวทางที่มีผลมาจากสภาพแวดล้อมภายในประเทศไทย รวมไปถึงคุณภาพในการก่อสร้าง สภาพอากาศในท้องถิ่นนั้นๆ และคุณภาพของ Bitumen ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแข็งแรงของโครงสร้างทางและระยะเวลา ช้า-เร็ว ในการเกิดความเสียหาย โดยที่ HDM-4 แบ่งระดับการ Calibration สำหรับแบบจำลองต่างๆออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 : Application : จากการศึกษาข้อมูลที่มีอยู่และประสบการณ์ด้านวิศวกรรมของประสิทธิภาพผิวทาง

ระดับที่ 2 : Verification : ขึ้นอยู่กับข้อมูลสภาพผิวทางที่วัดได้ซึ่งรวบรวมจากส่วนของถนนจำนวนมาก

ระดับที่ 3 : Adaptation : การรวบรวมข้อมูลเชิงทดลองที่จำเป็นในการตรวจสอบประสิทธิภาพระยะยาวของผิวทางภายในพื้นที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การ Calibration ระดับที่ 1 Application เนื่องจากข้อจำกัดด้านข้อมูลที่มีจำกัดและข้อมูลความเสียหายไม่ได้มีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง โดยที่การ Calibration ระดับที่ 1 จะปรับปัจจัยการเสื่อมสภาพ 3 ประการแรก คือ Roughness – Age – Environment, การเริ่มต้นรอยร้าว และความก้าวหน้าของรอยร้าว (Bennett & Paterson, 2000) ซึ่งมีรายละเอียดการ Calibration ดังนี้

1. Roughness – Age – Environment Adjustment Factor

ปัจจัยนี้กำหนดจำนวนความก้าวหน้าของความหยาบที่เกิดขึ้นทุกปีบนพื้นฐานที่ไม่ขึ้นกับเวลาของโครงสร้าง แต่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมของผิวทางและเป็นพารามิเตอร์ข้อมูลอินพุตอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการปรับเทียบมาตรฐาน ปัจจัยปรับค่าสัมประสิทธิ์สภาพแวดล้อม m ซึ่งมีค่าฐาน 0.023 ในแบบจำลอง ซึ่งคิดเป็น 2.3% ของการเปลี่ยนแปลงต่อปีโดยไม่ขึ้นกับการรับส่งข้อมูล นั่นคือ

$$\Delta R_{te} = K_{gm} 0.023 R_t \tag{3.40}$$

เมื่อ:

ΔR_{te} คือ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบความหยาบเนื่องจากสภาพแวดล้อมในการวิเคราะห์ที่เพิ่มขึ้น 1 ปี

K_{gm} คือ the roughness – age – environment factor

R_t คือ ความหยาบเมื่อต้นปี t

สำหรับ Calibration ระดับ 1 ค่าจะกำหนดจากสภาพแวดล้อมทั่วไป การก่อสร้างถนน และมาตรฐานการระบายน้ำ ดังนี้:

ขั้นตอนที่ 1

เพื่อระบุสภาพแวดล้อมที่ใช้ได้กับบริเวณใกล้เคียงของโครงการถนนในแง่ของการจำแนกประเภทที่ระบุไว้ในตาราง 54 เนื่องจากถนนตั้งอยู่ในเขตร้อนซึ่งมีช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส จึงใช้ระดับอุณหภูมินี้ และตามข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่นำเสนอในส่วนสภาพอากาศและสภาพแวดล้อม ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีของประเทศไทย อยู่ที่ 1,467 มม. ดังนั้นการจำแนกความชื้นของถนนจะเป็นแบบ Sub-humid

ตารางที่ 54 Classification of Road Environment (Source: Bennett & Paterson, 2000)

Temperature classification	**Description**	**Typical temperature range (°C)**	
Tropical	Warm temperatures in small range	20 to 35	
Subtropical - hot	High day cool night temperatures, hot-cold seasons	-5 to 45	
Subtropical - cool	Moderate day temperatures, cool winters	-10 to 30	
Temperate - cool	Warm summer, shallow winter freeze	-20 to 25	
Temperate - freeze	Cool summer, deep winter freeze	-40 to 20	
Moisture classification	**Description**	**Typical moisture index**	**Typical annual precipitation (mm)**
Arid	Very low rainfall, high evaporation	-100 to -61	< 300
Semi-arid	Low rainfall	-60 to -21	300 to 800
Sub-humid	Moderate rainfall, or strongly seasonal rainfall	-20 to 19	800 to 1600
Humid	Moderate warm season rainfall	20 to 100	1500 to 3000
Per-humid	High rainfall, or very many wet-surface days	> 100	> 2400

ขั้นตอนที่ 2 ตามการจัดประเภทสิ่งแวดล้อม ค่าที่เหมาะสมของ m ถูกเลือกจากตาราง 55 จะได้เท่ากับ 0.020

ตารางที่ 55 Recommended Values of Environmental Coefficient, m (Source: Bennett & Paterson, 2000)

Moisture classification	Temperature classification			
	Tropical	Subtropical non-freezing	Temperate - shallow freeze	Temperate - extended freeze
Arid	0.005	0.010	0.025	0.040
Semi-arid	0.010	0.016	0.035	0.060
Subhumid	0.020	0.025	0.060	0.100
Humid	0.025	0.030	0.100	0.200
Perhumid	0.030	0.040		

ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดค่า m ที่มีประสิทธิภาพโดยการคูณด้วยปัจจัยที่กำหนดตามมาตรฐานการก่อสร้างถนนและการระบายน้ำ อ้างอิงจากตาราง 56 จะได้ $K_m = 1.0$ ดังนั้น m_{eff} จึงคำนวณได้ดังนี้

$$m_{eff} = mK_m = 0.020 \times 1.0 = 0.020$$

เมื่อ:

m_{eff} คือ effective environmental coefficient

K_m คือ การปรับวัสดุและการระบายน้ำ

ขั้นตอนที่ 4

เป็นการคำนวณค่า K_{gm} จาก m_{eff} ดังนี้

$$K_{gm} = \frac{m_{eff}}{0.023} = \frac{0.02}{0.023} = 0.8695 \approx 0.870$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 56 Modifying Factor of Environmental Coefficient for Road Construction and Drainage Effects

Construction and drainage	Non-freezing environments	Freezing environments
High standard materials and drainage; for example, motorways, raised formation, free-draining or non-frost-susceptible materials, special drainage facilities.	0.6	0.5
Material quality to normal engineering standards; drainage and formation adequate for local moisture conditions, and moderately maintained.	1.0	1.0
Variable material quality in pavement, including moisture or frost-susceptible materials; drainage inadequate or poorly maintained, or formation height near water table.	1.3	1.5
Swelling soil subgrade without remedial treatment	1.3 - 2.0	1.2 - 1.6

(อ้างอิงจาก : Bennett & Paterson, 2000)

2. Cracking Initiation Adjustment Factor (ค่าพื้นฐานคือ 1 : ค่าการแตกร้าวจะเปลี่ยนแปลงตามตัวแปร 3 ตัว)

การเริ่มต้นการแตกร้าวถูกคาดการณ์ในแง่ของเวลาจนถึงการแตกร้าวครั้งแรกที่มองเห็นได้ และเมื่ออายุของพื้นผิวครั้งแรกเกินกว่าเวลานี้ จะถือว่าการแตกร้าวเริ่มต้นขึ้น ปัจจัยการปรับเป็นตัวคูณง่ายๆ ของเวลาในการแตกร้าวครั้งแรก นั่นคือ:

$$TY_{cra} = K_{cia}TY \tag{3.41}$$

เมื่อ:

TY_{cra} คือ เวลาที่คาดว่าจะเห็นรอยร้าวครั้งแรกในรอบหลายปี

K_{cia} คือ Calibration factor

TY คือ เวลาที่เริ่มเห็นรอยร้าวครั้งแรกในรอบหลายปีที่สังเกตได้

รอยร้าวที่สังเกตได้คือ interactive fatigue effects ของความแข็งแรงของผิวทาง การรับน้ำหนักของการจราจร และผลกระทบด้านความทนทานของอายุ

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ความสัมพันธ์ข้างต้นไม่สามารถทำได้คือการระบุว่าการออกแบบ วัสดุ การผลิต และคุณภาพการก่อสร้างเป็นที่น่าพอใจเพียงใด ยกเว้นในแง่ค่าเฉลี่ย การปรับเทียบมาตรฐาน." K_{cia}" ดังนั้นจึงถือว่าชดเชยสิ่งเหล่านี้

สมมติว่าผลกระทบของโครงสร้างที่คาดการณ์ไว้นั้นถูกต้อง การ Calibration ระดับ 1 จะพยายามประเมินปัจจัยการสอบเทียบโดยการประมาณคุณภาพของพื้นผิว Bituminous แต่ละประเภท ฯลฯ ปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้และจัดหมวดหมู่ตามข้อเท็จจริงทั่วไปของข้อมูลถนน

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ในการประเมินคุณภาพของ Bitumen

- คุณภาพสูง (HB)

  กลั่นโดยบริษัทน้ำมันระหว่างประเทศเพื่อการใช้งานเฉพาะในอุตสาหกรรมทางหลวง จากแหล่งน้ำมันดิบที่คัดสรรแล้วและมีปริมาณไขต่ำ

- คุณภาพต่ำ (LB)

  ผลิตโดยโรงกลั่นในท้องถิ่นหรือจากแหล่งน้ำมันดิบที่มีไขสูง มีความต้านทานต่อออกซิเดชันต่ำ

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> ประเมินการเกิดออกซิเดชันที่อาจเกิดขึ้นจากบรรยากาศบนพื้นผิวถนนที่เปิดโล่งตามสภาพอากาศในท้องถิ่น

- ออกซิไดซ์สูง (HO)

  เมฆปกคลุมต่ำ แสงแดดสูง พื้นที่สูง พื้นที่โอโซนลดลง

- ออกซิไดซ์ปานกลาง (MO)

  ผสมระหว่างแสงแดดและเมฆปกคลุม ระดับความสูงคือ ต่ำถึงปานกลาง

- ออกซิไดซ์ต่ำ (LO)

  มีเมฆปกคลุมบ่อย ระดับความสูงคือ ต่ำ อากาศเย็นชื้นหรือมีฝนตกชุก

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> ประเมินคุณภาพการก่อสร้าง

- สูง (HC)

  การควบคุมอุณหภูมิของสารยึดเกาะอย่างระมัดระวัง ปริมาณสารยึดเกาะที่เพียงพอ ช่องว่างอากาศต่ำในส่วนผสมของยางมะตอย (หรือการบดอัดที่ดี) โรงงาน

ผสมและอุปกรณ์บดอัดที่มีมาตรฐานสูง การใช้ Bitumen ปานกลางหรืออ่อน (เช่น 80/100 penetration or higher)

- ปกติ (FC)

ระดับปานกลางหรือแปรผันตามคุณสมบัติด้านบน

- ต่ำ (LC)

สารยึดเกาะมีความร้อนสูงเกินไป ปริมาณสารยึดเกาะต่ำ มีช่องว่างอากาศสูงในส่วนผสมแอสฟัลต์ (หรือการบดอัดไม่ดี) การใช้ Bitumen แข็งจำนวนมาก (40/50 หรือ 60/70 penetration)

จากการกำหนดเงื่อนไขด้านบนเพื่อให้เป็นไปตามรูปแบบภายในประเทศไทยมากที่สุดจะได้ว่า

1. Bitumen คุณภาพสูง
2. Oxidizing ปานกลาง และ
3. Construction quality ต่ำ

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> เพื่อเลือกค่าปัจจัยการปรับตาม Bitumen quality, Oxidizing climate และ Construction quality จากตาราง 57 จะได้ค่า $K_{ci} = 1.0$ (ค่าเริ่มต้น) กรณีปรับค่า Construction quality เป็น Medium และ Oxidizing climate เป็น Low จะได้ค่า $K_{ci} = 1.1$ และในกรณี Construction quality เป็น Low และ Oxidizing climate เป็น Medium จะได้ค่า $K_{ci} = 0.8$

ตารางที่ 57 Level 1 Adjustment Factor for Cracking Initiation

Construction Quality	Bitumen quality	Oxidizing climate		
		High	Medium	Low
High	High	1.0	1.2	1.5
	Low	0.8	1.0	1.1
Medium	High	0.8	**1.0**	1.1
	Low	0.6	0.8	0.9
Low	High	0.6	0.8	0.9
	Low	0.4	0.6	0.7

(อ้างอิงจาก : Bennett & Paterson, 2000)

3. Cracking Progression Adjustment Factor

คู่มือการ Calibration และการนำไปใช้เปิดเผยว่าอัตราความก้าวหน้าของการแตกร้าวในปีที่วิเคราะห์เป็นฟังก์ชันของพื้นที่การแตกร้าว ประเภทพื้นผิว และปัจจัยอื่นๆ ดังนั้นปัจจัยการปรับจะคูณจำนวนที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของการแตกร้าว

สำหรับการ Calibration ระดับ 1 แนะนำให้ใช้ปัจจัยตรงกันข้ามกับปัจจัยเริ่มต้นการแตกร้าว นั่นคือ

$$K_{cp} = \frac{1}{K_{ci}} = \frac{1}{1} = 1.0 \text{ กรณี } K_{ci} = 1.1$$

$$\text{จะได้ค่า } K_{cp} = \frac{1}{K_{ci}} = \frac{1}{1.1} = 0.91$$

$$\text{และในกรณี } K_{ci} = 0.8$$

$$\text{จะได้ค่า } K_{cp} = \frac{1}{K_{ci}} = \frac{1}{0.8} = 1.25$$

4. Rut Depth Progression Adjustment Factor

การเพิ่มขึ้นของการคาดการณ์ความลึกของร่องเป็นฟังก์ชันเชิงลบที่รุนแรงของความลึกของร่องที่มีอยู่, ระดับการบดอัด, ความแข็งแรงของผิวทาง และไม่ว่าพื้นผิวจะ Overlay หรือไม่

ปัจจัยการ Calibration เป็นตัวคูณโดยตรงของการเพิ่มขึ้นที่คาดการณ์ ดังนั้นปัจจัยที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งความก้าวหน้าของความลึกของร่อง อย่างไรก็ตาม คู่มือการ Calibration ระบุว่าการ Calibration ระดับที่ 1 นั้นไม่จำเป็น

5. General Roughness Progression Factor

โครงสร้างและค่าสัมประสิทธิ์ของการคาดการณ์ความก้าวหน้าของความหยาบได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเชื่อถือได้มากในหลายๆ ประเทศและภูมิอากาศ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยนี้ในการ Calibration ระดับ 1

6. Raveling Initiation Factor

เนื่องจากการหลุดร่อนและหลุมบ่อนั้นไม่ครอบคลุมในทางปฏิบัติ และเนื่องจากปัจจัยการปรับสำหรับการเริ่มต้นการหลุดร่อนมีผลกระทบต่ำต่อการใช้งานส่วนใหญ่ จึงมีเหตุผลที่จะคงค่าเริ่มต้นไว้ที่ 1 ไว้

7. Potholing Progression Adjustment Factor

ด้วยเหตุผลเดียวกัน เนื่องจากปัจจัยการปรับสำหรับหลุมบ่อมีผลกระทบต่ำต่อทางเลือกในการบำรุงรักษาส่วนใหญ่ ยกเว้นการปะซ่อมและการบำรุงรักษาที่ต่ำมาก จึงมีเหตุผลในกรณีส่วนใหญ่ที่จะใช้ค่าเริ่มต้นที่ 1

3.5.6.1 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากการไม่ปรับแก้

3.5.6.1.1 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตลอดระยะเวลา 20 ปี โดยไม่มีการบำรุงรักษา และไม่มีการปรับแก้

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 40, 41 และ 42 นั้นแสดงให้เห็นว่าที่สิ้นปีการวิเคราะห์ที่ 8 ค่า IRI เพิ่มขึ้นจากเดิม 2.00 มาเป็น 2.91 และค่าการแตกร้าวจากเดิม 0% มาเป็น 22% และสิ้นปีการวิเคราะห์ที่ 9 ค่า IRI เพิ่มขึ้น 3.09 และค่าการแตกร้าวเป็น 35% แสดงให้เห็นภายหลังจากปีที่ 9 เป็นต้นไป ค่า IRI จัดอยู่ในระดับที่เริ่มแย่ และการลุกลามของรอยแตกร้าวมีแนวโน้มจะพัฒนาไปเป็นความเสียหายแบบหลุมบ่อ หรือหลุดร่อน หรือเกิดขึ้นทั้ง 2 กรณี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

HDM-4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Thesis**
Run Date: **01-02-2023**

Section: 4 Lanes
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%) All Structural ACA	Cracking Area (%) Wide Structural ACW	Cracking Area (%) Transverse Thermal ACT	Cracking Area (%) Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Potholes Number per km NPT	Potholes Area (%) APOT	Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting Mean Rut Depth (mm) RDM	Rutting Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	5.42	2.20	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.67	0.50
			After works	AMGB	5.42	2.20	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.67	0.50
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	5.42	2.27	0	0	0	0	0	0	0.0	22	3.0	1.7	0.67	0.49
			After works	AMGB	5.42	2.27	0	0	0	0	0	0	0.0	22	3.0	1.7	0.67	0.49
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	5.42	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	35	3.2	1.8	0.67	0.49
			After works	AMGB	5.42	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	35	3.2	1.8	0.67	0.49
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	5.42	2.42	1	0	0	1	0	0	0.0	49	3.4	1.9	0.67	0.48
			After works	AMGB	5.42	2.42	1	0	0	1	0	0	0.0	49	3.4	1.9	0.67	0.48
2026	6159	1.62	Before works	AMGB	5.42	2.52	3	0	0	3	0	0	0.0	64	3.6	2.0	0.67	0.48
			After works	AMGB	5.42	2.52	3	0	0	3	0	0	0.0	64	3.6	2.0	0.67	0.48
2027	6406	1.68	Before works	AMGB	5.39	2.63	7	0	0	7	0	0	0.0	81	3.8	2.1	0.67	0.48
			After works	AMGB	5.39	2.63	7	0	0	7	0	0	0.0	81	3.8	2.1	0.67	0.48
2028	6662	1.75	Before works	AMGB	5.33	2.76	13	4	0	13	0	0	0.0	99	4.0	2.2	0.67	0.47
			After works	AMGB	5.33	2.76	13	4	0	13	0	0	0.0	99	4.0	2.2	0.67	0.47
2029	6928	1.82	Before works	AMGB	5.23	2.91	22	11	0	22	0	0	0.0	119	4.2	2.3	0.67	0.47
			After works	AMGB	5.23	2.91	22	11	0	22	0	0	0.0	119	4.2	2.3	0.67	0.47

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 3

รูปที่ 40 แสดงผลการวิเคราะห์ความเสียหายในช่วงปีที่ 1-8

HDM-4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 4 Lanes
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2030	7206	1.89	Before works	AMGB	5.07	3.09	33	21	0	33	0	0	0.0	140	4.4	2.5	0.67	0.46
			After works	AMGB	5.07	3.09	33	21	0	33	0	0	0.0	140	4.4	2.5	0.67	0.46
2031	7494	1.97	Before works	AMGB	4.87	3.85	47	33	0	47	0	127	0.2	163	4.7	2.6	0.67	0.46
			After works	AMGB	4.87	3.85	47	33	0	47	0	127	0.2	163	4.7	2.6	0.67	0.46
2032	7793	2.05	Before works	AMGB	4.61	6.54	62	47	0	62	2	396	0.6	188	5.0	2.7	0.67	0.45
			After works	AMGB	4.61	6.54	62	47	0	62	2	396	0.6	188	5.0	2.7	0.67	0.45
2033	8105	2.13	Before works	AMGB	4.32	14.07	73	62	0	73	5	897	1.3	216	5.3	2.9	0.67	0.45
			After works	AMGB	4.32	14.07	73	62	0	73	5	897	1.3	216	5.3	2.9	0.67	0.45
2034	8429	2.21	Before works	AMGB	4.13	16.00	83	75	0	83	11	1766	2.5	263	5.7	3.1	0.67	0.44
			After works	AMGB	4.13	16.00	83	75	0	83	11	1766	2.5	263	5.7	3.1	0.67	0.44
2035	8767	2.30	Before works	AMGB	4.02	16.00	89	85	0	89	1	3198	4.6	337	6.0	3.3	0.67	0.44
			After works	AMGB	4.02	16.00	89	85	0	89	1	3198	4.6	337	6.0	3.3	0.67	0.44
2036	9117	2.39	Before works	AMGB	3.92	16.00	86	86	0	86	0	5510	7.9	423	6.5	3.4	0.67	0.43
			After works	AMGB	3.92	16.00	86	86	0	86	0	5510	7.9	423	6.5	3.4	0.67	0.43
2037	9482	2.49	Before works	AMGB	3.87	16.00	83	83	0	83	0	7000	10.0	516	6.9	3.6	0.67	0.43
			After works	AMGB	3.87	16.00	83	83	0	83	0	7000	10.0	516	6.9	3.6	0.67	0.43
2038	9861	2.59	Before works	AMGB	3.85	16.00	81	81	0	81	0	7000	10.0	617	7.3	3.8	0.67	0.42
			After works	AMGB	3.85	16.00	81	81	0	81	0	7000	10.0	617	7.3	3.8	0.67	0.42
2039	10256	2.69	Before works	AMGB	3.87	16.00	80	80	0	80	0	7000	10.0	727	7.7	4.0	0.67	0.41
			After works	AMGB	3.87	16.00	80	80	0	80	0	7000	10.0	727	7.7	4.0	0.67	0.41

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 3**

รูปที่ 41 แสดงผลการคาดการณ์ปริมาณใช้งานช่วงปีที่ 9-18

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 4 Lanes
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

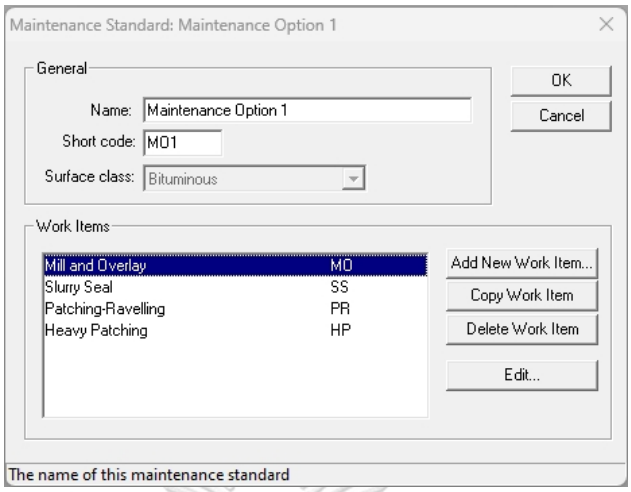
Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Eane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m_2/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	AMGB	3.88	16.00	78	78	0	78	0	7000	10.0	847	8.1	4.1	0.67	0.41
			After works	AMGB	3.88	16.00	78	78	0	78	0	7000	10.0	847	8.1	4.1	0.67	0.41
2041	11093	2.91	Before works	AMGB	3.90	16.00	76	76	0	76	0	7000	10.0	978	8.5	4.3	0.67	0.40
			After works	AMGB	3.90	16.00	76	76	0	76	0	7000	10.0	978	8.5	4.3	0.67	0.40

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 3**

รูปที่ 42 แสดงรายละเอียดการใช้งานโปรแกรม HDM ปีที่ 19-20

3.5.6.1.2 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีไม่ปรับแก้ค่า Calibration



รูปที่ 43 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง

ตารางที่ 58 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย

รูปแบบการซ่อมบำรุง	เงื่อนไข	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม)
Mill and Replace (Milling of existing asphalt concrete surface 5 cm. thick + Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick)	IRI $\geq$ 2.60 IRI m/km	322.79 บาท = 8.39 USD
Slurry Seal Type 2 (10 mm)	Cracking Initiation = 0.5%	111 บาท =2.89 USD

หมายเหตุ : 1 บาท เท่ากับ 0.026 USD ณ เดือน 10 ปี 2565

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 44, 45 และ 46 นั้นพบว่าภายในปีที่ 5 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.52 และการแตกร้าวที่ 3%, ภายในปีที่ 9 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.88 และการแตกร้าวที่ 4%, ภายในปีที่ 14 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.45 และการแตกร้าวที่ 3% และภายในปีที่ 18 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.92 และการแตกร้าวที่ 13% ตรงตามเงื่อนไขการซ่อมบำรุงที่ได้กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

HDM-4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
							Cracking Area (%)					Potholes			Rutting			
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Number per km NPT	Area (%) APOT	Edge-break Area (m,/km) AEB	Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	5.42	2.20	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
			After works	AMGB	5.42	2.20	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	5.42	2.27	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.27	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	5.42	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	5.42	2.42	1	0	0	1	0	0	0.0	46	3.4	1.9	0.50	0.38
			After works	STAP	5.50	2.42	0	0	0	0	0	0	0.0	0	3.4	2.7	0.70	0.55
2026	6159	1.62	Before works	STAP	5.50	2.50	0	0	0	0	0	0	0.0	14	3.6	2.8	0.67	0.55
			After works	STAP	5.50	2.50	0	0	0	0	0	0	0.0	14	3.6	2.8	0.67	0.55
2027	6406	1.68	Before works	STAP	5.50	2.58	0	0	0	0	0	0	0.0	30	3.8	2.9	0.67	0.54
			After works	STAP	5.50	2.58	0	0	0	0	0	0	0.0	30	3.8	2.9	0.67	0.54
2028	6662	1.75	Before works	STAP	5.50	2.67	0	0	0	0	0	0	0.0	47	4.0	3.0	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.22	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2029	6928	1.82	Before works	AMAP	5.22	2.08	0	0	0	0	0	0	0.0	9	0.2	0.1	0.67	0.55
			After works	AMAP	5.22	2.08	0	0	0	0	0	0	0.0	9	0.2	0.1	0.67	0.55

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 6

รูปที่ 44 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HDM-4 ในกรณีศึกษาที่ 1 เส้นทางหลวงหมายเลข

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall: 1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2030	7206	1.89	Before works	AMAP	5.22	2.16	0	0	0	0	0	0	0.0	19	0.4	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.22	2.16	0	0	0	0	0	0	0.0	19	0.4	0.3	0.67	0.54
2031	7494	1.97	Before works	AMAP	5.22	2.25	1	0	0	1	0	0	0.0	29	0.6	0.4	0.67	0.54
			After works	STAP	5.29	2.25	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.6	0.5	0.70	0.55
2032	7793	2.05	Before works	STAP	5.29	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	23	0.8	0.6	0.67	0.55
			After works	STAP	5.29	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	23	0.8	0.6	0.67	0.55
2033	8105	2.13	Before works	STAP	5.29	2.42	0	0	0	0	0	0	0.0	48	1.0	0.8	0.67	0.54
			After works	STAP	5.29	2.42	0	0	0	0	0	0	0.0	48	1.0	0.8	0.67	0.54
2034	8429	2.21	Before works	STAP	5.29	2.53	2	0	0	2	0	0	0.0	74	1.2	0.9	0.67	0.53
			After works	STAP	5.37	2.53	0	0	0	0	0	0	0.0	0	1.2	1.0	0.70	0.55
2035	8767	2.30	Before works	STAP	5.37	2.63	0	0	0	0	0	0	0.0	29	1.4	1.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2036	9117	2.39	Before works	AMAP	5.09	2.09	0	0	0	0	0	0	0.0	16	0.2	0.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.09	0	0	0	0	0	0	0.0	16	0.2	0.1	0.67	0.54
2037	9482	2.49	Before works	AMAP	5.09	2.19	1	0	0	1	0	0	0.0	33	0.4	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.19	1	0	0	1	0	0	0.0	33	0.4	0.3	0.67	0.54
2038	9861	2.59	Before works	AMAP	5.08	2.30	1	0	0	1	0	0	0.0	51	0.7	0.4	0.67	0.53
			After works	STAP	5.16	2.30	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.7	0.5	0.70	0.55
2039	10256	2.69	Before works	STAP	5.16	2.40	0	0	0	0	0	0	0.0	40	0.9	0.7	0.67	0.54
			After works	STAP	5.16	2.40	0	0	0	0	0	0	0.0	40	0.9	0.7	0.67	0.54

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 6**

รูปที่ 45 แสดงผลลัพธ์ความเสื่อมสภาพของผิวทางปีที่ 9-18 ในปีที่ 1 ซึ่งเป็นปีแรกที่มีการซ่อมบำรุง

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

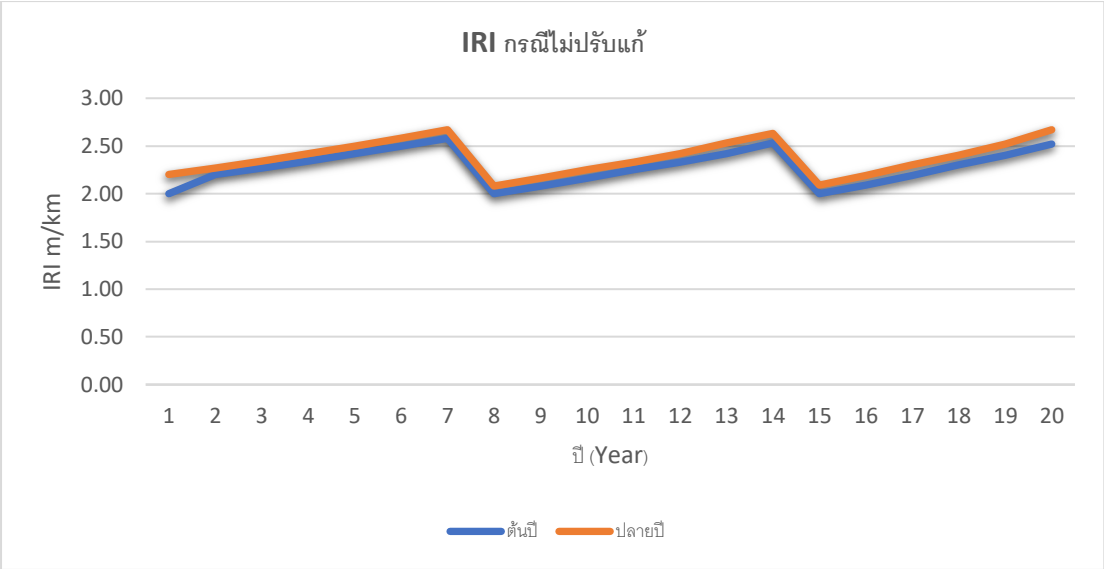
Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

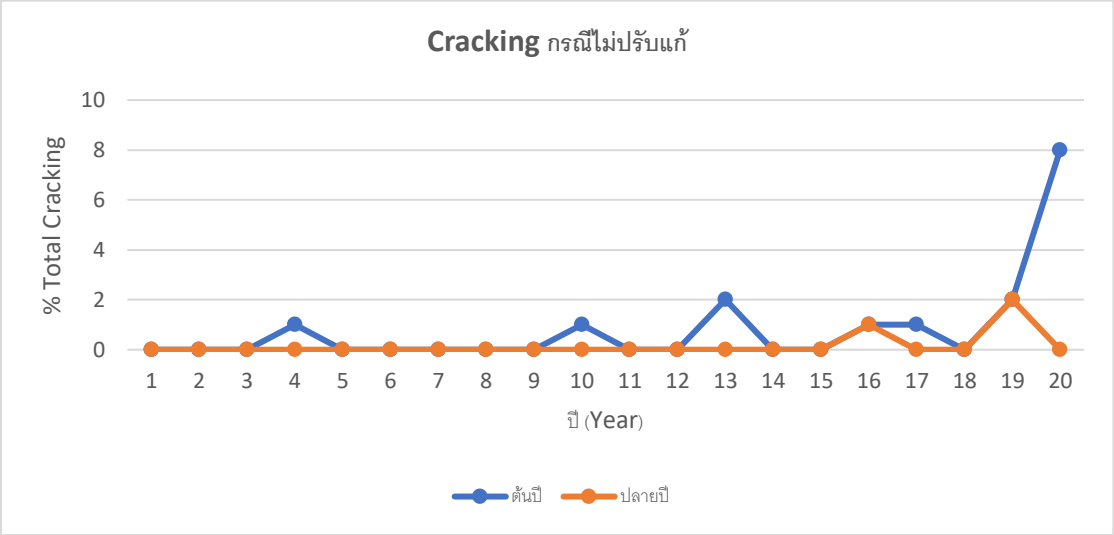
					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	STAP	5.16	2.52	2	0	0	2	0	0	0.0	83	1.1	0.8	0.67	0.54
			After works	STAP	5.16	2.52	2	0	0	2	0	0	0.0	83	1.1	0.8	0.67	0.54
2041	11093	2.91	Before works	STAP	5.14	2.67	8	0	0	8	0	0	0.0	129	1.3	0.9	0.67	0.53
			After works	AMAP	4.88	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 6**

รูปที่ 46 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 19-20 ไม่ปรับแก้ค่า แต่มีการซ่อมบำรุง



รูปที่ 47 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี



รูปที่ 48 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี

จากรูปที่ 47 และ 48 จะเห็นว่าค่า IRI สูงสุดในรอบ 20 ปี ขึ้นไปได้สูงสุดที่ 2.67 ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 7 และ 20 และค่าการแตกร้าวขึ้นไปได้สูงสุดที่ 8% ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 20 เช่นเดียวกัน โดยกิจกรรมการซ่อมบำรุงเกิดขึ้นตามเงื่อนไขที่ได้ระบุไว้ในส่วนของ Slurry Seal และ Mill and Overlay

3.5.6.2 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากการปรับแก้ค่าตลอดระยะเวลา 20 ปี รูปแบบที่ 1

โดยไม่มีการบำรุงรักษา แต่มีการปรับแก้ค่า Calibration Factors รูปแบบที่ 1 คือ $K_{gm} = \frac{m_{eff}}{0.023} = \frac{0.02}{0.023} = 0.8695 \approx 0.870, K_{ci} = 1.1$ และ $K_{cp} = 0.91$ แสดงดังตารางที่ 59 และ 60

ตารางที่ 59 การกำหนดข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ในการปรับแก้ระดับที่ 1

รายละเอียด	ระดับที่ HDM-4 กำหนด	ข้อมูลชี้วัดในการเลือก
การประเมินคุณภาพของ Bitumen	คุณภาพต่ำ	ผลิตจากโรงกลั่นท้องถิ่น
การประเมินสภาพอากาศในท้องถิ่น	ออกซิไดซ์ต่ำ	มีเมฆปกคลุมและฝนตก
การประเมินคุณภาพการก่อสร้าง	ระดับสูง	80/100 penetration or higher

ตารางที่ 60 ค่าการปรับแก้สำหรับเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษา

รายละเอียด	ค่าจากการปรับแก้
Roughness (Kgm)	0.8695
Cracking Initiation (Kci)	1.10
Cracking Progression (Kcp)	0.91

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 49, 50 และ 51 นั้นแสดงให้เห็นว่าที่สิ้นปีการวิเคราะห์ที่ 8 ค่า IRI เพิ่มขึ้นจากเดิม 2.00 มาเป็น 2.83 และค่าการแตกร้าวจากเดิม 0% มาเป็น 18% และสิ้นปีการวิเคราะห์ที่ 10 ค่า IRI เพิ่มขึ้น 3.16 และค่าการแตกร้าวเป็น 38% แสดงให้เห็นภายหลังจากปีที่ 10 เป็นต้นไป ค่า IRI จัดอยู่ในระดับที่เริ่มแย่ และการลุกลามของรอยแตกร้าวมีแนวโน้มจะพัฒนาไปเป็นความเสียหายแบบหลุมบ่อ หรือหลุดร่อน หรือเกิดขึ้นทั้ง 2 กรณี

ผลการ Run แบบจำลองโดยไม่มีการปรับแก้ และมีการปรับแก้รูปแบบที่ 1 กรณีไม่กำหนดเงื่อนไขการบำรุงรักษา แสดงค่าความแตกต่างระหว่าง IRI และ Cracking ของทั้ง 2 กรณี แสดงผลดังตารางที่ 61 และ 62 ซึ่งจะพบว่า กรณีไม่มีการปรับแก้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า IRI และการแตกร้าว เร็วกว่ากรณีปรับแก้รูปแบบที่ 1 สาเหตุนั้นเนื่องมาจากกรณีไม่ปรับแก้ใช้ค่าเริ่มต้นที่ถูกตั้งไว้อย่างเป็นกลาง (ค่า K เป็น 1) ซึ่งยังไม่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

ในกรณีไม่มีการปรับแก้ ณ ปีที่ 14-20 แสดงให้เห็นถึงการลดลงของ Cracking ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเสียหายไปเป็นรูปแบบ Potholing แทน เช่นเดียวกันกับกรณีในส่วนของแบบจำลองที่มีการปรับแก้ ณ ปีที่ 15-20

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Thesis Calibration**
Run Date: **01-02-2023**

Section: 4 Lanes C
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%) All Structural ACA	Cracking Area (%) Wide Structural ACW	Cracking Area (%) Transverse Thermal ACT	Cracking Area (%) Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Potholes Number per km NPT	Potholes Area (%) APOT	Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting Mean Rut Depth (mm) RDM	Rutting Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.67	0.50
			After works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.67	0.50
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	22	3.0	1.7	0.67	0.49
			After works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	22	3.0	1.7	0.67	0.49
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	35	3.2	1.8	0.67	0.49
			After works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	35	3.2	1.8	0.67	0.49
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	5.42	2.40	0	0	0	0	0	0	0.0	49	3.4	1.9	0.67	0.48
			After works	AMGB	5.42	2.40	0	0	0	0	0	0	0.0	49	3.4	1.9	0.67	0.48
2026	6159	1.62	Before works	AMGB	5.42	2.48	2	0	0	2	0	0	0.0	64	3.6	2.0	0.67	0.48
			After works	AMGB	5.42	2.48	2	0	0	2	0	0	0.0	64	3.6	2.0	0.67	0.48
2027	6406	1.68	Before works	AMGB	5.40	2.58	5	0	0	5	0	0	0.0	81	3.8	2.1	0.67	0.48
			After works	AMGB	5.40	2.58	5	0	0	5	0	0	0.0	81	3.8	2.1	0.67	0.48
2028	6662	1.75	Before works	AMGB	5.35	2.69	11	2	0	11	0	0	0.0	99	4.0	2.2	0.67	0.47
			After works	AMGB	5.35	2.69	11	2	0	11	0	0	0.0	99	4.0	2.2	0.67	0.47
2029	6928	1.82	Before works	AMGB	5.27	2.83	18	7	0	18	0	0	0.0	119	4.2	2.3	0.67	0.47
			After works	AMGB	5.27	2.83	18	7	0	18	0	0	0.0	119	4.2	2.3	0.67	0.47

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 3

รูปที่ 49 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 1-8 Calibration Factors รูปแบบที่ 1

รูปที่ 50 แสดงผลการเปลี่ยนหายในช่วงปีที่ 9-18 Calibration Factors รูปแบบที่ 1

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 4 Lanes C
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%) All Structural ACA	Cracking Area (%) Wide Structural ACW	Cracking Area (%) Transverse Thermal ACT	Cracking Area (%) Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Potholes Number per km NPT	Potholes Area (%) APOT	Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting Mean Rut Depth (mm RDM	Rutting Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2030	7206	1.89	Before works	AMGB	5.15	2.98	27	15	0	27	0	0	0.0	140	4.4	2.5	0.67	0.46
			After works	AMGB	5.15	2.98	27	15	0	27	0	0	0.0	140	4.4	2.5	0.67	0.46
2031	7494	1.97	Before works	AMGB	4.99	3.16	38	25	0	38	0	0	0.0	163	4.7	2.6	0.67	0.46
			After works	AMGB	4.99	3.16	38	25	0	38	0	0	0.0	163	4.7	2.6	0.67	0.46
2032	7793	2.05	Before works	AMGB	4.78	4.12	51	36	0	51	2	158	0.2	188	4.9	2.7	0.67	0.45
			After works	AMGB	4.78	4.12	51	36	0	51	2	158	0.2	188	4.9	2.7	0.67	0.45
2033	8105	2.13	Before works	AMGB	4.53	7.53	64	50	0	64	5	475	0.7	216	5.2	2.9	0.67	0.45
			After works	AMGB	4.53	7.53	64	50	0	64	5	475	0.7	216	5.2	2.9	0.67	0.45
2034	8429	2.21	Before works	AMGB	4.27	16.00	74	63	0	74	11	1053	1.5	247	5.6	3.0	0.67	0.44
			After works	AMGB	4.27	16.00	74	63	0	74	11	1053	1.5	247	5.6	3.0	0.67	0.44
2035	8767	2.30	Before works	AMGB	4.12	16.00	82	74	0	82	10	2042	2.9	305	5.9	3.2	0.67	0.44
			After works	AMGB	4.12	16.00	82	74	0	82	10	2042	2.9	305	5.9	3.2	0.67	0.44
2036	9117	2.39	Before works	AMGB	4.02	16.00	88	83	0	88	1	3670	5.2	390	6.3	3.4	0.67	0.43
			After works	AMGB	4.02	16.00	88	83	0	88	1	3670	5.2	390	6.3	3.4	0.67	0.43
2037	9482	2.49	Before works	AMGB	3.91	16.00	84	84	0	84	0	6319	9.0	483	6.7	3.6	0.67	0.43
			After works	AMGB	3.91	16.00	84	84	0	84	0	6319	9.0	483	6.7	3.6	0.67	0.43
2038	9861	2.59	Before works	AMGB	3.86	16.00	82	82	0	82	0	7000	10.0	585	7.1	3.7	0.67	0.42
			After works	AMGB	3.86	16.00	82	82	0	82	0	7000	10.0	585	7.1	3.7	0.67	0.42
2039	10256	2.69	Before works	AMGB	3.86	16.00	80	80	0	80	0	7000	10.0	695	7.6	3.9	0.67	0.41
			After works	AMGB	3.86	16.00	80	80	0	80	0	7000	10.0	695	7.6	3.9	0.67	0.41

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 3**

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 4 Lanes C
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm) RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	AMGB	3.88	16.00	78	78	0	78	0	7000	10.0	815	8.0	4.1	0.67	0.41
			After works	AMGB	3.88	16.00	78	78	0	78	0	7000	10.0	815	8.0	4.1	0.67	0.41
2041	11093	2.91	Before works	AMGB	3.89	16.00	77	77	0	77	0	7000	10.0	945	8.4	4.2	0.67	0.40
			After works	AMGB	3.89	16.00	77	77	0	77	0	7000	10.0	945	8.4	4.2	0.67	0.40

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 3**

รูปที่ 51 แสดงผลความเสียหายของผิวทางปีที่ 19-20 Calibration Factors รูปแบบที่ 1

ตารางที่ 61 แสดงค่าความแตกต่างของ IRI ที่ส่งผลจากการปรับแก้ และไม่ซ่อมบำรุง

ปีการวิเคราะห์	IRI (m/Km IRI)		ผลต่าง
	ไม่มีการปรับแก้	ปรับแก้รูปแบบที่ 1	
1	2.20	2.19	ลดลง 0.01
2	2.27	2.26	ลดลง 0.01
3	2.34	2.33	ลดลง 0.01
4	2.42	2.40	ลดลง 0.02
5	2.52	2.48	ลดลง 0.04
6	2.63	2.58	ลดลง 0.05
7	2.76	2.69	ลดลง 0.07
8	2.91	2.83	ลดลง 0.08
9	3.09	2.98	ลดลง 0.11
10	3.85	3.16	ลดลง 0.69
11	6.54	4.12	ลดลง 2.42
12	14.07	7.53	ลดลง 6.54
13	16.00	16.00	0.00
14	16.00	16.00	0.00
15	16.00	16.00	0.00
16	16.00	16.00	0.00
17	16.00	16.00	0.00
18	16.00	16.00	0.00
19	16.00	16.00	0.00
20	16.00	16.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 62 แสดงค่าความแตกต่างของ Cracking area ที่ส่งผลจากการปรับแก้ และไม่ซ่อมบำรุง

ปีการวิเคราะห์	Cracking Area (%)		ผลต่าง
	ไม่มีการปรับแก้	ปรับแก้รูปแบบที่ 1	
1	0	0	0.00
2	0	0	0.00
3	0	0	0.00
4	1	0	ลดลง 1
5	3	2	ลดลง 1
6	7	5	ลดลง 2
7	13	11	ลดลง 2
8	22	18	ลดลง 4
9	33	27	ลดลง 6
10	47	38	ลดลง 9
11	62	51	ลดลง 11
12	73	64	ลดลง 9
13	83	74	ลดลง 9
14	89	82	ลดลง 7
15	86	88	เพิ่มขึ้น 2
16	83	84	เพิ่มขึ้น 1
17	81	82	เพิ่มขึ้น 1
18	80	80	0.00
19	78	78	0.00
20	76	77	เพิ่มขึ้น 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5.6.3 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจากการปรับแก้ค่าตลอดระยะเวลา 20 ปี รูปแบบที่ 2

โดยไม่มีการบำรุงรักษา แต่มีการปรับแก้ค่า Calibration Factors รูปแบบที่ 2 คือ $K_{gm} = \frac{m_{eff}}{0.023} = \frac{0.02}{0.023} = 0.8695 \approx 0.870$, $K_{ci} = 0.80$ และ $K_{cp} = 1.256$ ที่จะนำมาใช้เป็นแบบจำลองที่จะใช้ในงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 63 และ 64

ตารางที่ 63 การกำหนดข้อมูลจริงจากพื้นที่วิจัย เพื่อใช้ในการปรับแก้ระดับที่ 1 รูปแบบที่ 2

รายละเอียด	ระดับที่ HDM-4 กำหนด	ข้อมูลชี้วัดในการเลือก
การประเมินคุณภาพของ Bitumen	คุณภาพสูง	ใช้ในอุตสาหกรรมทางหลวง
การประเมินสภาพอากาศในท้องถิ่น	ออกซิไดซ์ปานกลาง	ผสมระหว่างแสงแดดและเมฆปกคลุม
การประเมินคุณภาพการก่อสร้าง	ระดับต่ำ	40/50 หรือ 60/70 penetration

ตารางที่ 64 ค่าการปรับแก้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา

รายละเอียด	ค่าจากการปรับแก้
Roughness (Kgm)	0.8695
Cracking Initiation (Kci)	0.80
Cracking Progression (Kcp)	1.256

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 52, 53 และ 54 นั้นแสดงให้เห็นว่าที่สิ้นปีการวิเคราะห์ที่ 8 ค่า IRI เพิ่มขึ้นจากเดิม 2.00 มาเป็น 3.03 และค่าการแตกร้าวจากเดิม 0% มาเป็น 45% และสิ้นปีการวิเคราะห์ที่ 9 ค่า IRI เพิ่มขึ้น 4.08 และค่าการแตกร้าวเป็น 64% แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากปีที่ 8 เป็นต้นไป ค่า IRI จัดอยู่ในระดับที่เริ่มแย่ และการลุกลามของรอยแตกร้าวมีแนวโน้มจะพัฒนาไปเป็นความเสียหายแบบหลุมบ่อ หรือหลุดร่อน หรือเกิดขึ้นทั้ง 2 กรณี

ผลการ Run แบบจำลองโดยการปรับแก้รูปแบบที่ 1 และมีการปรับแก้รูปแบบที่ 2 กรณีไม่กำหนดเงื่อนไขการบำรุงรักษา แสดงค่าความแตกต่างระหว่าง IRI และ Cracking ของทั้ง 2 กรณี แสดงผลดังตารางที่ 65 และ 66 ซึ่งจะพบว่า การปรับแก้รูปแบบที่ 1 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า IRI และการแตกร้าว ช้ากว่ากรณีปรับแก้รูปแบบที่ 2 ถึงค่าทั้ง 2 ดูดีกว่าแต่ก็ยังไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ สาเหตุนั้นเนื่องจากกรณีปรับแก้รูปแบบที่ 1 มีการกำหนดเงื่อนไขการปรับแก้ยังไม่สอดคล้องกับพื้นที่การศึกษาทั้งหมด

ในกรณีไม่มีการปรับแก้ ณ ปีที่ 14-20 และให้หยุดการจลอดของ Cracking ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเสียหายให้เป็นรูปแบบ Potholing แทน เช่นเดียวกับกรณีผู้ใช้งานซอฟแวแบบอัตโนมัติการปรับแก้ ณ ปีที่ 15-20

รูปที่ 52 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 1-8 Calibration Factors รูปแบบที่ 2

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Thesis Calibration Op2**
Run Date: **22-03-2023**

Section: 4 Lanes C Op2
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Eane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%) All Structural ACA	Cracking Area (%) Wide Structural ACW	Cracking Area (%) Transverse Thermal ACT	Cracking Area (%) Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Potholes Number per km NPT	Potholes Area (%) APOT	Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting Mean Rut Depth (mm RDM	Rutting Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
			After works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	5.42	2.41	3	0	0	3	0	0	0.0	46	3.4	1.9	0.50	0.38
			After works	AMGB	5.42	2.41	3	0	0	3	0	0	0.0	46	3.4	1.9	0.50	0.38
2026	6159	1.62	Before works	AMGB	5.39	2.52	8	0	0	8	0	0	0.0	61	3.6	2.0	0.50	0.38
			After works	AMGB	5.39	2.52	8	0	0	8	0	0	0.0	61	3.6	2.0	0.50	0.38
2027	6406	1.68	Before works	AMGB	5.31	2.66	17	5	0	17	0	0	0.0	76	3.8	2.1	0.50	0.38
			After works	AMGB	5.31	2.66	17	5	0	17	0	0	0.0	76	3.8	2.1	0.50	0.38
2028	6662	1.75	Before works	AMGB	5.17	2.83	29	14	0	29	0	0	0.0	93	4.0	2.2	0.50	0.37
			After works	AMGB	5.17	2.83	29	14	0	29	0	0	0.0	93	4.0	2.2	0.50	0.37
2029	6928	1.82	Before works	AMGB	4.96	3.03	45	28	0	45	0	0	0.0	111	4.3	2.4	0.50	0.37
			After works	AMGB	4.96	3.03	45	28	0	45	0	0	0.0	111	4.3	2.4	0.50	0.37

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 3

HDM-4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 4 Lanes C Op2
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Eane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm) RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2030	7206	1.89	Before works	AMGB	4.66	4.08	64	45	0	64	0	166	0.2	131	4.5	2.5	0.50	0.36
			After works	AMGB	4.66	4.08	64	45	0	64	0	166	0.2	131	4.5	2.5	0.50	0.36
2031	7494	1.97	Before works	AMGB	4.30	7.97	78	64	0	78	0	516	0.7	152	4.8	2.7	0.50	0.36
			After works	AMGB	4.30	7.97	78	64	0	78	0	516	0.7	152	4.8	2.7	0.50	0.36
2032	7793	2.05	Before works	AMGB	4.10	16.00	89	80	0	89	2	1161	1.7	176	5.2	2.8	0.50	0.35
			After works	AMGB	4.10	16.00	89	80	0	89	2	1161	1.7	176	5.2	2.8	0.50	0.35
2033	8105	2.13	Before works	AMGB	3.99	16.00	94	91	0	94	0	2238	3.2	221	5.6	3.0	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.99	16.00	94	91	0	94	0	2238	3.2	221	5.6	3.0	0.50	0.35
2034	8429	2.21	Before works	AMGB	3.91	16.00	90	90	0	90	0	3958	5.7	280	6.0	3.3	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.91	16.00	90	90	0	90	0	3958	5.7	280	6.0	3.3	0.50	0.35
2035	8767	2.30	Before works	AMGB	3.88	16.00	86	86	0	86	0	6609	9.4	343	6.5	3.4	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.88	16.00	86	86	0	86	0	6609	9.4	343	6.5	3.4	0.50	0.35
2036	9117	2.39	Before works	AMGB	3.84	16.00	84	84	0	84	0	7000	10.0	412	6.9	3.6	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.84	16.00	84	84	0	84	0	7000	10.0	412	6.9	3.6	0.50	0.35
2037	9482	2.49	Before works	AMGB	3.84	16.00	83	83	0	83	0	7000	10.0	486	7.3	3.8	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.84	16.00	83	83	0	83	0	7000	10.0	486	7.3	3.8	0.50	0.35
2038	9861	2.59	Before works	AMGB	3.85	16.00	82	82	0	82	0	7000	10.0	567	7.7	4.0	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.85	16.00	82	82	0	82	0	7000	10.0	567	7.7	4.0	0.50	0.35
2039	10256	2.69	Before works	AMGB	3.86	16.00	81	81	0	81	0	7000	10.0	654	8.1	4.1	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.86	16.00	81	81	0	81	0	7000	10.0	654	8.1	4.1	0.50	0.35

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 3**

รูปที่ 53 แสดงผลความเสียหายของผิวทางปีที่ 9-18 Calibration Factors รูปแบบที่ 2

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 4 Lanes C Op2
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Eane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	AMGB	3.87	16.00	79	79	0	79	0	7000	10.0	748	8.5	4.3	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.87	16.00	79	79	0	79	0	7000	10.0	748	8.5	4.3	0.50	0.35
2041	11093	2.91	Before works	AMGB	3.88	16.00	78	78	0	78	0	7000	10.0	849	8.9	4.5	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.88	16.00	78	78	0	78	0	7000	10.0	849	8.9	4.5	0.50	0.35

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 3**

รูปที่ 54 แสดงผลความเสียหายในช่วงปีที่ 19-20 Calibration Factors รูปแบบที่ 2

ตารางที่ 65 แสดงค่าความแตกต่างของ IRI ที่ส่งผลจากการปรับแก้ และไม่ซ่อมบำรุง

ปีการวิเคราะห์	IRI (m/Km IRI)		ผลต่าง
	ปรับแก้รูปแบบที่ 1	ปรับแก้รูปแบบที่ 2	
1	2.19	2.19	0.00
2	2.26	2.26	0.00
3	2.33	2.33	0.00
4	2.40	2.41	เพิ่มขึ้น 0.01
5	2.48	2.52	เพิ่มขึ้น 0.04
6	2.58	2.66	เพิ่มขึ้น 0.08
7	2.69	2.83	เพิ่มขึ้น 0.14
8	2.83	3.03	เพิ่มขึ้น 0.20
9	2.98	4.08	เพิ่มขึ้น 1.10
10	3.16	7.97	เพิ่มขึ้น 4.81
11	4.12	16.00	เพิ่มขึ้น 11.88
12	7.53	16.00	เพิ่มขึ้น 8.47
13	16.00	16.00	0.00
14	16.00	16.00	0.00
15	16.00	16.00	0.00
16	16.00	16.00	0.00
17	16.00	16.00	0.00
18	16.00	16.00	0.00
19	16.00	16.00	0.00
20	16.00	16.00	0.00

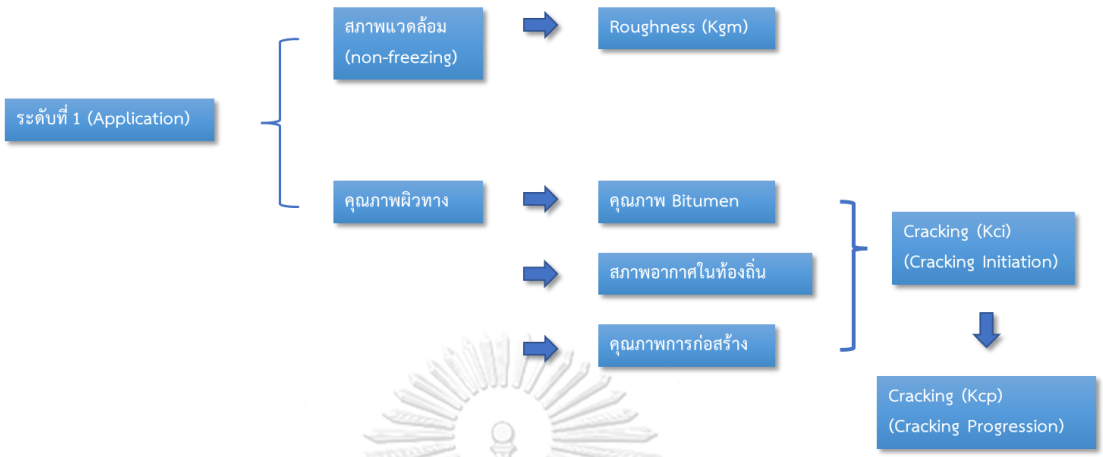
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 66 แสดงค่าความแตกต่างของ Cracking area ที่ส่งผลจากการปรับแก้ และไม่ซ่อมบำรุง

ปีการวิเคราะห์	Cracking Area (%)		ผลต่าง
	ปรับแก้รูปแบบที่ 1	ปรับแก้รูปแบบที่ 2	
1	0	0	0.00
2	0	0	0.00
3	0	0	0.00
4	0	3	เพิ่มขึ้น 3
5	2	8	เพิ่มขึ้น 6
6	5	17	เพิ่มขึ้น 12
7	11	29	เพิ่มขึ้น 18
8	18	45	เพิ่มขึ้น 27
9	27	64	เพิ่มขึ้น 37
10	38	78	เพิ่มขึ้น 40
11	51	89	เพิ่มขึ้น 38
12	64	94	เพิ่มขึ้น 30
13	74	90	เพิ่มขึ้น 16
14	82	86	เพิ่มขึ้น 4
15	88	84	ลดลง 4
16	84	83	ลดลง 1
17	82	82	0.00
18	80	81	เพิ่มขึ้น 1
19	78	79	เพิ่มขึ้น 1
20	77	78	เพิ่มขึ้น 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้น ในการปรับแก้ที่มีทั้งหมด 3 ระดับ ภายใน HDM-4 นั้น งานวิจัยนี้กำหนดเลือกใช้การปรับแก้ระดับที่ 1 ซึ่งคู่มือ HDM-4 ได้ระบุไว้ว่าเป็นการปรับแก้จากข้อมูลที่มีอยู่ ดังรูปที่ 55



รูปที่ 55 แสดงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการปรับแก้ระดับที่ 1 และผลที่มีต่อการปรับแก้

ซึ่งการปรับแก้ในระดับที่ 1 นั้นครอบคลุมในส่วนของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อความขรุขระของผิวทาง (Roughness) และ คุณภาพของผิวทาง ซึ่งมีองค์ประกอบทั้ง 3 อย่าง คือ คุณภาพของ Bitumen, สภาพอากาศในท้องถิ่น และคุณภาพในการก่อสร้าง ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลต่อการเริ่มต้นการแตกร้าว จนนำไปสู่งการลุกลามของรอยร้าว

โดยการปรับแก้นั้นเจาะจงไปที่พารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว คือ Kgm, Kci และ Kcp ต้องกำหนดและเลือกค่าให้เหมาะสมกับพื้นที่ รวมถึงงานก่อสร้างภายในประเทศ ดังตารางที่ 57 : Level 1 Adjustment Factor for Cracking Initiation หัวข้อ การ Calibration Factor ซึ่งค่าที่เหมาะสมกับพื้นที่การศึกษานั้นแสดงดังตารางที่ 67 และ 68

ตารางที่ 67 การกำหนดข้อมูลจริงจากพื้นที่วิจัย เพื่อใช้ในงานวิจัย

รายละเอียด	ระดับที่ HDM-4 กำหนด	ข้อมูลชี้วัดในการเลือก
การประเมินคุณภาพของ Bitumen	คุณภาพสูง	ใช้ในอุตสาหกรรมทางหลวง
การประเมินสภาพอากาศในท้องถิ่น	ออกซิไดซ์ปานกลาง	ผสมระหว่างแสงแดดและเมฆปกคลุม
การประเมินคุณภาพการก่อสร้าง	ระดับต่ำ	40/50 หรือ 60/70 penetration

ตารางที่ 68 ค่าการปรับแก้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา

รายละเอียด	ค่าจากการปรับแก้
Roughness (Kgm)	0.8695
Cracking Initiation (Kci)	0.80
Cracking Progression (Kcp)	1.256

อย่างไรก็ตามในส่วนของค่าการปรับแก้ความเสียหายอื่น ๆ อาทิ เช่น Rut depth, Roughness progression, Ravelling Initiation และ Potholing Progression ซึ่งคู่มือการ Calibration ภายใน HDM-4ระบุว่าการ Calibration ระดับที่ 1 นั้นไม่จำเป็น จึงมีเหตุผลที่จะคงค่าเริ่มต้นไว้ที่ 1

โดยผลก่อนการปรับแก้นั้นแสดงให้เห็นถึงค่าที่น่าสงสัย (Questionable) เนื่องจากการเกิดความเสียหายจากการแตกร้าวนั้นเกิดขึ้นช้า (สิ้นปีการวิเคราะห์ที่ 4 เกิด Cracking 1% และ IRI ที่ 2.42) เมื่อพิจารณาจากค่า ESAL ที่ใช้ในแบบจำลอง สาเหตุนั้นมาจากค่า Kgm, Kci และ Kcp ที่กำหนดไว้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ตั้งไว้อย่างเป็นกลางภายในโปรแกรม HDM-4 กล่าวคือค่าเริ่มต้นนั้นไม่สอดคล้องกับประเทศไทย และพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัย ในส่วนของผลหลังการปรับแก้แล้วนั้นแสดงให้เห็นถึงค่าการแตกร้าวที่เกิดขึ้นเร็วกว่ากรณีก่อนการปรับแก้ (สิ้นปีการวิเคราะห์ที่ 4 เกิด Cracking 3% และ IRI ที่ 2.41) เมื่อพิจารณาจากค่า ESAL และความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ใช้ในแบบจำลองแล้วนั้น มีความสอดคล้องกับอัตราการเกิดความเสียหายในทางหลวงสาย 344 เมื่อพิจารณากำหนดเป็นถนนสร้างใหม่ (Cracking 0% และ IRI ที่ 2.00 ในปีเริ่มต้น)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6 แนวทางการวิเคราะห์

จะแบ่งตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนอันเนื่องมาจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยในส่วนแรกจะอธิบายเกี่ยวกับการศึกษาแบบจำลองการคาดการณ์ความเสียหายของผิวทางที่เหมาะสมกับทางหลวงในประเทศไทย โดยมีผลลัพธ์ความเสียหายที่เพียงพอต่อการคิดค่าบำรุงรักษาทางในระยะยาว ดังนี้

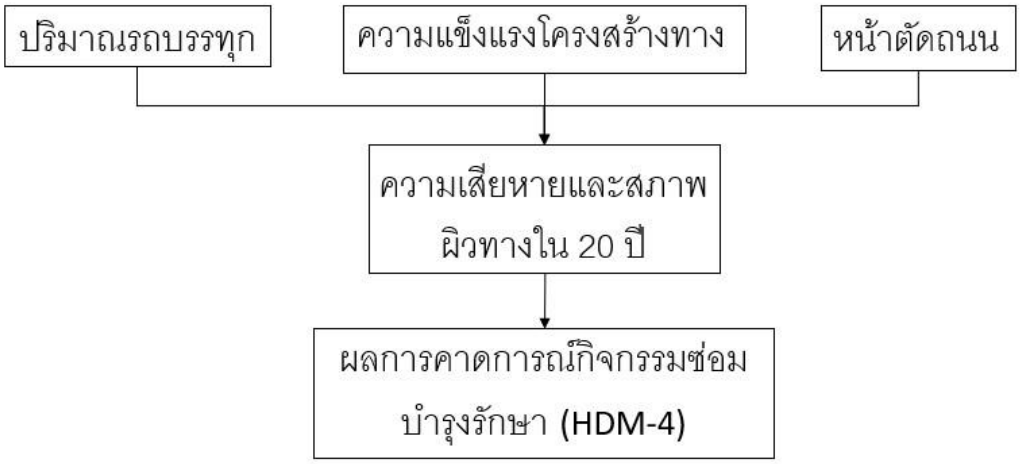
- ในการคาดการณ์ความเสียหายของผิวทางโดยคำนึงถึงความเสียหายที่มาจากรถบรรทุก จะใช้ข้อมูลจำนวนรถบรรทุกจริงจากทางหลวงสาย 344 และข้อมูล FWD สำหรับใช้สร้างแบบจำลองโครงสร้างทาง ที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากสำงานทางหลวงที่ 14 กรมทางหลวง

- ในการคาดการณ์ความเสียหายจะเริ่มตั้งแต่ ณ ปีแรกที่เริ่มคาดการณ์ โดยแบ่งแบบจำลองโครงสร้างทางออกเป็น 4 ตัวอย่าง โดยกำหนดระยะเวลาเป็น 20 ปี (Analysis period) ตามช่วงอายุการออกแบบสายทางที่แนะนำ
- ข้อมูลทางกายภาพของถนน จำนวนเลน ประเภทผิวทาง ใช้ข้อมูลจากทางหลวงสาย 344
- ในการคาดการณ์ความเสียหาย ณ ช่วงปีต่างๆ จะทราบถึงปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของรถบรรทุก เช่น ปริมาณหลุมบ่อ พื้นที่รอยแตกร้าว ความลึกร่องล้อ ความสมบูรณ์ของผิวถนน เป็นต้น

ในส่วนที่สอง อธิบายเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาค่าความเสียหายที่ครอบคลุมค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงรักษาโครงสร้างทางสำหรับทางหลวงในประเทศไทยเพื่อเป็นแนวทางในการคิดอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกในอนาคต ดังนี้

- ในส่วนของการวิเคราะห์ปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นเพื่อให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์นั้นจะแยกการวิเคราะห์เป็น 5 กรณี เพื่อให้เกิดความชัดเจนและเห็นข้อแตกต่างระหว่างค่าก่อสร้างที่สูงขึ้น ค่าซ่อมบำรุงที่ต่ำลง ความแข็งแรงของผิวทางที่มากขึ้น และช่วงการบำรุงรักษาที่เปลี่ยนแปลง
- การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างทางคำนวณโดนใช้ข้อมูล FWD มาคำนวณหาค่า SN และ Subgrade CBR สำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองความแข็งแรงโครงสร้างทาง และใช้การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยวิธี Overlay ผิวทาง
- ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวทางนั้นจะแสดงตัวแปรที่ส่งผลดังรูปที่ 54
- ปริมาณความเสียหายที่ได้จะถูกนำไปประเมินเป็นค่าซ่อมบำรุงในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยค่าซ่อมบำรุงอ้างอิงราคาที่กรมทางหลวงกำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 56 ผังลำดับขั้นตอนสดงค่าความเสียหายและสภาพผิวทางโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของโครงสร้างทาง หน้าตัดถนน และปริมาณรถบรรทุก

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HDM-4 สามารถนำมาวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงในแต่ละปีที่เกิดกิจกรรม โดยที่ค่าซ่อมบำรุงจะวิเคราะห์อยู่ในรูปแบบมูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV (Net Present Value) และนำค่าก่อสร้างถนนมาใช้ในการพิจารณาด้วย โดยการวิเคราะห์จะพิจารณาภายในช่วงระยะเวลาอายุการใช้งานถนน 20 ปี ดังสมการ 3.42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=0}^{n} \frac{\mathrm{MC_t}}{(1+i)^t} \qquad (3.42)$$

โดยที่

NPV	คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)
MC	คือ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
t	คือ ปีที่ดำเนินการวิเคราะห์
i	คือ อัตราส่วนลด (Discount Rate)

3.7.1 การวิเคราะห์มูลค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง

ในส่วนนี้จะแสดงค่าก่อสร้างพื้นฐานเบื้องต้น เช่น งานก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง ชั้นพื้นทาง งานผิวทาง และงานแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้สำหรับแบบจำลอง HDM-4 และช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุงและปริมาณที่ต้องมีการซ่อมบำรุง โดยอ้างอิงราคากลางก่อสร้างตามที่สำนักงบประมาณกำหนด เพื่อนำมาพิจารณาทางเลือกที่ดีที่สุดในการก่อสร้างและการซ่อมบำรุง โดยที่ HDM-4 จะวิเคราะห์รูปแบบการซ่อมบำรุงในปีที่เข้าเกณฑ์ตามที่ได้มีการกำหนดไว้

3.7.1.1 การคำนวณค่าก่อสร้างถนนเบื้องต้นที่ใช้ในแบบจำลอง HDM-4

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาราคาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถนน

ราคาสินค้าเฉลี่ยวัสดุกก่อสร้าง (ราคาเงินสด ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ไม่รวมค่าขนส่ง)

- ดินลูกรัง = 150 บาท/ลบ.ม.
- หินคลุก = 240 บาท/ลบ.ม.

ราคาวัสดุก่อสร้าง กรุงเทพมหานคร (ราคาเงินสด ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ไม่รวมค่าขนส่ง)

- ชนิดเอซี เกรด AC – 60/70 บรรจุ BULK = 24,910.00 บาท/ตัน
- ชนิดเอซีแข็งตัวช้า เกรด CSS-1 บรรจุ BULK = 24,296.67 บาท/ตัน
- ชนิดเอซีแข็งตัวช้า เกรด CRS-2 บรรจุ BULK = 24,130.00 บาท/ตัน

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาระยะทาง ค่าขนส่ง และค่าขนขึ้นขนลง

ตารางที่ 69 แสดงระยะทาง ค่าขนส่ง และค่าขนขึ้นขนลง

(เปิดตารางรถบรรทุกที่ใช้)

	หน่วย	ระยะทาง	ค่าขนส่ง (บาท)	ค่าขนขึ้นลง (บาท)	รวม	
ระยะขนส่ง CSS-1 (PC)	กม.	79	129.58	25	24451.25	
ระยะขนส่ง CRS-2 (TC)	กม.	79	129.58	25	24284.58	รถบรรทุก 10 ล้อ + ลากพ่วง
ระยะขนส่ง AC - 60/70	กม.	79	129.58	35	25074.58	
ดินลูกรัง	กม.	28	64.86	32.99	247.85	รถบรรทุก 10 ล้อ + ลากพ่วง
หินคลุก	กม.	28	64.86	0	304.86	รถบรรทุก 10 ล้อ + ลากพ่วง

***ค่าขนส่ง (บาท) เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง

(อ้างอิงจาก : ราคาน้ำมันดีเซล 33.50 บาทต่อลิตร)

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา

ตารางที่ 70 แสดงค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา

ลำดับ	ลักษณะงาน	หน่วย	ค่าดำเนินการ บาท/หน่วย	ค่าเสื่อมราคา(บาท)		รวมค่างาน(บาท)	
				ปกติ	ฝนชุก	ปกติ	ฝนชุก
1	งานวัสดุคัดเลือก ลูกรังรองพื้นทาง						
	ขุด-ขน	ลบม. หลวม	26.47	6.52	8.15	32.99	34.62
	บดทับ	ลบม. แน่น	43.79	12.96	16.20	56.75	59.99
2	งานพื้นทาง (หินหลุก)						
	ผสม (Blend)	ลบม. แน่น	20.94	4.20	5.25	25.14	26.19
	บดทับ	ลบม. แน่น	63.95	25.71	32.14	89.66	96.09
3	งานลาดยางไพรม์โค้ด	ตรม.	7.05	0.62	0.78	7.67	7.83
4	งานลาดยางแทคโค้ด	ตรม.	6.53	0.88	1.1	7.41	7.63
5	งานผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต						
	ค่าผสมแอสฟัลติกคอนกรีต	ตัน	398.79	16.77	20.96	415.56	419.75
	งานปูลาดและบดทับผิว AC หนา 5 ซม.						
	บนผิวไพรม์โค้ด	ตรม.	12.07	2.82	3.53	15.52	16.23
	บนผิวแทคโค้ด	ตรม.	9.79	2.28	2.85	12.07	12.64

(อ้างอิงจาก : ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงโซล่า ที่อำเภอเมือง 33.00 – 33.99 บาทต่อลิตร และราคาเครื่องจักรปี 2558)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณราคาที่ใช้ในงานก่อสร้างถนนในแต่ละส่วน

ส่วนที่ 1 งานรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate Subbase)

ค่าวัสดุจากแหล่ง (ลูกรัง)		=	150.00	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (ขุด-ขน)		=	32.99	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่ง	28 กม.	=	64.86	บาท/ลบ.ม.
รวม		=	247.85	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัว	247.85 x 1.60	=	396.56	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (บดทับ)		=	56.75	บาท/ลบ.ม.
	ค่าใช้จ่ายรวม	=	453.31	บาท/ลบ.ม.
	ค่างานต้นทุนรวม	=	453.31	บาท/ลบ.ม.

ส่วนที่ 2 งานพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Soil Aggregate Type Base)

ค่าวัสดุจากปากโม่ (รวมค่าตัก)	=	240.00	บาท/ลบ.ม.

ค่าขนส่ง	28	กม.	=	64.86	บาท/ลบ.ม.
รวม			=	304.86	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัว	304.86 x 1.50		=	457.29	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (ผสม)			=	25.14	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (บดทับ)			=	89.66	บาท/ลบ.ม.
		ค่าใช้จ่ายรวม	=	572.09	บาท/ลบ.ม.
		ค่างานต้นทุนรวม	=	572.09	บาท/ลบ.ม.

ส่วนที่ 3 งานไพร์มโค้ต (Prime Coat) และ งานแทคโค้ต (Tack Coat)

งานไพร์มโค้ต (Prime Coat)

ค่ายาง	1.0	ลิตร	@	24,451.25	บาท/ตัน	=	24.45	บาท/ตร.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา						=	7.67	บาท/ตร.ม.
		ค่าใช้จ่ายรวม				=	32.12	บาท/ลบ.ม.
		ค่างานต้นทุนรวม				=	32.12	บาท/ลบ.ม.

งานแทคโค้ต (Tack Coat)

ค่ายาง	0.3	ลิตร	@	24,284.58	บาท/ตัน	=	7.29	บาท/ตร.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา						=	7.41	บาท/ตร.ม.
		ค่าใช้จ่ายรวม				=	14.70	บาท/ลบ.ม.
		ค่างานต้นทุนรวม				=	14.70	บาท/ลบ.ม.

ส่วนที่ 4 งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Wearing Course) หนา 5 เซนติเมตร

ปริมาณงาน ASPHALT CONCRETE ทั้งโครงการ	=	1254.50	ตัน

ค่าขนส่งอุปกรณ์ 80 ตัน 79 กม. (ไม่เกิน 300 กม. = 129.28) = 13.36 บาท/ตัน

ค่าติดตั้งเครื่องผสม = 250,000/10,000 = 25.00 บาท/ตัน

ค่ายาง AC 0.052 ตัน @ 25,074.58 = 1,303.88 บาท/ตัน

ค่าหิน 0.74 ลบ.ม. @ 465.13 = 344.20 บาท/ตัน

ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมผสมวัสดุแอสฟัลท์คอนกรีต = 415.56 บาท/ตัน

ค่าขนส่ง 0.25 กม. (1 ใน 4 ของระยะทางของโครงการ) = 8.25 บาท/ตัน

ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมปูลาดและบดทับหนา 5 ซม. = 15.52 x 1.00 x 8.33 = 129.28 บาท/ตัน

ค่าใช้จ่ายรวม = 2,239.53 บาท/ตัน

ค่างานต้นทุน = 2,239.53 / 8.33 = 268.85 บาท/ตร.ม.

ส่วนที่ 5 งาน Overlay กรณีเพิ่มความหนาเฉพาะชั้น Surfacing

ปริมาณงาน ASPHALT CONCRETE ทั้งโครงการ = 1254.50 ตัน

ค่าขนส่งอุปกรณ์ 80 ตัน 79 กม. (ไม่เกิน 300 กม. = 129.28) = 13.36 บาท/ตัน

ค่าติดตั้งเครื่องผสม = 250,000/10,000 = 25.00 บาท/ตัน

ค่ายาง AC 0.052 ตัน @ 25,074.58 = 1,303.88 บาท/ตัน

ค่าหิน 0.74 ลบ.ม. @ 465.13 = 344.20 บาท/ตัน

ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมผสมวัสดุแอสฟัลท์คอนกรีต = 415.56 บาท/ตัน

ค่าขนส่ง 0.25 กม. (1 ใน 4 ของระยะทางของโครงการ) = 8.25 บาท/ตัน

ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมปูลาดและบดทับหนา 5 ซม. = 12.07 x 1.00 x 8.33 = 100.54 บาท/ตัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค่าใช้จ่ายรวม = 2,210.79 บาท/ตัน

ค่างานต้นทุน = 2,210.79 / 8.33 = 265.40 บาท/ตร.ม.

Factor F หมายถึง สัดส่วนของค่างานต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง อันประกอบด้วย ค่าอำนวยการ ค่าดอกเบี้ย กำไร และภาษี ซึ่งได้กำหนดไว้เป็นต่อหนึ่งหน่วยของค่างานต้นทุน ณ ระดับค่างานต้นทุน ซึ่งค่า Factor F นั้น จะนำไปใช้ในการคำนวณราคากลางในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 71 แสดงค่า Factor F ที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างทาง

ตาราง Factor F งานก่อสร้างทาง

เงินล่วงหน้าจ่าย	0 %	ดอกเบี้ยเงินกู้	6 % ต่อปี
เงินประกันผลงานหัก	0 %	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	7 %

ค่างาน (ทุน) ล้านบาท	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง (%) ค่าอำนวยการ	ค่าดอกเบี้ย	ค่ากำไร	รวมค่าใช้จ่าย	รวมในรูป Factor	ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	Factor F	Factor F ฝนชุก 1	Factor F ฝนชุก 2
≤ 5	20.8340	1.0000	5.5000	27.3340	1.2733	1.0700	1.3624	1.3822	1.4019
10	16.0809	1.0000	5.5000	22.5809	1.2258	1.0700	1.3116	1.3319	1.3522
20	10.6385	1.0000	5.5000	17.1385	1.1714	1.0700	1.2534	1.2717	1.2899

(อ้างอิง : กรมบัญชีกลาง หนังสือที่ กค 0433.2/ว 1288)

ราคาก่อสร้างงานถนนที่ใช้สำหรับแบบจำลอง HDM-4

แบบสรุปราคากลางงานก่อสร้างทาง

ชื่อโครงการ ค่าก่อสร้างสำหรับ Model HDM-4 ทางหลวงเส้น 344 ชลบุรี - ระยอง
สถานที่ก่อสร้าง ชลบุรี
หน่วยงานเจ้าของโครงการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
แบบเลขที่ -
คำนวณราคากลางโดย นาย ภาณุพงศ์ เย็นฉ่ำ **เมื่อวันที่** 1-Jan-65

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	FN	ราคาต่อหน่วย X FN	ราคากลาง
1	งานปรับปรุงโครงสร้างทาง							
	1.1 งานรองพื้นทางลูกรัง บดอัดแน่น หนา 30 ซม.	ลบ.ม.	3,450.00	453.31	1,563,919.50	1.3012	589.84	2,034,940.78
	1.2 งานพื้นทางหินคลุก บดอัดแน่น หนา 20 ซม.	ลบ.ม.	2,150.00	572.09	1,229,993.50	1.3012	744.39	1,600,442.94
2	งานผิวทาง และผิวไหล่ทาง							
AC 5 cm.	2.1 งานไพร์มโค้ต (Prime Coat)	ตร.ม.	10,450.00	32.12	335,654.00	1.3012	41.79	436,746.27
	2.2 งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หนา 5 ซม.	ตร.ม.	10,450.00	268.85	2,809,482.50	1.3012	349.82	3,655,642.44
AC+AC Overlay 15 cm.	2.3 งานแทคโค้ต (Tack Coat)	ตร.ม.	10,450.00	14.70	307,230.00	1.3012	19.13	399,761.53
	2.4 งานผิวทางพาราแอสฟัลต์คอนกรีต หนา 5 ซม.	ตร.ม.	10,450.00	265.29	5,544,561.00	1.3012	345.19	7,214,471.88
							รวมค่าก่อสร้าง	**15,342,005.84**

① ผลรวมค่างานต้นทุนงานก่อสร้างทาง	11,790,840.50
② ค่า Factor F งานก่อสร้างทาง	1.3012

ราคาค่าก่อสร้างถนน แบ่งเป็น

- งานรองพื้นทางลูกรัง บดอัดแน่น หนา 30 ซม. ราคาทุน = 1,563,919.50 บาท
- งานพื้นทางหินคลุก บดอัดแน่น หนา 20 ซม. ราคาทุน = 1,229,993.50 บาท
- งานไพร์มโค้ด (Prime Coat) ราคาทุน = 335,654.00 บาท
- งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หนา 5 ซม. ราคาทุน = 2,809,482.50 บาท

เพิ่มความหนาของชั้นผิวทางด้วยการ Overlay 5 ซม. ทั้งหมด 2 ครั้ง

- งานแทคโค้ด (Tack Coat) ราคาทุน = 153,615.00 บาท
- งาน Overlay ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หนา 5 ซม. ราคาทุน = 2,772,280.50 บาท

รวมเป็นราคาก่อสร้าง 11,790,840.50 บาท เนื่องจากมูลค่างานเกิน 5 ล้าน ค่า Factor F จึงใช้เป็น 1.3012

ดังนั้นค่าก่อสร้างถนนมีค่าเท่ากับ 15,342,005.84 บาท

ราคางาน Overlay 5 cm เพิ่มความหนาจากชั้น AC เดิม (ไม่มีงาน Mill)

กรณีงาน Overlay 5 cm เพิ่มความหนาจากชั้น AC เดิม (ไม่มีการ Mill)

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	FN	ราคาต่อหน่วย X FN	ราคากลาง
1	งานผิวทาง และผิวไหล่ทาง							
	1.1 งานแทคโค้ด (Tack Coat)	ตร.ม.	10,450.00	14.70	153,615.00	1.3624	20.03	209,285.08
	1.2 งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หนา 5 ซม.	ตร.ม.	10,450.00	265.29	2,772,280.50	1.3624	361.43	3,776,954.95
							รวมค่าก่อสร้าง	3,986,240.03

① ผลรวมค่างานต้นทุนงานก่อสร้างทาง	2,925,895.50
② ค่า Factor F งานก่อสร้างทาง	1.3624

ราคางาน Overlay แบ่งเป็น

- งานแทคโค้ด (Tack Coat) ราคาทุน = 153,615.00 บาท
- งาน Overlay ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หนา 5 ซม. ราคาทุน = 2,772,280.50 บาท

รวมเป็นราคาก่อสร้าง 2,925,895.50 บาท เนื่องจากมูลค่างานไม่เกิน 5 ล้าน ค่า Factor F จึงใช้เป็น 1.3624

ดังนั้นงาน Overlay มีค่าเท่ากับ 3,986,240.03 บาท ต่อความหนา 5 ซม.

ดังนั้น สรุปได้ว่าค่าก่อสร้างถนนมีค่าเท่ากับ 15,342,005.84 บาท และ ในกรณีของงาน Overlay มีค่าเท่ากับ 3,986,240.03 บาท ต่อความหนา 5 ซม. อ้างอิงจากรูปแบบโครงสร้างทางที่มีชั้น AC + AC Overlay เท่ากับ 150 mm. โดยค่าก่อสร้างดังกล่าวจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ต่อไป

ค่า SN ที่คำนวณได้จากค่าผลทดสอบ FWD ตามหน้าตัดทางดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 4.37 ทำการทดลองเพิ่มความหนาเฉพาะผิวทาง 5 ซม. โดยวิธีการ Overlay ซึ่งถูกกำหนดโดยใช้ค่า Coefficient สำหรับแอสฟัลต์เป็น 0.44 เมื่อความหนาอยู่ในหน่วยนิ้ว (การ Overlay 5 ซม. เพิ่มค่า SN เท่ากับ 0.88)

- กรณี เพิ่ม SN ขึ้น 20% = 5.25 มีมูลค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นเป็น 19,328,245.87 บาท และ
- กรณี เพิ่ม SN ขึ้น 40% = 6.13 มีมูลค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นเป็น 23,314,485.90 บาท

3.7.2 การวิเคราะห์ค่าซ่อมบำรุงต่อเพลามาตรฐาน

เป็นการวิเคราะห์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และจำนวนเพลามาตรฐานสะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี ดังสมการที่ 3.43

$$\text{ค่าซ่อมบำรุงต่อเพลามาตรฐาน} = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ}}{\text{ESAL}_{\text{สะสม}}} \qquad (3.43)$$

โดยที่

ค่าซ่อมบำรุงต่อเพลามาตรฐาน	คือ ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี โดยมีหน่วยเป็น บาท/ESAL/กิโลเมตร
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	คือ ค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี โดยมีหน่วยเป็น บาท/กิโลเมตร
$\text{ESAL}_{\text{สะสม}}$	คือ ESAL สะสมตลอดการใช้งาน 20 ปี โดยมีหน่วยเป็น ESAL

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจาก HDM-4

ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตลอดระยะเวลา 20 ปี โดยไม่มีการบำรุงรักษา แต่มีการปรับแก้ค่า Calibration Factors รูปแบบที่ 2 นำมาใช้เป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลองที่ 1 ซึ่งค่าปรับแก้ที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับดำเนินงานวิจัยนี้ คือ $K_{gm} = \frac{m_{eff}}{0.023} = \frac{0.02}{0.023} = 0.8695 \approx 0.870$, $K_{ci} = 0.80$ และ $K_{cp} = 1.256$ โดยมีรายละเอียดข้อมูลแสดงดังตารางที่ 72 และ 73

ตารางที่ 72 การกำหนดข้อมูลจริงจากพื้นที่วิจัย เพื่อใช้ในงานวิจัย

รายละเอียด	ระดับที่ HDM-4 กำหนด	ข้อมูลชี้วัดในการเลือก
การประเมินคุณภาพของ Bitumen	คุณภาพสูง	ใช้ในอุตสาหกรรมทางหลวง
การประเมินสภาพอากาศในท้องถิ่น	ออกซิไดซ์ปานกลาง	ผสมระหว่างแสงแดดและเมฆปกคลุม
การประเมินคุณภาพการก่อสร้าง	ระดับต่ำ	40/50 หรือ 60/70 penetration

ตารางที่ 73 ค่าการปรับแก้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา

รายละเอียด	ค่าจากการปรับแก้
Roughness (Kgm)	0.8695
Cracking Initiation (Kci)	0.80
Cracking Progression (Kcp)	1.256

แบบจำลองที่ 1 นี้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลจากถนนสาย 344 และเป็นต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัย โดยค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลา 20 ปีนั้น แสดงดังรูปที่ 57, 58 และ 59 ภายหลังจากการพิจารณาจะพบว่าการเริ่มต้นการเกิดรอยร้าว (Cracking Initiation) นั้นเกิดขึ้นภายในปีการวิเคราะห์ที่ 4 และเริ่มลุกลามเปลี่ยนเป็น Wide structural cracking ภายในปีที่ 6 เมื่อปล่อยความเสียหายทิ้งไว้โดยไม่มีการบำรุงรักษา จะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของผิวทางภายในปีการวิเคราะห์ที่ 9 คือผิวทางเกิดเป็นหลุมบ่อจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความเสียหายของ Wide structural cracking และหลังจากนั้นจะเห็นถึงการเสื่อมสภาพของผิวทางแบบก้าวกระโดดจนนำไปสู่การพังของถนน

ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวทางอ่อนตัวในช่วงปีที่ 1-8 โดยใช้เงื่อนไขการซ่อมบำรุงรูปแบบที่ 1

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Thesis Calibration Op2**
Run Date: **22-03-2023**

Section: 4 Lanes C Op2
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%) All Structural ACA	Cracking Area (%) Wide Structural ACW	Cracking Area (%) Transverse Thermal ACT	Cracking Area (%) Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Potholes Number per km NPT	Potholes Area (%) APOT	Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting Mean Rut Depth (mm RDM	Rutting Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
			After works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	5.42	2.41	3	0	0	3	0	0	0.0	46	3.4	1.9	0.50	0.38
			After works	AMGB	5.42	2.41	3	0	0	3	0	0	0.0	46	3.4	1.9	0.50	0.38
2026	6159	1.62	Before works	AMGB	5.39	2.52	8	0	0	8	0	0	0.0	61	3.6	2.0	0.50	0.38
			After works	AMGB	5.39	2.52	8	0	0	8	0	0	0.0	61	3.6	2.0	0.50	0.38
2027	6406	1.68	Before works	AMGB	5.31	2.66	17	5	0	17	0	0	0.0	76	3.8	2.1	0.50	0.38
			After works	AMGB	5.31	2.66	17	5	0	17	0	0	0.0	76	3.8	2.1	0.50	0.38
2028	6662	1.75	Before works	AMGB	5.17	2.83	29	14	0	29	0	0	0.0	93	4.0	2.2	0.50	0.37
			After works	AMGB	5.17	2.83	29	14	0	29	0	0	0.0	93	4.0	2.2	0.50	0.37
2029	6928	1.82	Before works	AMGB	4.96	3.03	45	28	0	45	0	0	0.0	111	4.3	2.4	0.50	0.37
			After works	AMGB	4.96	3.03	45	28	0	45	0	0	0.0	111	4.3	2.4	0.50	0.37

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 3

รูปที่ 57 แบบบันทึกผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวทางอ่อนตัวในช่วงปีที่ 1-8 โดยใช้เงื่อนไขการซ่อมบำรุงรูปแบบที่ 1

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 4 Lanes C Op2
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m_2/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2030	7206	1.89	Before works	AMGB	4.66	4.08	64	45	0	64	0	166	0.2	131	4.5	2.5	0.50	0.36
			After works	AMGB	4.66	4.08	64	45	0	64	0	166	0.2	131	4.5	2.5	0.50	0.36
2031	7494	1.97	Before works	AMGB	4.30	7.97	78	64	0	78	0	516	0.7	152	4.8	2.7	0.50	0.36
			After works	AMGB	4.30	7.97	78	64	0	78	0	516	0.7	152	4.8	2.7	0.50	0.36
2032	7793	2.05	Before works	AMGB	4.10	16.00	89	80	0	89	2	1161	1.7	176	5.2	2.8	0.50	0.35
			After works	AMGB	4.10	16.00	89	80	0	89	2	1161	1.7	176	5.2	2.8	0.50	0.35
2033	8105	2.13	Before works	AMGB	3.99	16.00	94	91	0	94	0	2238	3.2	221	5.6	3.0	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.99	16.00	94	91	0	94	0	2238	3.2	221	5.6	3.0	0.50	0.35
2034	8429	2.21	Before works	AMGB	3.91	16.00	90	90	0	90	0	3958	5.7	280	6.0	3.3	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.91	16.00	90	90	0	90	0	3958	5.7	280	6.0	3.3	0.50	0.35
2035	8767	2.30	Before works	AMGB	3.88	16.00	86	86	0	86	0	6609	9.4	343	6.5	3.4	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.88	16.00	86	86	0	86	0	6609	9.4	343	6.5	3.4	0.50	0.35
2036	9117	2.39	Before works	AMGB	3.84	16.00	84	84	0	84	0	7000	10.0	412	6.9	3.6	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.84	16.00	84	84	0	84	0	7000	10.0	412	6.9	3.6	0.50	0.35
2037	9482	2.49	Before works	AMGB	3.84	16.00	83	83	0	83	0	7000	10.0	486	7.3	3.8	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.84	16.00	83	83	0	83	0	7000	10.0	486	7.3	3.8	0.50	0.35
2038	9861	2.59	Before works	AMGB	3.85	16.00	82	82	0	82	0	7000	10.0	567	7.7	4.0	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.85	16.00	82	82	0	82	0	7000	10.0	567	7.7	4.0	0.50	0.35
2039	10256	2.69	Before works	AMGB	3.86	16.00	81	81	0	81	0	7000	10.0	654	8.1	4.1	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.86	16.00	81	81	0	81	0	7000	10.0	654	8.1	4.1	0.50	0.35

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 3**

รูปที่ 58 แบบจำลองสายที่ 1 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HDM-4 ปีที่ 9-18 โดยไม่บำรุงรักษา

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 4 Lanes C Op2
Alternative: Thesis
Sensitivity: No Sensitivity Analysis Conducted

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm) RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	AMGB	3.87	16.00	79	79	0	79	0	7000	10.0	748	8.5	4.3	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.87	16.00	79	79	0	79	0	7000	10.0	748	8.5	4.3	0.50	0.35
2041	11093	2.91	Before works	AMGB	3.88	16.00	78	78	0	78	0	7000	10.0	849	8.9	4.5	0.50	0.35
			After works	AMGB	3.88	16.00	78	78	0	78	0	7000	10.0	849	8.9	4.5	0.50	0.35

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 3**

รูปที่ 59 แบบบันทึกอันดับที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HDM-4 ในช่วงปีที่ 19-20 โดยไม่บำรุงรักษา

4.2 การซ่อมบำรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วย HDM-4

ภายหลังจากการทดลอง Run Model บนเงื่อนไขไร้การบำรุงรักษาบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตลอดระยะเวลา 20 ปี แล้วนั้น ทำให้ทราบถึงความเสียหายและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาต่างๆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุงเพื่อให้เกิดความเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดในการซ่อมบำรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต บนเงื่อนไขการกำหนดแบบจำลอง 1 เป็นต้นแบบในงานวิจัย เนื่องจากตรงตามรูปแบบมาตรฐานงานก่อสร้าง วัสดุ และสภาพอากาศของประเทศไทย โดยกำหนดช่วงการบำรุงรักษาต่างๆ ดังนี้ Patching : Ravelling, Mill and Overlay, Heavy Patching และ Slurry Seal โดยการสร้างแบบจำลองที่แตกต่างกันเพิ่มขึ้นมาอีก 4 แบบจำลอง โดยที่ 2 แบบจำลองแรกที่สร้างขึ้นนั้น เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่ามีค่าซ่อมบำรุงที่ต่างกันไปหรือไม่ และทดลองสร้างแบบจำลองอีก 2 รูปแบบ เพื่อใช้สำหรับการพิจารณานำไปใช้ในถนนสายอื่นที่มีความคล้ายคลึงกันในด้านความแข็งแรง และปริมาณจราจรดังกล่าว ดังตารางที่ 74

ตารางที่ 74 แบบจำลองที่ใช้สำหรับดำเนินงานวิจัย

จำนวนแบบจำลอง	เงื่อนไข	ประเภท และจำนวนรถบรรทุก (คัน)
แบบจำลองที่ 1	แบบจำลองต้นแบบ (จากการปรับแก้ รูปแบบที่ 2)	Medium Truck = 1327 Heavy Truck = 1214 Semi-Trailer = 1412 Full Trailer = 1312
	Surface: AC+AC Overlay 150 mm. Base: หินคลุก 200 mm. Subbase: ลูกรัง 300 mm. Subgrade	

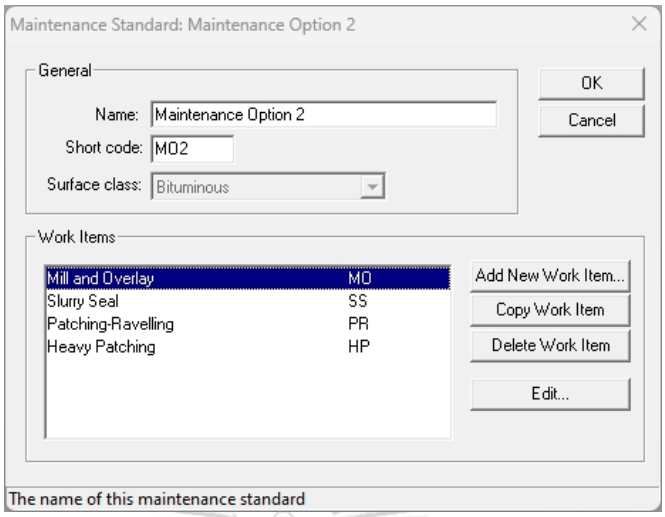
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบจำลองที่ 2	เพิ่ม SN 20% โดยวิธีเพิ่มความหนาผิวทาง 5 ซม. จากแบบจำลองที่ 1			Medium Truck = 1327 Heavy Truck = 1214 Semi-Trailer = 1412 Full Trailer = 1312
		Surface	AC+AC Overlay	200 mm.
		Base	หินคลุก	200 mm.
		Subbase	ลูกรัง	300 mm.
			Subgrade	
แบบจำลองที่ 3	เพิ่ม SN 40% โดยวิธีเพิ่มความหนาผิวทาง 10 ซม. จากแบบจำลองที่ 1			Medium Truck = 1327 Heavy Truck = 1214 Semi-Trailer = 1412 Full Trailer = 1312
		Surface	AC+AC Overlay	250 mm.
		Base	หินคลุก	200 mm.
		Subbase	ลูกรัง	300 mm.
			Subgrade	

แบบจำลองที่ 4	ลด SN 20% โดยลดความหนาผิวทาง 5 ซม.	Medium Truck = 1327 Heavy Truck = 1214 Semi-Trailer = 1412 Full Trailer = 1312
	Surface AC+AC Overlay 100 mm. Base หินคลุก 200 mm. Subbase ลูกรัง 300 mm. Subgrade	
แบบจำลองที่ 5	ลด SN 20% โดยลดความหนาผิวทาง 5 ซม. และปริมาณจราจร 40%	Medium Truck = 797 Heavy Truck = 729 Semi-Trailer = 848 Full Trailer = 788
	Surface AC+AC Overlay 100 mm. Base หินคลุก 200 mm. Subbase ลูกรัง 300 mm. Subgrade	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 1



รูปที่ 60 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 1

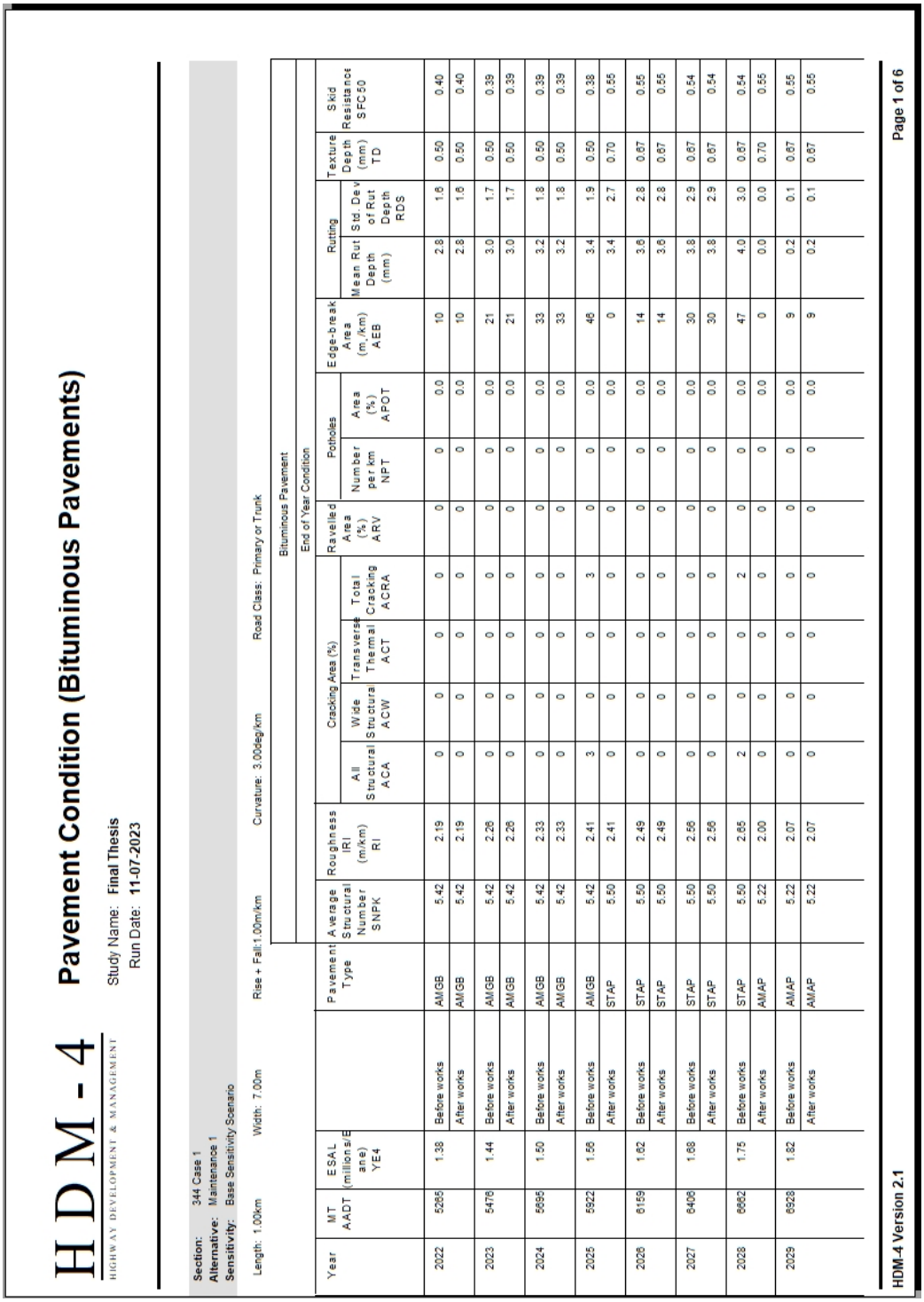
ตารางที่ 75 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 1

รูปแบบการซ่อมบำรุง	เงื่อนไข	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม)
Mill and Replace (Milling of existing asphalt concrete surface 5 cm. thick + Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick)	IRI $\geq$ 2.60 IRI m/km	322.79 บาท = 8.39 USD
Slurry Seal Type 2 (10 mm)	Cracking Initiation = 0.5%	111 บาท =2.89 USD

หมายเหตุ : 1 บาท เท่ากับ 0.026 USD ณ เดือน 10 ปี 2565

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 61, 62 และ 63 นั้นพบว่าภายในปีที่ 4 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.41 และการแตกร้าวที่ 3%, ภายในปีที่ 7 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.65 และการแตกร้าวที่ 2%, ภายในปีที่ 10 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.24 และการแตกร้าวที่ 1%, ภายในปีที่ 14 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.61 และการแตกร้าวที่ 0%, ภายในปีที่ 17 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.29 และการแตกร้าวที่ 2% และภายในปีที่ 20 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี

Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.70 และการแตกร้าวที่ 17% ตรงตามเงื่อนไขการซ่อมบำรุงที่กำหนดไว้ใน HDM-4 โดยที่ความแตกต่างจะเห็นชัดเจนขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 2 ถึงแบบจำลองที่ 5



HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

							Bituminous Pavement														
							End of Year Condition														
								Cracking Area (%)				Ravelled	Potholes		Edge-break	Rutting			Texture	Skid
Year	MT AADT	ESAL (million s/E ane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA	Area (%) ARV	Number per km NPT	Area (%) APOT	Area (m^2/km) AEB	Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS	Depth (mm) TD	Resistance SFC50
2022	5285	1.38	Before works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
			After works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	5.42	2.41	3	0	0	3	0	0	0.0	46	3.4	1.9	0.50	0.38
			After works	STAP	5.50	2.41	0	0	0	0	0	0	0.0	0	3.4	2.7	0.70	0.55
2026	6159	1.62	Before works	STAP	5.50	2.49	0	0	0	0	0	0	0.0	14	3.6	2.8	0.67	0.55
			After works	STAP	5.50	2.49	0	0	0	0	0	0	0.0	14	3.6	2.8	0.67	0.55
2027	6406	1.68	Before works	STAP	5.50	2.56	0	0	0	0	0	0	0.0	30	3.8	2.9	0.67	0.54
			After works	STAP	5.50	2.56	0	0	0	0	0	0	0.0	30	3.8	2.9	0.67	0.54
2028	6662	1.75	Before works	STAP	5.50	2.65	2	0	0	2	0	0	0.0	47	4.0	3.0	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.22	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2029	6928	1.82	Before works	AMAP	5.22	2.07	0	0	0	0	0	0	0.0	9	0.2	0.1	0.67	0.55
			After works	AMAP	5.22	2.07	0	0	0	0	0	0	0.0	9	0.2	0.1	0.67	0.55

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 6

รูปที่ 61 แบบจำลองที่ 1 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
							Cracking Area (%)					Potholes			Rutting			
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Number per km NPT	Area (%) APOT	Edge-break Area (m²/km) AEB	Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2030	7206	1.89	Before works	AMAP	5.22	2.15	0	0	0	0	0	0	0.0	19	0.4	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.22	2.15	0	0	0	0	0	0	0.0	19	0.4	0.3	0.67	0.54
2031	7494	1.97	Before works	AMAP	5.22	2.24	1	0	0	1	0	0	0.0	29	0.6	0.4	0.67	0.54
			After works	STAP	5.29	2.24	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.6	0.5	0.70	0.55
2032	7793	2.05	Before works	STAP	5.29	2.32	0	0	0	0	0	0	0.0	23	0.8	0.6	0.67	0.55
			After works	STAP	5.29	2.32	0	0	0	0	0	0	0.0	23	0.8	0.6	0.67	0.55
2033	8105	2.13	Before works	STAP	5.29	2.40	1	0	0	1	0	0	0.0	48	1.0	0.8	0.67	0.54
			After works	STAP	5.29	2.40	1	0	0	1	0	0	0.0	48	1.0	0.8	0.67	0.54
2034	8429	2.21	Before works	STAP	5.29	2.52	5	0	0	5	0	0	0.0	74	1.2	0.9	0.67	0.53
			After works	STAP	5.37	2.52	0	0	0	0	0	0	0.0	0	1.2	1.0	0.70	0.55
2035	8767	2.30	Before works	STAP	5.37	2.61	0	0	0	0	0	0	0.0	29	1.4	1.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2036	9117	2.39	Before works	AMAP	5.09	2.09	0	0	0	0	0	0	0.0	16	0.2	0.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.09	0	0	0	0	0	0	0.0	16	0.2	0.1	0.67	0.54
2037	9482	2.49	Before works	AMAP	5.09	2.18	1	0	0	1	0	0	0.0	33	0.4	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.18	1	0	0	1	0	0	0.0	33	0.4	0.3	0.67	0.54
2038	9861	2.59	Before works	AMAP	5.08	2.29	2	0	0	2	0	0	0.0	51	0.7	0.4	0.67	0.53
			After works	STAP	5.16	2.29	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.7	0.5	0.70	0.55
2039	10256	2.69	Before works	STAP	5.16	2.38	0	0	0	0	0	0	0.0	40	0.9	0.7	0.67	0.54
			After works	STAP	5.16	2.38	0	0	0	0	0	0	0.0	40	0.9	0.7	0.67	0.54

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 6**

รูปที่ 62 แบบบันทึกผลการคำนวณ HDM-4 ของทางสายที่ 1 ในช่วงหลังการซ่อมบำรุงในปีที่ 9-18

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

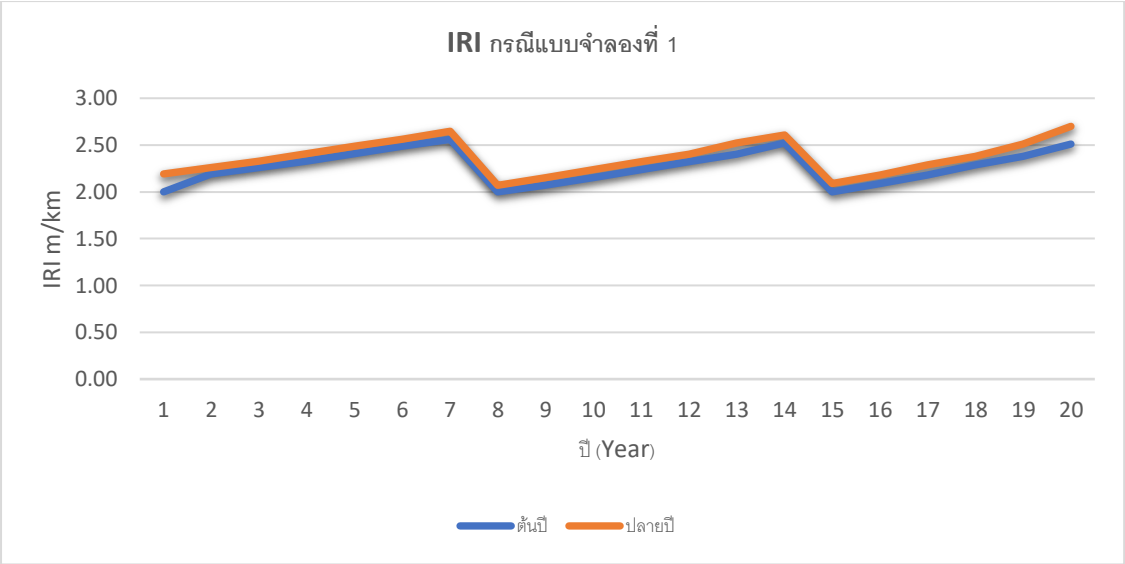
Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

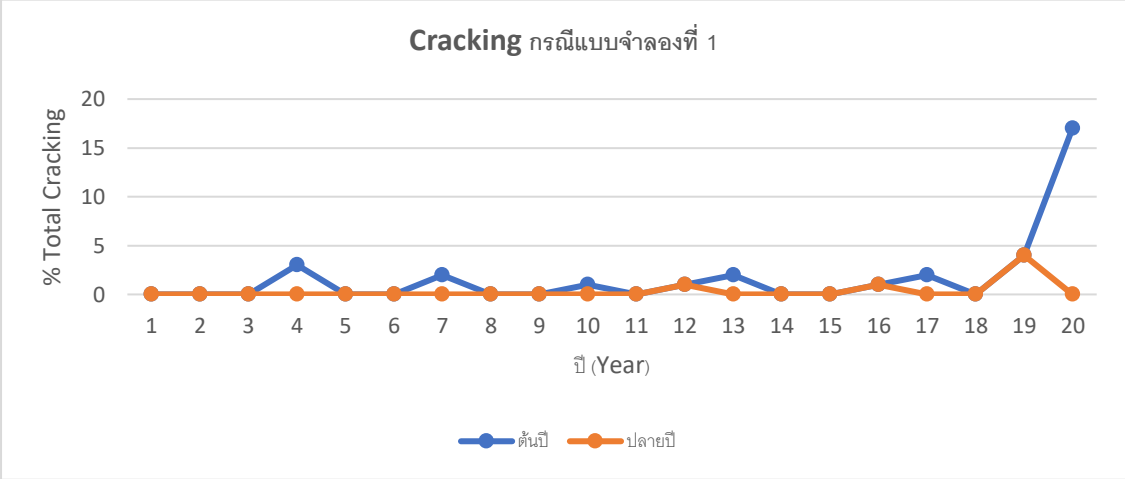
					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Bane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m_2/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	STAP	5.16	2.51	4	0	0	4	0	0	0.0	83	1.1	0.8	0.67	0.54
			After works	STAP	5.16	2.51	4	0	0	4	0	0	0.0	83	1.1	0.8	0.67	0.54
2041	11093	2.91	Before works	STAP	5.11	2.70	17	0	0	17	0	0	0.0	129	1.3	0.9	0.67	0.53
			After works	AMAP	4.87	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 6**

รูปที่ 63 แบบบันทึกผลการคำนวณ HDM-4 ในสถานการณ์ที่ 1 ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายในช่วงปีที่ 19-20



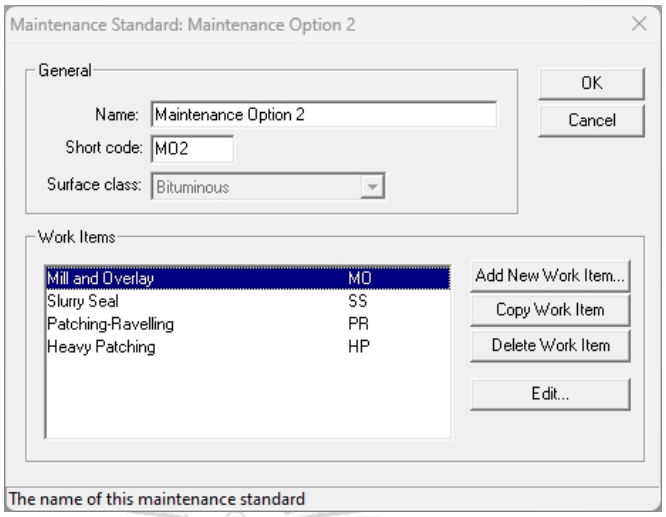
รูปที่ 64 แบบจำลองที่ 1 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี



รูปที่ 65 แบบจำลองที่ 1 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี

จากรูปที่ 64 และ 65 จะเห็นว่าค่า IRI สูงสุดในรอบ 20 ปี ขึ้นไปได้สูงสุดที่ 2.70 ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 20 และค่าการแตกร้าวขึ้นไปได้สูงสุดที่ 17% ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 20 เช่นเดียวกัน ผลที่ได้ออกมานั้นยังคงสรุปไม่ได้ว่าเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทาง และปริมาณรถบรรทุกนั้นยังคงเป็นตัวแปรสำคัญ

4.2.2 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 2



รูปที่ 66 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 2

ตารางที่ 76 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 2

รูปแบบการซ่อมบำรุง	เงื่อนไข	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม)
Mill and Replace (Milling of existing asphalt concrete surface 5 cm. thick + Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick)	IRI $\geq$ 2.60 IRI m/km	322.79 บาท = 8.39 USD
Slurry Seal Type 2 (10 mm)	Cracking Initiation = 0.5%	111 บาท =2.89 USD

หมายเหตุ : 1 บาท เท่ากับ 0.026 USD ณ เดือน 10 ปี 2565

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 67, 68 และ 69 นั้นพบว่าภายในปีที่ 5 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.42 และการแตกร้าวที่ 3%, ภายในปีที่ 8 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.61 และการแตกร้าวที่ 0%, ภายในปีที่ 12 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.26 และการแตกร้าวที่ 1%, ภายในปีที่ 15 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.47 และการแตกร้าวที่ 1%, ภายในปีที่ 17 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.62 และการแตกร้าวที่ 0% และภายในปีที่ 20 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.22 และการแตกร้าวที่

2% ตรงตามเงื่อนไขการซ่อมบำรุงที่กำหนด โดยมีแบบจำลองที่ 2 นี้แสดงให้เห็นว่าการเปิดการจราจรชั่วคราวในช่วงการซ่อมบำรุงนั้นส่งผลกระทบต่อสภาพผิวทางในช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น ดังนั้นหากมีการเปิดการจราจรชั่วคราวในช่วงการซ่อมบำรุงจึงควรพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นด้วย

HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Section: 344 Case 2
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	6.25	2.17	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.5	1.4	0.50	0.40
			After works	AMGB	6.25	2.17	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.5	1.4	0.50	0.40
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	6.25	2.23	0	0	0	0	0	0	0.0	21	2.7	1.5	0.50	0.39
			After works	AMGB	6.25	2.23	0	0	0	0	0	0	0.0	21	2.7	1.5	0.50	0.39
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	6.25	2.28	0	0	0	0	0	0	0.0	33	2.8	1.6	0.50	0.39
			After works	AMGB	6.25	2.28	0	0	0	0	0	0	0.0	33	2.8	1.6	0.50	0.39
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	6.25	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	46	3.0	1.7	0.50	0.38
			After works	AMGB	6.25	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	46	3.0	1.7	0.50	0.38
2026	6159	1.62	Before works	AMGB	6.25	2.42	3	0	0	3	0	0	0.0	61	3.2	1.8	0.50	0.38
			After works	STAP	6.32	2.42	0	0	0	0	0	0	0.0	0	3.2	2.5	0.70	0.55
2027	6406	1.68	Before works	STAP	6.32	2.48	0	0	0	0	0	0	0.0	15	3.3	2.6	0.67	0.55
			After works	STAP	6.32	2.48	0	0	0	0	0	0	0.0	15	3.3	2.6	0.67	0.55
2028	6662	1.75	Before works	STAP	6.32	2.55	0	0	0	0	0	0	0.0	32	3.5	2.7	0.67	0.54
			After works	STAP	6.32	2.55	0	0	0	0	0	0	0.0	32	3.5	2.7	0.67	0.54
2029	6928	1.82	Before works	STAP	6.32	2.61	0	0	0	0	0	0	0.0	50	3.7	2.8	0.67	0.54
			After works	AMAP	6.04	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 6

รูปที่ 67 แบบจำลองที่ 2 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 344 Case 2
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2030	7206	1.89	Before works	AMAP	6.04	2.06	0	0	0	0	0	0	0.0	10	0.2	0.1	0.67	0.55
			After works	AMAP	6.04	2.06	0	0	0	0	0	0	0.0	10	0.2	0.1	0.67	0.55
2031	7494	1.97	Before works	AMAP	6.04	2.12	0	0	0	0	0	0	0.0	20	0.3	0.2	0.67	0.54
			After works	AMAP	6.04	2.12	0	0	0	0	0	0	0.0	20	0.3	0.2	0.67	0.54
2032	7793	2.05	Before works	AMAP	6.04	2.18	0	0	0	0	0	0	0.0	32	0.5	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	6.04	2.18	0	0	0	0	0	0	0.0	32	0.5	0.3	0.67	0.54
2033	8105	2.13	Before works	AMAP	6.04	2.26	1	0	0	1	0	0	0.0	44	0.7	0.4	0.67	0.53
			After works	STAP	6.12	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.7	0.6	0.70	0.55
2034	8429	2.21	Before works	STAP	6.12	2.32	0	0	0	0	0	0	0.0	27	0.9	0.7	0.67	0.54
			After works	STAP	6.12	2.32	0	0	0	0	0	0	0.0	27	0.9	0.7	0.67	0.54
2035	8767	2.30	Before works	STAP	6.12	2.39	0	0	0	0	0	0	0.0	56	1.0	0.8	0.67	0.54
			After works	STAP	6.12	2.39	0	0	0	0	0	0	0.0	56	1.0	0.8	0.67	0.54
2036	9117	2.39	Before works	STAP	6.12	2.47	1	0	0	1	0	0	0.0	87	1.2	0.9	0.67	0.53
			After works	STAP	6.19	2.47	0	0	0	0	0	0	0.0	0	1.2	1.0	0.70	0.55
2037	9482	2.49	Before works	STAP	6.19	2.55	0	0	0	0	0	0	0.0	34	1.4	1.1	0.67	0.54
			After works	STAP	6.19	2.55	0	0	0	0	0	0	0.0	34	1.4	1.1	0.67	0.54
2038	9861	2.59	Before works	STAP	6.19	2.62	0	0	0	0	0	0	0.0	71	1.6	1.2	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.91	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2039	10256	2.69	Before works	AMAP	5.91	2.07	0	0	0	0	0	0	0.0	20	0.2	0.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.91	2.07	0	0	0	0	0	0	0.0	20	0.2	0.1	0.67	0.54

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 6**

รูปที่ 68 แบบบันทึกของค่า 2 ผลของมาตรการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 9-18

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

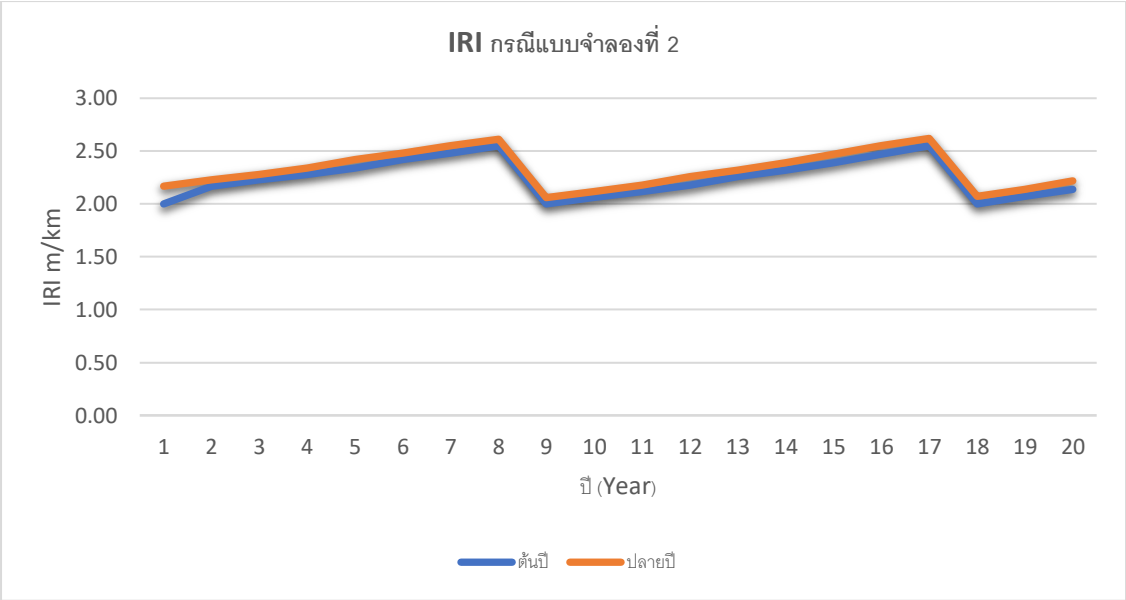
Section: 344 Case 2
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

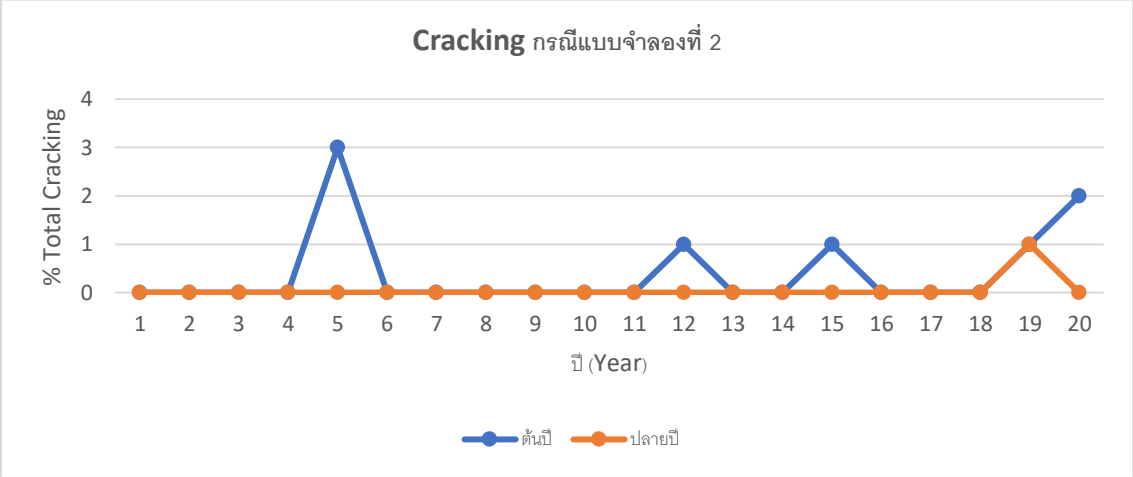
					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m_2/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	AMAP	5.91	2.14	1	0	0	1	0	0	0.0	41	0.4	0.2	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.91	2.14	1	0	0	1	0	0	0.0	41	0.4	0.2	0.67	0.54
2041	11093	2.91	Before works	AMAP	5.90	2.22	2	0	0	2	0	0	0.0	64	0.6	0.4	0.67	0.53
			After works	STAP	5.98	2.22	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.6	0.4	0.70	0.55

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 6**

รูปที่ 69 แบบบันทึกผลที่ 2 แสดงผลความเสื่อมสภาพและการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 19-20



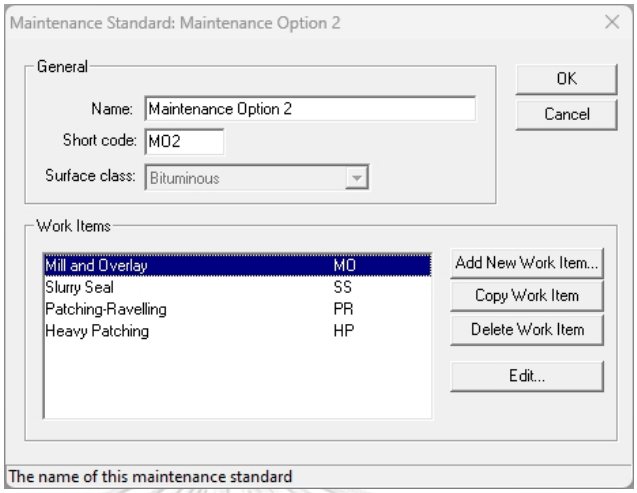
รูปที่ 70 แบบจำลองที่ 2 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี



รูปที่ 71 แบบจำลองที่ 2 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี

จากรูปที่ 70 และ 71 จะเห็นว่าค่า IRI สูงสุดในรอบ 20 ปี ขึ้นไปได้สูงสุดที่ 2.61 ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 8 และค่าการแตกร้าวขึ้นไปได้สูงสุดที่ 3% ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 5 ส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าการความรุนแรงของการแตกร้าวลดน้อยลงจากแบบจำลองที่ 1 สังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์การเกิดการแตกร้าวที่ลดลง

4.2.3 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 3



รูปที่ 72 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 3

ตารางที่ 77 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 3

รูปแบบการซ่อมบำรุง	เงื่อนไข	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม)
Mill and Replace (Milling of existing asphalt concrete surface 5 cm. thick + Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick)	IRI $\geq$ 2.60 IRI m/km	322.79 บาท = 8.39 USD
Slurry Seal Type 2 (10 mm)	Cracking Initiation = 0.5%	111 บาท =2.89 USD

หมายเหตุ : 1 บาท เท่ากับ 0.026 USD ณ เดือน 10 ปี 2565

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 73, 74 และ 75 นั้นพบว่าภายในปีที่ 6 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.44 และการแตกร้าวที่ 2%, ภายในปีที่ 9 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.61 และการแตกร้าวที่ 0%, ภายในปีที่ 13 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.22 และการแตกร้าวที่ 1%, ภายในปีที่ 17 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.47 และการแตกร้าวที่ 1% และภายในปีที่ 19 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.60 และการแตกร้าวที่ 0%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเสนอเงื่อนไขการซ่อมบำรุงที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงในแต่ละปี ในแผนที่ 3 ซึ่งเป็นแผนที่มีการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงปีที่ 1 ถึงปีที่ 8 ไม่มีการซ่อมบำรุงใดๆ ดังนั้นค่าดัชนีความขรุขระ ค่าความเสียหายของผิวทาง และค่าความต้านทานการลื่นไถลจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้

รูปที่ 73 แบบจำลองที่ 3 แสดงผลค่าความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Section: 344 Case 3
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Bane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	7.09	2.16	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.3	1.3	0.50	0.40
			After works	AMGB	7.09	2.16	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.3	1.3	0.50	0.40
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	7.09	2.21	0	0	0	0	0	0	0.0	21	2.4	1.4	0.50	0.39
			After works	AMGB	7.09	2.21	0	0	0	0	0	0	0.0	21	2.4	1.4	0.50	0.39
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	7.09	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	33	2.5	1.5	0.50	0.39
			After works	AMGB	7.09	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	33	2.5	1.5	0.50	0.39
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	7.09	2.31	0	0	0	0	0	0	0.0	46	2.7	1.6	0.50	0.38
			After works	AMGB	7.09	2.31	0	0	0	0	0	0	0.0	46	2.7	1.6	0.50	0.38
2026	6159	1.62	Before works	AMGB	7.09	2.37	0	0	0	0	0	0	0.0	61	2.8	1.6	0.50	0.38
			After works	AMGB	7.09	2.37	0	0	0	0	0	0	0.0	61	2.8	1.6	0.50	0.38
2027	6406	1.68	Before works	AMGB	7.09	2.44	2	0	0	2	0	0	0.0	76	3.0	1.7	0.50	0.38
			After works	STAP	7.16	2.44	0	0	0	0	0	0	0.0	0	3.0	2.4	0.70	0.55
2028	6662	1.75	Before works	STAP	7.16	2.49	0	0	0	0	0	0	0.0	17	3.1	2.5	0.67	0.55
			After works	STAP	7.16	2.49	0	0	0	0	0	0	0.0	17	3.1	2.5	0.67	0.55
2029	6928	1.82	Before works	STAP	7.16	2.55	0	0	0	0	0	0	0.0	35	3.3	2.5	0.67	0.54
			After works	STAP	7.16	2.55	0	0	0	0	0	0	0.0	35	3.3	2.5	0.67	0.54

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 6

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 344 Case 3
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2030	7206	1.89	Before works	STAP	7.16	2.61	0	0	0	0	0	0	0.0	54	3.4	2.6	0.67	0.54
			After works	AMAP	6.88	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2031	7494	1.97	Before works	AMAP	6.88	2.05	0	0	0	0	0	0	0.0	11	0.2	0.1	0.67	0.55
			After works	AMAP	6.88	2.05	0	0	0	0	0	0	0.0	11	0.2	0.1	0.67	0.55
2032	7793	2.05	Before works	AMAP	6.88	2.11	0	0	0	0	0	0	0.0	22	0.3	0.2	0.67	0.54
			After works	AMAP	6.88	2.11	0	0	0	0	0	0	0.0	22	0.3	0.2	0.67	0.54
2033	8105	2.13	Before works	AMAP	6.88	2.16	0	0	0	0	0	0	0.0	34	0.5	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	6.88	2.16	0	0	0	0	0	0	0.0	34	0.5	0.3	0.67	0.54
2034	8429	2.21	Before works	AMAP	6.88	2.22	1	0	0	1	0	0	0.0	48	0.6	0.4	0.67	0.53
			After works	STAP	6.95	2.22	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.6	0.5	0.70	0.55
2035	8767	2.30	Before works	STAP	6.95	2.28	0	0	0	0	0	0	0.0	29	0.8	0.6	0.67	0.54
			After works	STAP	6.95	2.28	0	0	0	0	0	0	0.0	29	0.8	0.6	0.67	0.54
2036	9117	2.39	Before works	STAP	6.95	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	60	0.9	0.7	0.67	0.54
			After works	STAP	6.95	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	60	0.9	0.7	0.67	0.54
2037	9482	2.49	Before works	STAP	6.95	2.40	0	0	0	0	0	0	0.0	94	1.1	0.8	0.67	0.53
			After works	STAP	6.95	2.40	0	0	0	0	0	0	0.0	94	1.1	0.8	0.67	0.53
2038	9861	2.59	Before works	STAP	6.95	2.47	1	0	0	1	0	0	0.0	131	1.2	0.9	0.67	0.53
			After works	STAP	7.03	2.47	0	0	0	0	0	0	0.0	0	1.2	1.0	0.70	0.55
2039	10256	2.69	Before works	STAP	7.03	2.53	0	0	0	0	0	0	0.0	40	1.4	1.1	0.67	0.54
			After works	STAP	7.03	2.53	0	0	0	0	0	0	0.0	40	1.4	1.1	0.67	0.54

รูปที่ 74 แบบบำรุงของปีที่ 3 และผลคิดความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 9-18

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

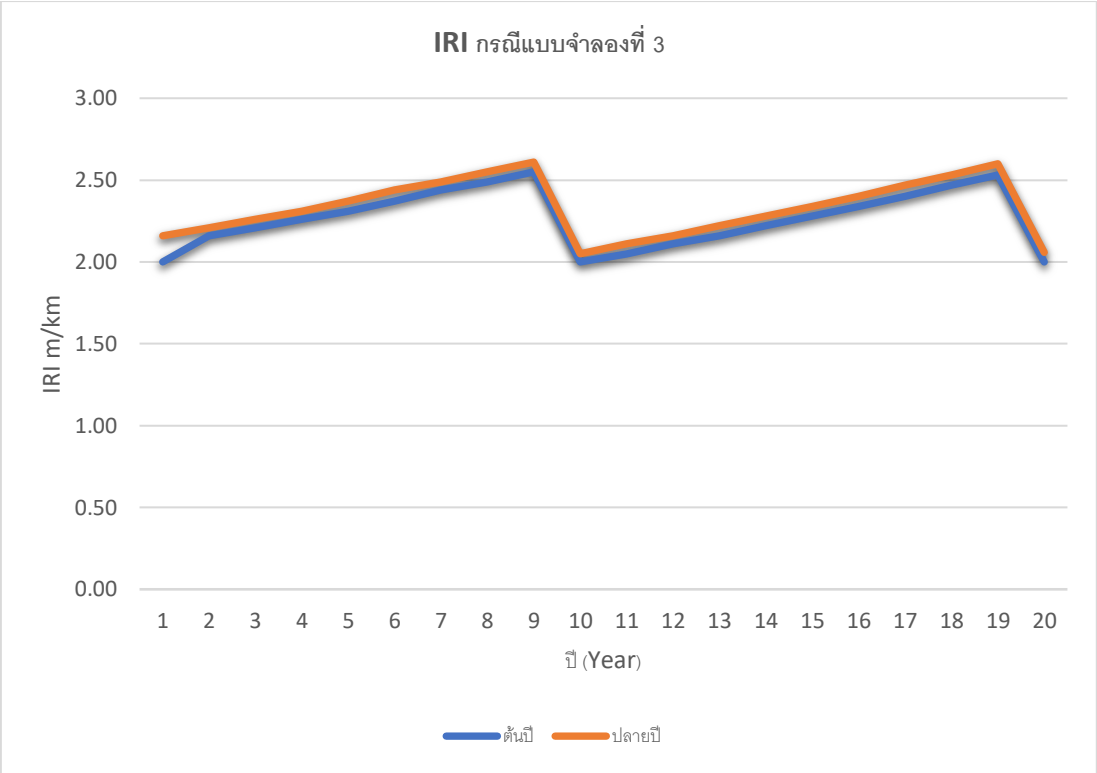
Section: 344 Case 3
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

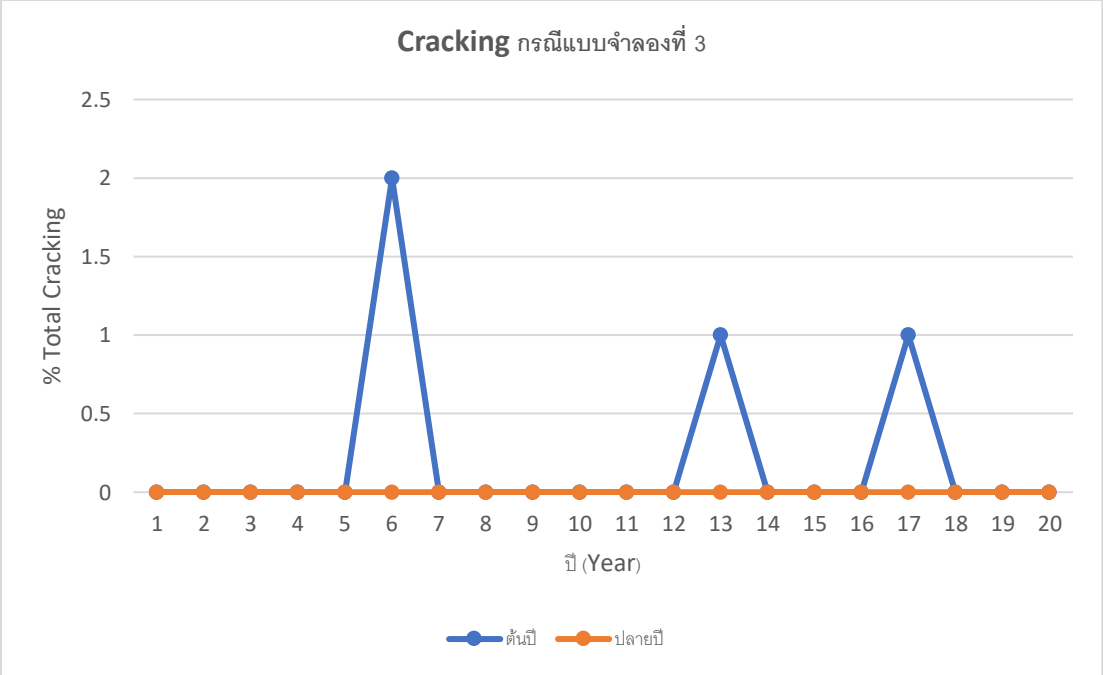
					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	STAP	7.03	2.60	0	0	0	0	0	0	0.0	83	1.5	1.2	0.67	0.54
			After works	AMAP	6.75	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2041	11093	2.91	Before works	AMAP	6.75	2.06	0	0	0	0	0	0	0.0	23	0.2	0.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	6.75	2.06	0	0	0	0	0	0	0.0	23	0.2	0.1	0.67	0.54

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 6**

รูปที่ 75 แบบบันทึกของปีที่ 3 แสดงสภาพความเสื่อมหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 19-20



รูปที่ 76 แบบจำลองที่ 3 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี



รูปที่ 77 แบบจำลองที่ 3 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี

จากรูปที่ 76 และ 77 จะเห็นว่าค่า IRI สูงสุดในรอบ 20 ปี ขึ้นไปได้สูงสุดที่ 2.61 ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 9 และค่าการแตกร้าวขึ้นไปได้สูงสุดที่ 2% ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 2 สาเหตุที่ค่าการแตกร้าวขึ้นสูงสุดได้เพียง 2% นั้นเนื่องจากความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่เพิ่มขึ้นสูงถึง 40% จึงทำให้การเริ่มต้นในการเกิดความเสียหายที่มีในแบบจำลอง นั้นไม่มีความคืบหน้า

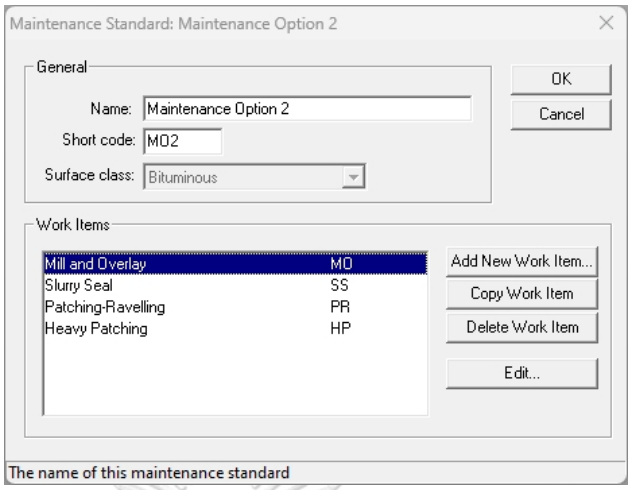
ตารางที่ 78 แสดงค่า IRI ณ ต้นปี และ ปลายปี ทั้ง 3 กรณี และช่วงเวลาที่เกิดกิจกรรมซ่อมบำรุง สีเขียวแสดงกิจกรรม Slurry Seal และสีเหลืองแสดงกิจกรรม Mill and Overlay

ปี	IRI กรณีแบบจำลองที่ 1		IRI กรณีแบบจำลองที่ 2		IRI กรณีแบบจำลองที่ 3	
	ต้นปี	ปลายปี	ต้นปี	ปลายปี	ต้นปี	ปลายปี
1	2.00	2.19	2.00	2.17	2.00	2.16
2	2.19	2.26	2.17	2.23	2.16	2.21
3	2.26	2.33	2.23	2.28	2.21	2.26
4	2.33	2.41	2.28	2.34	2.26	2.31
5	2.41	2.49	2.34	2.42	2.31	2.37
6	2.49	2.56	2.42	2.48	2.37	2.44
7	2.56	2.65	2.48	2.55	2.44	2.49
8	2.00	2.07	2.55	2.61	2.49	2.55
9	2.07	2.15	2.00	2.06	2.55	2.61
10	2.15	2.24	2.06	2.12	2.00	2.05
11	2.24	2.32	2.12	2.18	2.05	2.11
12	2.32	2.40	2.18	2.26	2.11	2.16
13	2.40	2.52	2.26	2.32	2.16	2.22
14	2.52	2.61	2.32	2.39	2.22	2.28
15	2.00	2.09	2.39	2.47	2.28	2.34
16	2.09	2.18	2.47	2.55	2.34	2.40
17	2.18	2.29	2.55	2.62	2.40	2.47
18	2.29	2.38	2.00	2.07	2.47	2.53
19	2.38	2.51	2.07	2.14	2.53	2.60
20	2.51	2.70	2.14	2.22	2.00	2.06

ตารางที่ 79 แสดงค่า Cracking ณ ต้นปี และ ปลายปี ทั้ง 3 กรณี และช่วงเวลาที่มีกิจกรรมซ่อมบำรุง สีเขียวแสดงกิจกรรม Slurry Seal และสีเหลืองแสดงกิจกรรม Mill and Overlay

ปี	Cracking กรณีแบบจำลองที่ 1		Cracking กรณีกรณีแบบจำลองที่ 2		Cracking กรณีแบบจำลองที่ 3	
	ต้นปี	ปลายปี	ต้นปี	ปลายปี	ต้นปี	ปลายปี
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0
5	0	0	3	0	0	0
6	0	0	0	0	2	0
7	2	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	1	1	1	0	0	0
13	2	0	0	0	1	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	1	0	0	0
16	1	1	0	0	0	0
17	2	0	0	0	1	0
18	0	0	0	0	0	0
19	4	4	1	1	0	0
20	17	0	2	0	0	0

4.2.4 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 4



รูปที่ 78 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 4

ตารางที่ 80 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ 4

รูปแบบการซ่อมบำรุง	เงื่อนไข	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม)
Mill and Replace (Milling of existing asphalt concrete surface 5 cm. thick + Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick)	IRI $\geq$ 2.60 IRI m/km	322.79 บาท = 8.39 USD
Slurry Seal Type 2 (10 mm)	Cracking Initiation = 0.5%	111 บาท =2.89 USD

หมายเหตุ : 1 บาท เท่ากับ 0.026 USD ณ เดือน 10 ปี 2565

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 79, 80 และ 81 นั้นพบว่าภายในปีที่ 3 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.42 และการแตกร้าวที่ 3%, ภายในปีที่ 5 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.62 และการแตกร้าวที่ 1%, ภายในปีที่ 8 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.33 และการแตกร้าวที่ 2%, ภายในปีที่ 11 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.78 และการแตกร้าวที่ 16%, ภายในปีที่ 14 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.43 และการแตกร้าวที่ 4%, ภายในปีที่ 16 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.78 และการแตกร้าวที่ 6% และภายในปีที่ 20 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.46,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภายในปีที่ 19 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.56 และการแตกร้าวที่ 3% และภายในปีที่ 20 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.76 และการแตกร้าวที่ 3% ตรงตามเงื่อนไขการซ่อมบำรุงที่ได้กำหนด แบบจำลองที่ 4 นี้แสดงให้เห็นว่าช่วงกิจกรรมการซ่อมบำรุงเริ่มเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน อันเนื่องมาจากความเข้มข้นของการซ่อมบำรุงที่ถูกจำกัดเท่านั้น จึงสร้างความเสียหายให้เกิดขึ้นมากขึ้น

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Section: 344 Case 4
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	4.60	2.23	0	0	0	0	0	0	0.0	10	3.3	1.8	0.50	0.40
			After works	AMGB	4.60	2.23	0	0	0	0	0	0	0.0	10	3.3	1.8	0.50	0.40
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	4.60	2.31	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.5	1.9	0.50	0.39
			After works	AMGB	4.60	2.31	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.5	1.9	0.50	0.39
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	4.60	2.42	3	0	0	3	0	0	0.0	33	3.8	2.1	0.50	0.39
			After works	STAP	4.67	2.42	0	0	0	0	0	0	0.0	0	3.8	3.0	0.70	0.55
2025	5922	1.56	Before works	STAP	4.67	2.51	0	0	0	0	0	0	0.0	13	4.0	3.1	0.67	0.55
			After works	STAP	4.67	2.51	0	0	0	0	0	0	0.0	13	4.0	3.1	0.67	0.55
2026	6159	1.62	Before works	STAP	4.67	2.62	1	0	0	1	0	0	0.0	28	4.2	3.2	0.67	0.54
			After works	AMAP	4.39	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2027	6406	1.68	Before works	AMAP	4.39	2.10	0	0	0	0	0	0	0.0	8	0.3	0.2	0.67	0.55
			After works	AMAP	4.39	2.10	0	0	0	0	0	0	0.0	8	0.3	0.2	0.67	0.55
2028	6662	1.75	Before works	AMAP	4.39	2.21	1	0	0	1	0	0	0.0	16	0.5	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	4.39	2.21	1	0	0	1	0	0	0.0	16	0.5	0.3	0.67	0.54
2029	6928	1.82	Before works	AMAP	4.38	2.33	2	0	0	2	0	0	0.0	25	0.8	0.5	0.67	0.54
			After works	STAP	4.46	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.8	0.6	0.70	0.55

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 6

รูปที่ 79 แบบจำลองที่ 4 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 344 Case 4
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Bane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2030	7206	1.89	Before works	STAP	4.46	2.44	0	0	0	0	0	0	0.0	20	1.0	0.8	0.67	0.55
			After works	STAP	4.46	2.44	0	0	0	0	0	0	0.0	20	1.0	0.8	0.67	0.55
2031	7494	1.97	Before works	STAP	4.46	2.58	4	0	0	4	0	0	0.0	41	1.2	0.9	0.67	0.54
			After works	STAP	4.46	2.58	4	0	0	4	0	0	0.0	41	1.2	0.9	0.67	0.54
2032	7793	2.05	Before works	STAP	4.43	2.78	16	0	0	16	0	0	0.0	64	1.5	1.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	4.18	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2033	8105	2.13	Before works	AMAP	4.18	2.13	0	0	0	0	0	0	0.0	12	0.3	0.2	0.67	0.54
			After works	AMAP	4.18	2.13	0	0	0	0	0	0	0.0	12	0.3	0.2	0.67	0.54
2034	8429	2.21	Before works	AMAP	4.18	2.27	1	0	0	1	0	0	0.0	26	0.5	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	4.18	2.27	1	0	0	1	0	0	0.0	26	0.5	0.3	0.67	0.54
2035	8767	2.30	Before works	AMAP	4.17	2.43	4	0	0	4	0	0	0.0	40	0.8	0.5	0.67	0.53
			After works	STAP	4.25	2.43	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.8	0.6	0.70	0.55
2036	9117	2.39	Before works	STAP	4.25	2.58	1	0	0	1	0	0	0.0	31	1.1	0.8	0.67	0.54
			After works	STAP	4.25	2.58	1	0	0	1	0	0	0.0	31	1.1	0.8	0.67	0.54
2037	9482	2.49	Before works	STAP	4.25	2.78	8	0	0	8	0	0	0.0	65	1.4	1.0	0.67	0.54
			After works	AMAP	3.97	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2038	9861	2.59	Before works	AMAP	3.97	2.17	0	0	0	0	0	0	0.0	18	0.3	0.2	0.67	0.54
			After works	AMAP	3.97	2.17	0	0	0	0	0	0	0.0	18	0.3	0.2	0.67	0.54
2039	10256	2.69	Before works	AMAP	3.97	2.35	1	0	0	1	0	0	0.0	38	0.6	0.4	0.67	0.54
			After works	AMAP	3.97	2.35	1	0	0	1	0	0	0.0	38	0.6	0.4	0.67	0.54

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 6**

รูปที่ 80 แบบจำลองที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่ 9-18

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

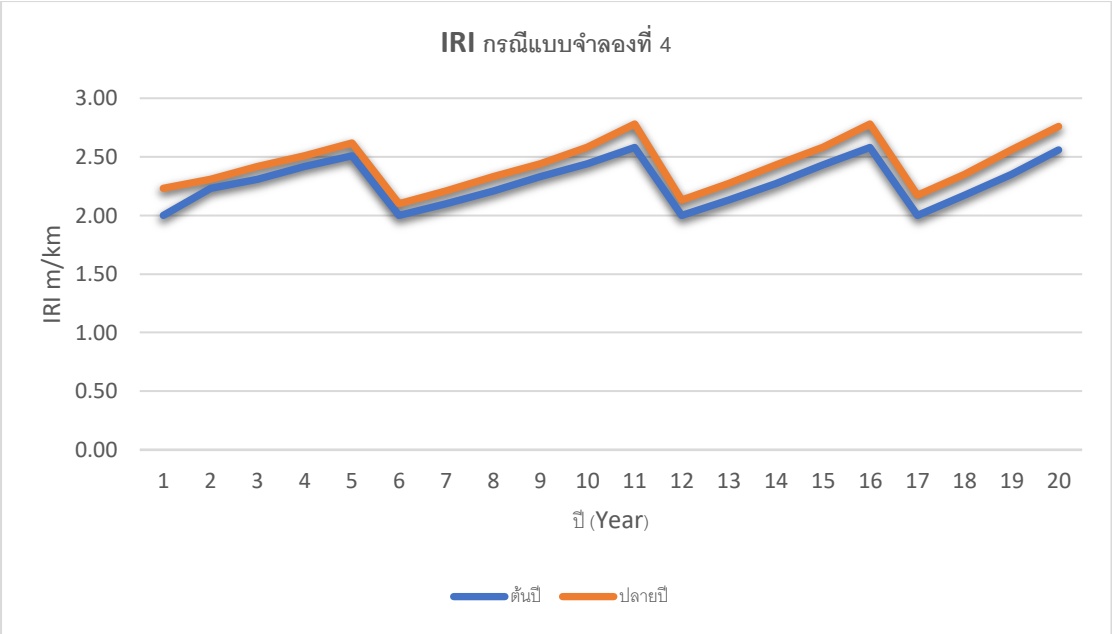
Section: 344 Case 4
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

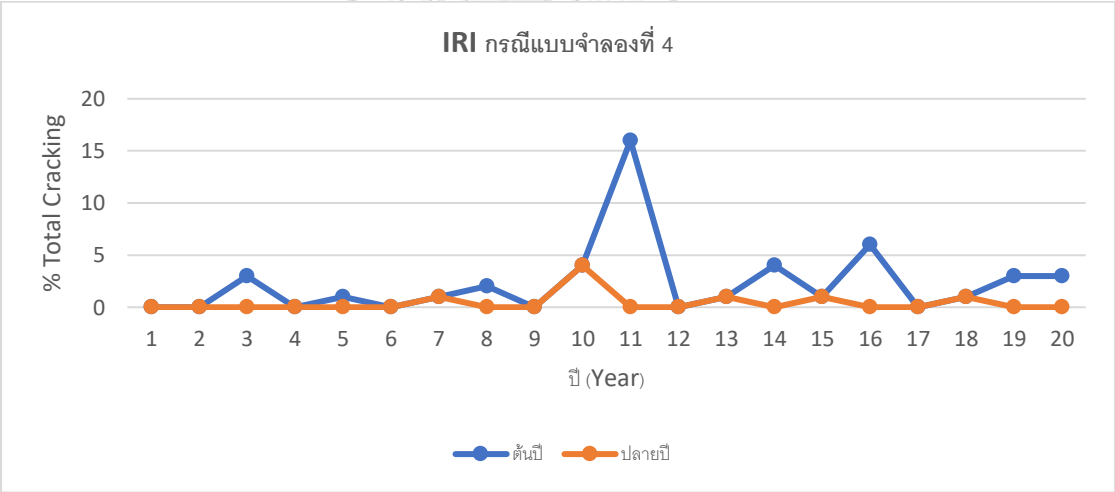
					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%) All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Potholes Number per km NPT	Potholes Area (%) APOT	Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting Mean Rut Depth (mm)	Rutting Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2040	10666	2.80	Before works	AMAP	3.96	2.56	3	0	0	3	0	0	0.0	60	0.9	0.6	0.67	0.53
			After works	STAP	4.05	2.56	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.9	0.7	0.70	0.55
2041	11093	2.91	Before works	STAP	4.05	2.76	3	0	0	3	0	0	0.0	46	1.2	0.9	0.67	0.54
			After works	AMAP	3.77	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 6**

รูปที่ 81 แบบจำลองปีที่ 4 แสดงผลความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 19-20



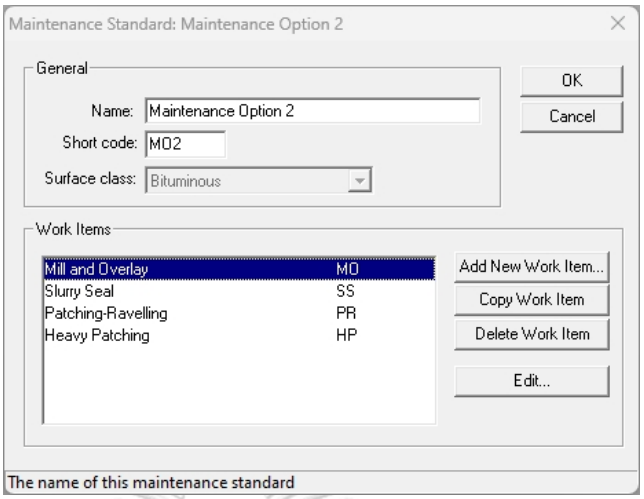
รูปที่ 82 แบบจำลองที่ 4 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี



รูปที่ 83 แบบจำลองที่ 4 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี

จากรูปที่ 82 และ 83 จะเห็นว่าค่า IRI สูงสุดในรอบ 20 ปี ขึ้นไปได้สูงสุดที่ 2.78 ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 11 และ 16 และค่าการแตกร้าวขึ้นไปได้สูงสุดที่ 14% ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 11 สาเหตุที่เกิดการซ่อมบำรุงสูงถึง 8 ครั้ง นั้นเนื่องจากการลดความแข็งแรงโครงสร้างทางลงถึง 20% จากแบบจำลองต้นแบบ (แบบจำลองที่ 1) และยังคงใช้ปริมาณรถบรรทุกเท่าเดิม จึงทำให้กิจกรรมการบำรุงรักษาเข้าเงื่อนไขที่ตั้งไว้มากกว่าแบบจำลองอื่น ๆ ที่ได้ทดลอง

4.2.5 การกำหนดตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 5



รูปที่ 84 แสดงการกำหนดรูปแบบการซ่อมบำรุง กรณีแบบจำลองที่ 5

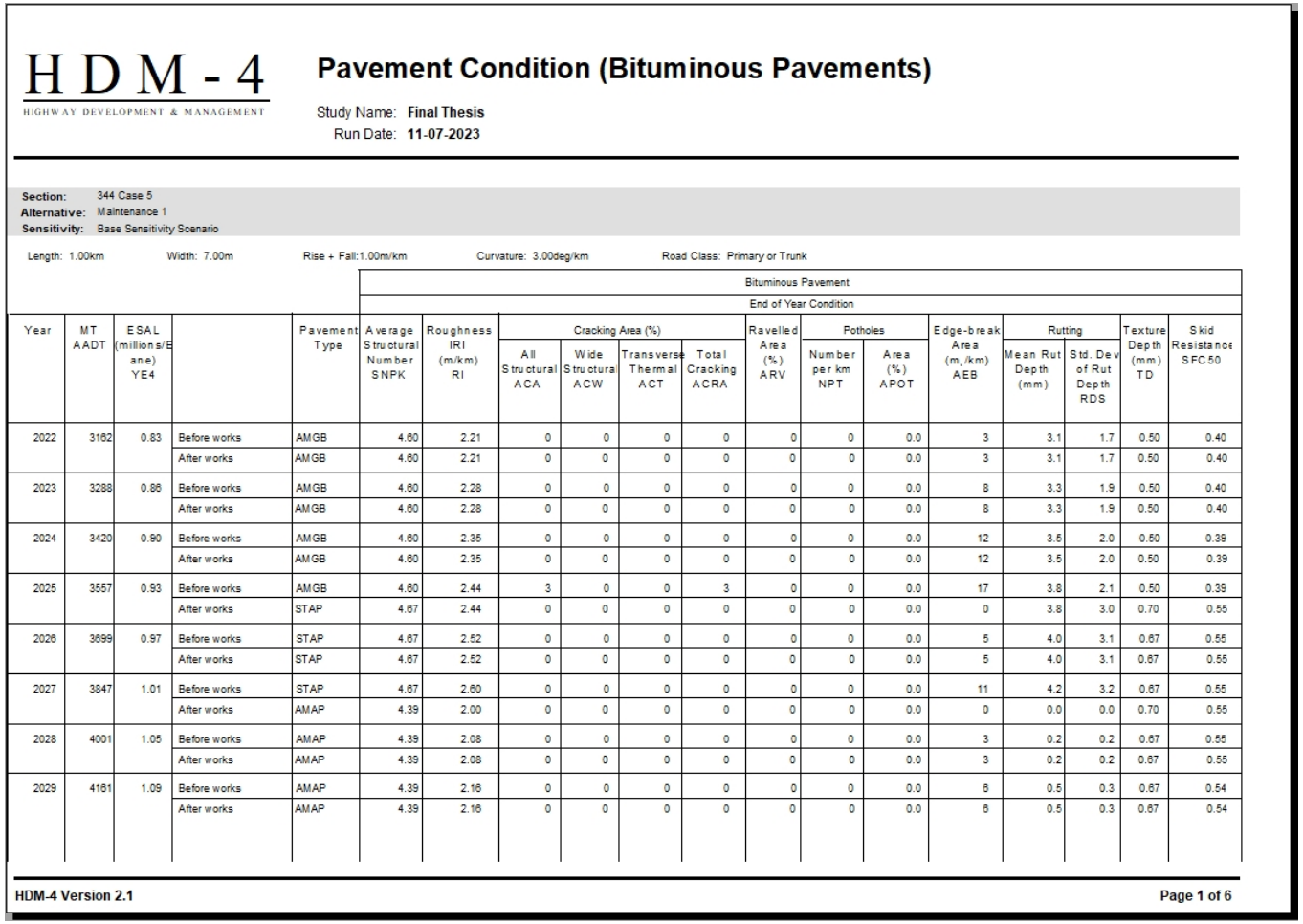
ตารางที่ 81 แสดงเกณฑ์การซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย กรณีแบบจำลองที่ *5*

รูปแบบการซ่อมบำรุง	เงื่อนไข	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม)
Mill and Replace (Milling of existing asphalt concrete surface 5 cm. thick + Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick)	IRI $\geq$ 2.60 IRI m/km	322.79 บาท = 8.39 USD
Slurry Seal Type 2 (10 mm)	Cracking Initiation = 0.5%	111 บาท =2.89 USD

หมายเหตุ : 1 บาท เท่ากับ 0.026 USD ณ เดือน 10 ปี 2565

โดยผลจาก Report ที่แสดงในรูปที่ 85, 86 และ 87 นั้นพบว่าภายในปีที่ 4 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.44 และการแตกร้าวที่ 3%, ภายในปีที่ 6 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.60 และการแตกร้าวที่ 0%, ภายในปีที่ 9 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.25 และการแตกร้าวที่ 1%, ภายในปีที่ 12 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.55 และการแตกร้าวที่ 4%, ภายในปีที่ 13 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.65 และการแตกร้าวที่ 0%, ภายในปีที่ 16 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Slurry Seal ซึ่งมี IRI =2.31 และการแตกร้าวที่ 2% และภายในปีที่ 19 เกิดการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Mill and Overlay ซึ่งมี IRI =2.72 และการ

แตกร้าวที่ 12% ตรวจพบเนื้อยางไม่ต่อเนื่องและน้ำรั่วซึมที่ผิวทางเดิม แบบจำลองที่ 5 ชั้นผิวจราจรที่ค่อนข้างดีมีการซ่อมบำรุงต่อเนื่องและน้ำรั่วซึมเกิดขึ้นเล็กน้อย ผลลัพธ์และข้อมูลนำเข้าแสดงดังรูปที่ 85 แบบจำลองที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ผิวทาง และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8



HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Section: 344 Case 5
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
							Cracking Area (%)					Potholes			Rutting			
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Number per km NPT	Area (%) APOT	Edge-break Area (m,/km) AEB	Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2022	3162	0.83	Before works	AMGB	4.60	2.21	0	0	0	0	0	0	0.0	3	3.1	1.7	0.50	0.40
			After works	AMGB	4.60	2.21	0	0	0	0	0	0	0.0	3	3.1	1.7	0.50	0.40
2023	3288	0.86	Before works	AMGB	4.60	2.28	0	0	0	0	0	0	0.0	8	3.3	1.9	0.50	0.40
			After works	AMGB	4.60	2.28	0	0	0	0	0	0	0.0	8	3.3	1.9	0.50	0.40
2024	3420	0.90	Before works	AMGB	4.60	2.35	0	0	0	0	0	0	0.0	12	3.5	2.0	0.50	0.39
			After works	AMGB	4.60	2.35	0	0	0	0	0	0	0.0	12	3.5	2.0	0.50	0.39
2025	3557	0.93	Before works	AMGB	4.60	2.44	3	0	0	3	0	0	0.0	17	3.8	2.1	0.50	0.39
			After works	STAP	4.67	2.44	0	0	0	0	0	0	0.0	0	3.8	3.0	0.70	0.55
2026	3699	0.97	Before works	STAP	4.67	2.52	0	0	0	0	0	0	0.0	5	4.0	3.1	0.67	0.55
			After works	STAP	4.67	2.52	0	0	0	0	0	0	0.0	5	4.0	3.1	0.67	0.55
2027	3847	1.01	Before works	STAP	4.67	2.60	0	0	0	0	0	0	0.0	11	4.2	3.2	0.67	0.55
			After works	AMAP	4.39	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2028	4001	1.05	Before works	AMAP	4.39	2.08	0	0	0	0	0	0	0.0	3	0.2	0.2	0.67	0.55
			After works	AMAP	4.39	2.08	0	0	0	0	0	0	0.0	3	0.2	0.2	0.67	0.55
2029	4161	1.09	Before works	AMAP	4.39	2.16	0	0	0	0	0	0	0.0	6	0.5	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	4.39	2.16	0	0	0	0	0	0	0.0	6	0.5	0.3	0.67	0.54

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 6

รูปที่ 85 แบบจำลองที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ผิวทาง และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 1-8

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 344 Case 5
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%) All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Potholes Number per km NPT	Area (%) APOT	Edge-break Area (m_2/km) AEB	Rutting Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2030	4327	1.14	Before works	AMAP	4.39	2.25	1	0	0	1	0	0	0.0	10	0.7	0.4	0.67	0.54
			After works	STAP	4.47	2.25	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.7	0.6	0.70	0.55
2031	4501	1.18	Before works	STAP	4.47	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	8	0.9	0.7	0.67	0.55
			After works	STAP	4.47	2.34	0	0	0	0	0	0	0.0	8	0.9	0.7	0.67	0.55
2032	4681	1.23	Before works	STAP	4.47	2.43	0	0	0	0	0	0	0.0	16	1.2	0.9	0.67	0.54
			After works	STAP	4.47	2.43	0	0	0	0	0	0	0.0	16	1.2	0.9	0.67	0.54
2033	4868	1.28	Before works	STAP	4.47	2.55	4	0	0	4	0	0	0.0	25	1.4	1.0	0.67	0.54
			After works	STAP	4.54	2.55	0	0	0	0	0	0	0.0	0	1.4	1.1	0.70	0.55
2034	5062	1.33	Before works	STAP	4.54	2.65	0	0	0	0	0	0	0.0	10	1.6	1.3	0.67	0.55
			After works	AMAP	4.26	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2035	5265	1.38	Before works	AMAP	4.26	2.10	0	0	0	0	0	0	0.0	5	0.3	0.2	0.67	0.55
			After works	AMAP	4.26	2.10	0	0	0	0	0	0	0.0	5	0.3	0.2	0.67	0.55
2036	5476	1.44	Before works	AMAP	4.26	2.20	1	0	0	1	0	0	0.0	11	0.5	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	4.26	2.20	1	0	0	1	0	0	0.0	11	0.5	0.3	0.67	0.54
2037	5695	1.50	Before works	AMAP	4.25	2.31	2	0	0	2	0	0	0.0	17	0.8	0.5	0.67	0.54
			After works	STAP	4.33	2.31	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.8	0.6	0.70	0.55
2038	5922	1.56	Before works	STAP	4.33	2.42	0	0	0	0	0	0	0.0	13	1.0	0.8	0.67	0.55
			After works	STAP	4.33	2.42	0	0	0	0	0	0	0.0	13	1.0	0.8	0.67	0.55
2039	6159	1.62	Before works	STAP	4.33	2.54	2	0	0	2	0	0	0.0	28	1.3	0.9	0.67	0.54
			After works	STAP	4.33	2.54	2	0	0	2	0	0	0.0	28	1.3	0.9	0.67	0.54

HDM-4 Version 2.1 **Page 2 of 6**

รูปที่ 86 แบบบำรุงของปีที่ 5 และผลคาดการณ์ความเสียหาย และการซ่อมบำรุงในช่วงปีที่ 9-18

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

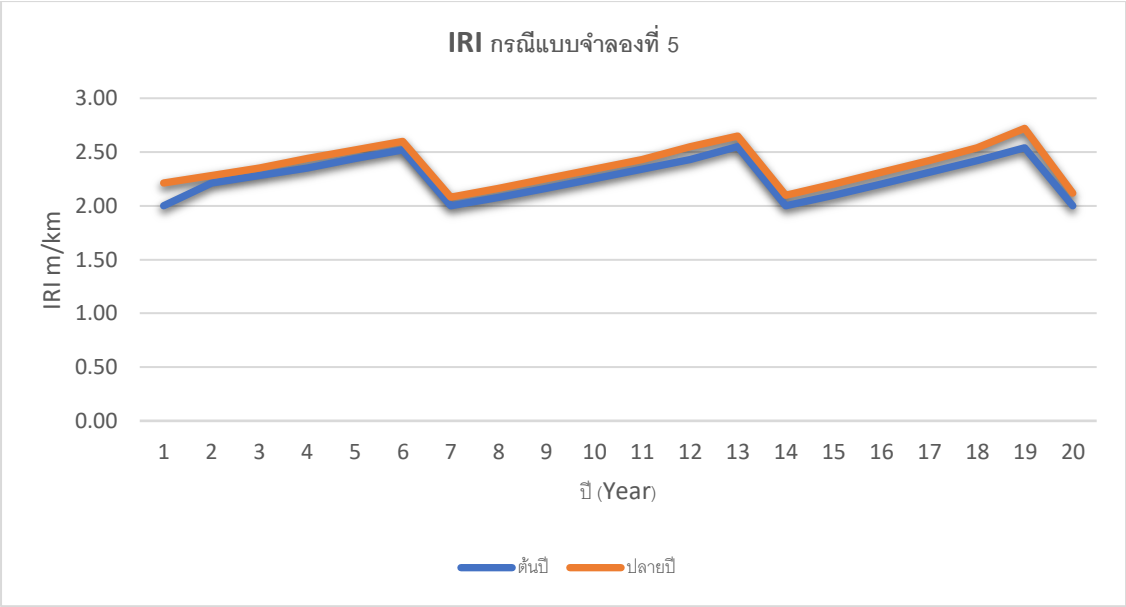
Section: 344 Case 5
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

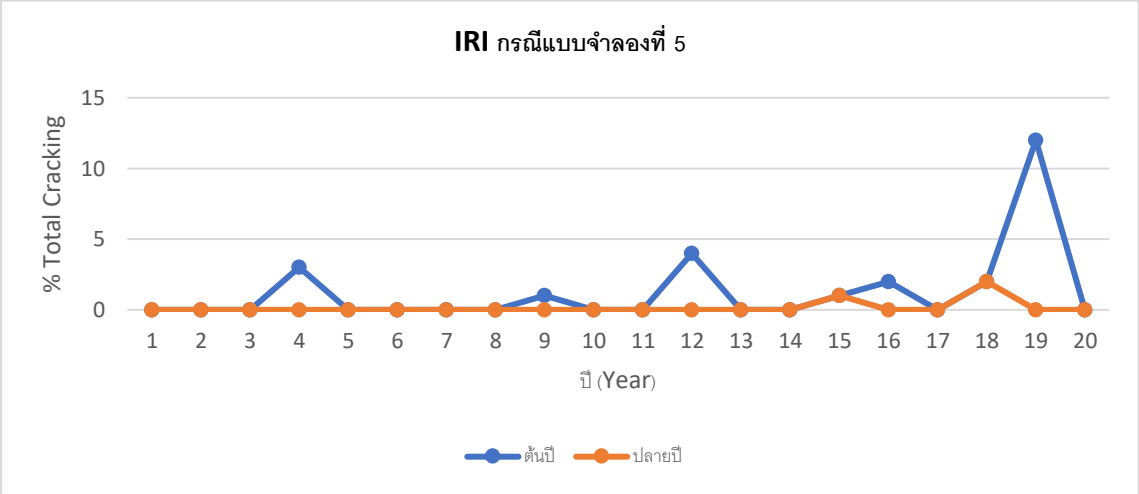
					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m_2/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	6406	1.68	Before works	STAP	4.31	2.72	12	0	0	12	0	0	0.0	43	1.5	1.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	4.05	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2041	6662	1.75	Before works	AMAP	4.05	2.12	0	0	0	0	0	0	0.0	8	0.3	0.2	0.67	0.55
			After works	AMAP	4.05	2.12	0	0	0	0	0	0	0.0	8	0.3	0.2	0.67	0.55

HDM-4 Version 2.1 **Page 3 of 6**

รูปที่ 87 แบบบันทึกผลการวิเคราะห์ของกรณีศึกษาที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ปีที่ 19-20



รูปที่ 88 แบบจำลองที่ 5 กราฟแสดงการค่าความหยาบของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี



รูปที่ 89 แบบจำลองที่ 5 กราฟแสดงการค่าความการแตกร้าวของผิวทางระหว่างต้นปี และปลายปี

จากรูปที่ 88 และ 89 จะเห็นว่าค่า IRI สูงสุดในรอบ 20 ปี ขึ้นไปได้สูงสุดที่ 2.72 ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 19 และค่าการแตกร้าวขึ้นไปได้สูงสุดที่ 12% ภายในปีการวิเคราะห์ที่ 19 เช่นเดียวกัน สาเหตุที่กิจกรรมการซ่อมบำรุงลดลงมานั้นเนื่องจากการลดความแข็งแรงโครงสร้างทางลง 20% จากแบบจำลองต้นแบบ (แบบจำลองที่ 1) และลดปริมาณรถบรรทุกลง 40% จะเห็นได้ว่าการลดปริมาณ

รถบรรทุกลงนั้น ในกรณีที่ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางเท่ากัน มีผลต่อกระบวนการซ่อมบำรุงที่ได้กำหนดไว้ภายใน HDM-4

ตารางที่ 82 แสดงค่า IRI ณ ต้นปี และ ปลายปี ทั้ง 2 กรณี และช่วงเวลาที่มีกิจกรรมซ่อมบำรุง สีเขียวแสดงกิจกรรม Slurry Seal และสีเหลืองแสดงกิจกรรม Mill and Overlay

ปี	IRI กรณีปรับแก้ และ ลด SN 20%		IRI กรณีปรับแก้ และ ลดปริมาณรถบรรทุก 40%	
	ต้นปี	ปลายปี	ต้นปี	ปลายปี
1	2.00	2.23	2.00	2.21
2	2.23	2.31	2.21	2.28
3	2.31	2.42	2.28	2.35
4	2.42	2.51	2.35	2.44
5	2.51	2.62	2.44	2.52
6	2.00	2.10	2.52	2.60
7	2.10	2.21	2.00	2.08
8	2.21	2.33	2.08	2.16
9	2.33	2.44	2.16	2.25
10	2.44	2.58	2.25	2.34
11	2.58	2.78	2.34	2.43
12	2.00	2.13	2.43	2.55
13	2.13	2.27	2.55	2.65
14	2.27	2.43	2.00	2.10
15	2.43	2.58	2.10	2.20
16	2.58	2.78	2.20	2.31
17	2.00	2.17	2.31	2.42
18	2.17	2.35	2.42	2.54
19	2.35	2.56	2.54	2.72
20	2.56	2.76	2.00	2.12

ตารางที่ 83 แสดงค่า Cracking ณ ต้นปี และ ปลายปี ทั้ง 2 กรณี และช่วงเวลาที่มีกิจกรรมซ่อมบำรุง สีเขียวแสดงกิจกรรม Slurry Seal และสีเหลืองแสดงกิจกรรม Mill and Overlay

ปี	Cracking กรณีปรับแก้และลด SN 20%		Cracking กรณีปรับแก้และลดปริมาณรถบรรทุก 40%	
	ต้นปี	ปลายปี	ต้นปี	ปลายปี
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	3	0	0	0
4	0	0	3	0
5	1	0	0	0
6	0	0	0	0
7	1	1	0	0
8	2	0	0	0
9	0	0	1	0
10	4	4	0	0
11	16	0	0	0
12	0	0	4	0
13	1	1	0	0
14	4	0	0	0
15	1	1	1	1
16	6	0	2	0
17	0	0	0	0
18	1	1	2	2
19	3	0	12	0
20	3	0	0	0

4.3 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เพื่อใช้ในการพิจารณาอัตราค่าธรรมเนียม

4.3.1 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ (แบบจำลองที่ 1)

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Road Works Summary (by Section)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar**

Note: only sections that have works triggered are displayed.

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario
Surface Class: Bituminous
Length: 1.00km
Road Class: Primary or Trunk
Width: 7.00m

Year	Description	Code	Economic Cost	Financial Cost	Work Quantity
2025	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	46.36 sq. m
2028	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2031	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	29.42 sq. m
2034	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	74.45 sq. m
2035	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2038	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	50.94 sq. m
2041	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
Total cost for the section:			257,110.0	0.0	

รูปที่ 90 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 1

การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ จากค่าซ่อมบำรุงในช่วง 20 ปี โดยกำหนด Discount Rate เป็น 3%

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{MC_t}{(1+i)^t} \tag{4.1}$$

เมื่อ:

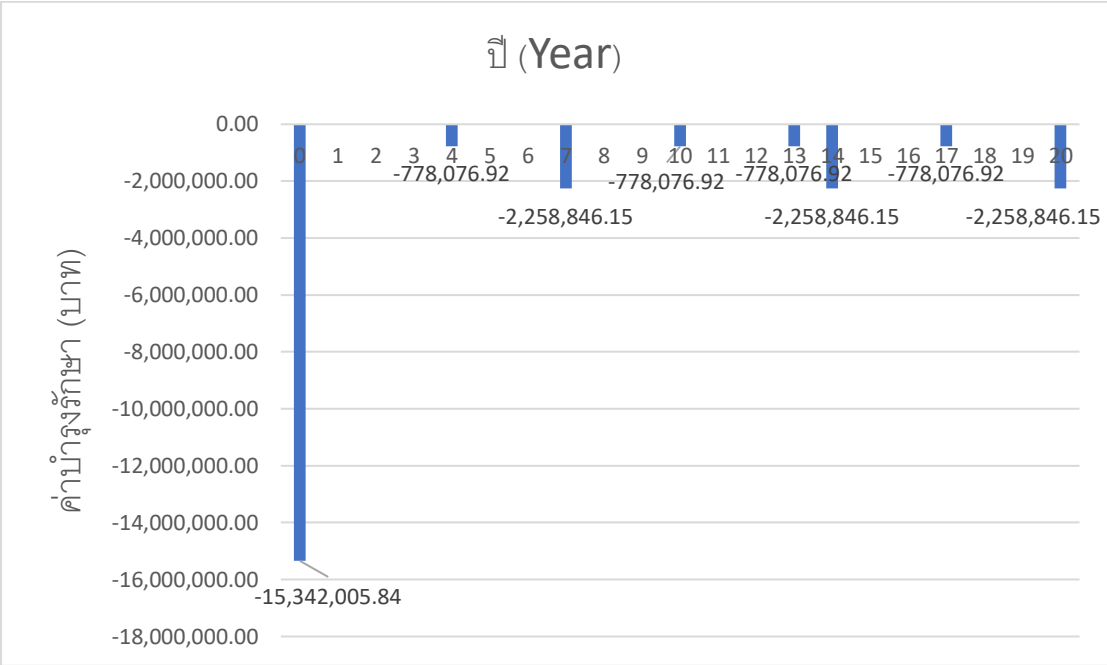
NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value)

MC = ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

t = ปีที่ดำเนินการวิเคราะห์

i = อัตราส่วนลด (Discount Rate)

โดยที่ ค่าก่อสร้างที่ใช้สำหรับแบบจำลองตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 15,342,005.84 บาท



รูปที่ 91 แบบจำลองที่ 1 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-15{,}342{,}005.84}{(1+0.03)^0} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^4} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^7} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{10}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{13}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{14}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{17}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{20}} = -22{,}193{,}541.66 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากค่าก่อสร้างและช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ 22,193,541.66 บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	22,193,541.66	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.54	บาท/ESAL/กิโลเมตร

<u>กรณีไม่คิดค่าก่อสร้าง</u>

ผลของค่า NPV ที่ได้จากการพิจารณาในส่วนของค่าซ่อมบำรุงภายในโปรแกรม HDM-4 ในแบบจำลองที่ 1 นั้น ยังสรุปไม่ได้ว่าเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด จำเป็นต้องพิจารณาในแบบจำลองอื่น ๆ ต่อไป

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Economic Analysis Summary

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar (millions)**
Discount: **3.00%**
Analysis Mode: **Analysis-by-Project**

Alternative: Maintenance 1 vs Alternative: Not Maintenance
Sensitivity Scenario: Base Sensitivity Scenario

	Increase in Road Agency Costs			Savings in M VOC	Savings in M Travel Tim Costs	Savings i NMT Trav & Operating Costs	Reductio in Acciden Costs	Net Social Exogenou Benefits	Net Economi Benefits (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.26
Discounted	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18

No IRR solutions

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 1

รูปที่ 92 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 1 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^4} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^7} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{10}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{13}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{14}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{17}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{20}} = -6{,}851{,}535.82 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ $6{,}851{,}535.82$ บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	$6{,}851{,}535.82$	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.17	บาท/ESAL/กิโลเมตร

4.3.2 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ และเพิ่ม SN ขึ้นอีก 20% (แบบจำลองที่ 2)

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Road Works Summary (by Section)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar**

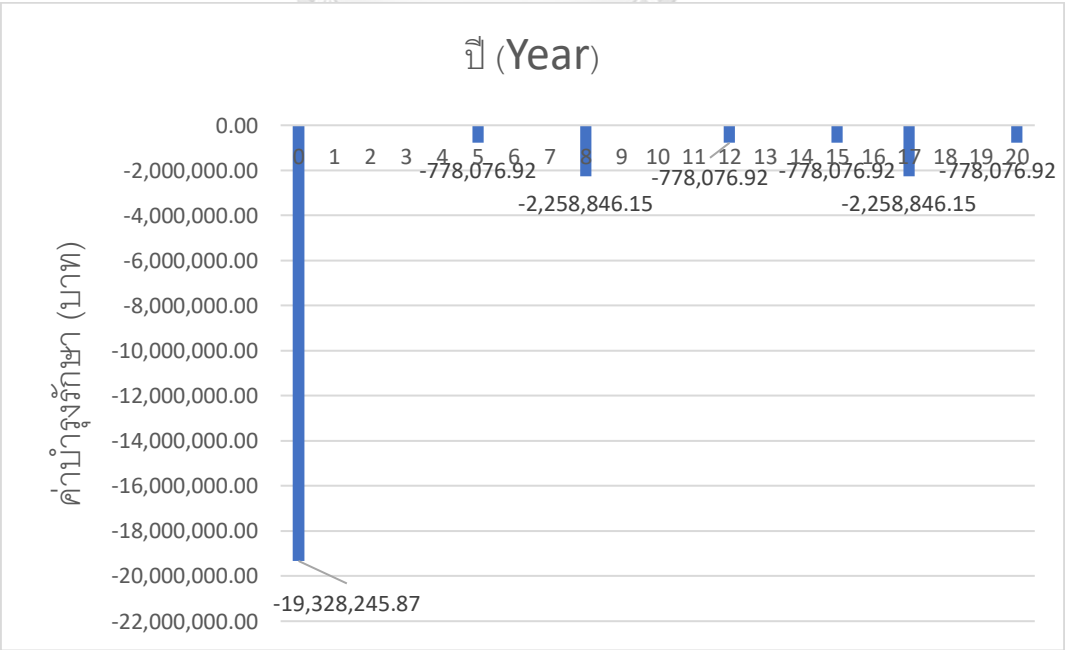
Note: only sections that have works triggered are displayed.

Section: 344 Case 2
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario
Surface Class: Bituminous
Length: 1.00km
Road Class: Primary or Trunk
Width: 7.00m

Year	Description	Code	Economic Cost	Financial Cost	Work Quantity
2026	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	60.66 sq. m
2029	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2033	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	44.20 sq. m
2036	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	87.10 sq. m
2038	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2041	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	64.46 sq. m
Total cost for the section:			198,380.0	0.0	

รูปที่ 93 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 2

โดยที่ ค่าก่อสร้างที่ใช้สำหรับแบบจำลองตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 19,328,245.87 บาท



รูปที่ 94 แบบจำลองที่ 2 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง

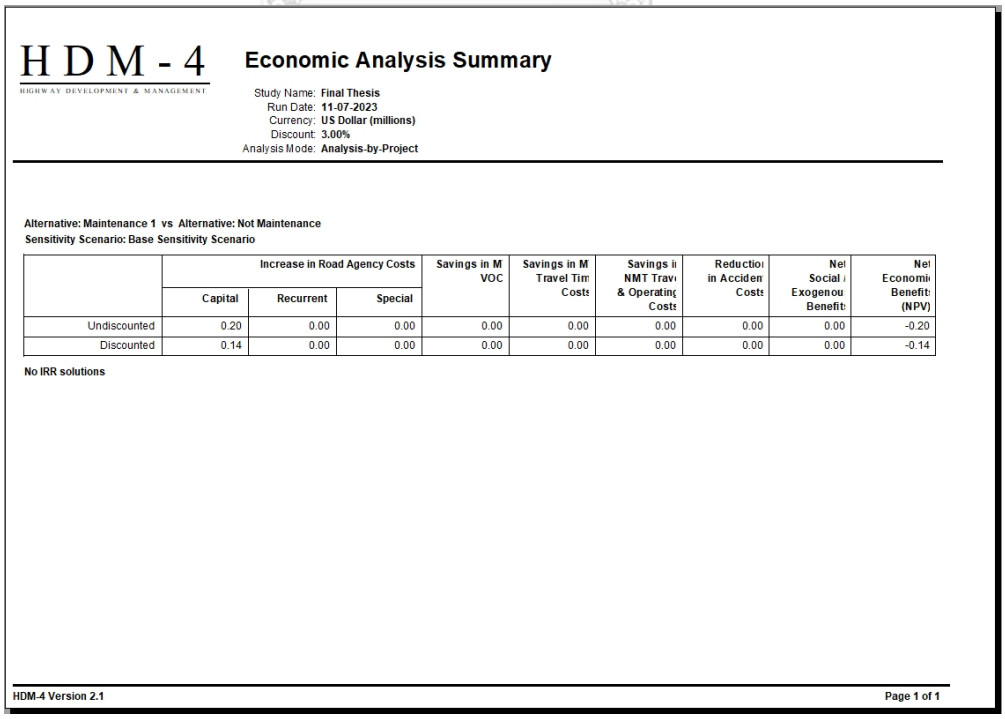
$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-19{,}328{,}245.87}{(1+0.03)^0} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^5} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^8} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{12}}$$
$$+ \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{15}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{17}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{20}} = -24{,}625{,}162.74 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากค่าก่อสร้างและช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ $24{,}625{,}162.74$ บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	$24{,}625{,}162.74$	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.60	บาท/ESAL/กิโลเมตร

<u>กรณีไม่คิดค่าก่อสร้าง</u>

ผลของค่า NPV ที่ได้จากการพิจารณาในส่วนของค่าซ่อมบำรุงภายในโปรแกรม HDM-4 ในแบบจำลองที่ 2 นั้น ยังคงให้ค่า NPV ที่น้อยกว่าแบบจำลองที่ 1 ซึ่งถ้าพิจารณาในมุมของความแข็งแรงโครงสร้างทาง ทางเลือกนี้ถือว่าเป็นทางเลือกที่เหมาะสม แต่ถ้าในเชิงพิจารณาค่า NPV สูงสุดจำเป็นต้องพิจารณาในแบบจำลองอื่น ๆ ต่อไป



HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Economic Analysis Summary

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar (millions)**
Discount: **3.00%**
Analysis Mode: **Analysis-by-Project**

Alternative: Maintenance 1 vs Alternative: Not Maintenance
Sensitivity Scenario: Base Sensitivity Scenario

	Increase in Road Agency Costs			Savings in M VOC	Savings in M Travel Tim Costs	Savings ii NMT Trav & Operating Costs	Reductio in Acciden Costs	Nel Social Exogenou Benefit	Nel Economi Benefit (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.20
Discounted	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.14

No IRR solutions

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 1

รูปที่ 95 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 2 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^5} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^8} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{12}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{15}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{17}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{20}} = -5{,}296{,}916.87 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ 5,296,916.87 บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	5,296,916.87	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.13	บาท/ESAL/กิโลเมตร

4.3.3 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ และเพิ่ม SN ขึ้นอีก 40% (แบบจำลองที่ 3)

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Road Works Summary (by Section)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar**

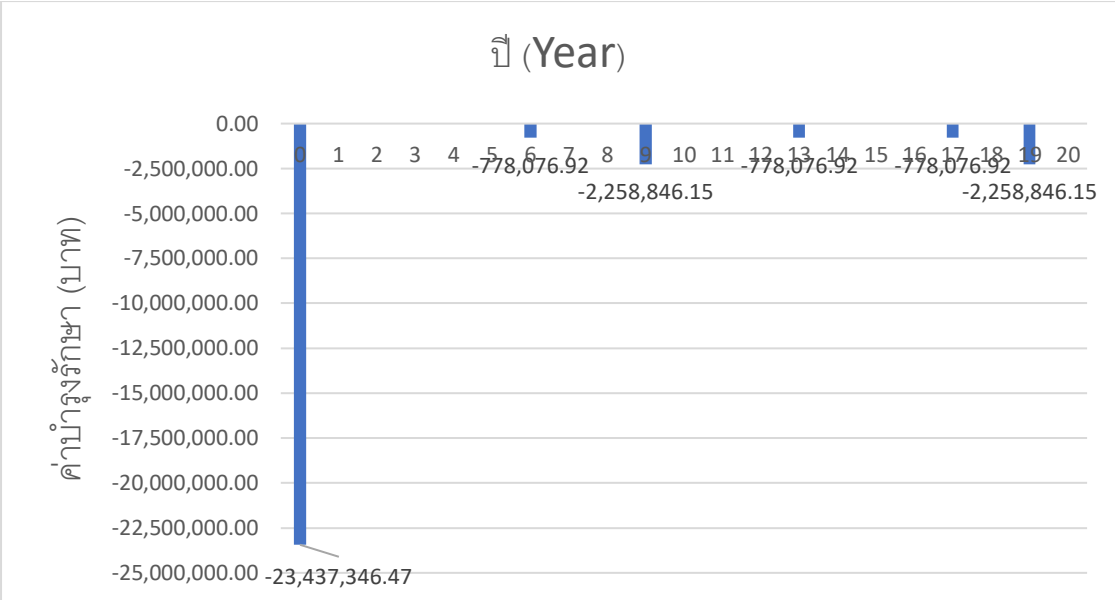
Note: only sections that have works triggered are displayed.

Section: 344 Case 3
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario
Surface Class: Bituminous
Length: 1.00km
Road Class: Primary or Trunk
Width: 7.00m

Year	Description	Code	Economic Cost	Financial Cost	Work Quantity
2027	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	76.12 sq. m
2030	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2034	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	47.80 sq. m
2038	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	130.86 sq. m
2040	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
Total cost for the section:			178,150.0	0.0	

รูปที่ 96 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 3

โดยที่ ค่าก่อสร้างที่ใช้สำหรับแบบจำลองตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 23,437,346.47 บาท



รูปที่ 97 แบบจำลองที่ 3 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-23{,}437{,}346.47}{(1+0.03)^0} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^6} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^9} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{13}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{17}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{19}} = -28{,}108{,}961.39 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากค่าก่อสร้างและช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ $28{,}108{,}961.39$ บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	$28{,}108{,}961.39$	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.68	บาท/ESAL/กิโลเมตร

<u>กรณีไม่คิดค่าก่อสร้าง</u>

ผลของค่า NPV ที่ได้จากการพิจารณาในส่วนของค่าซ่อมบำรุงภายในโปรแกรม HDM-4 ในแบบจำลองที่ 3 นั้น ให้ค่า NPV ที่น้อยกว่าแบบจำลองที่ 1 และ 2 ซึ่งยังไม่เข้าเงื่อนไขเกณฑ์การพิจารณาเลือกค่า NPV สูงสุด จำเป็นต้องพิจารณาในแบบจำลองอื่น ๆ ต่อไป

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Economic Analysis Summary

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar (millions)**
Discount: **3.00%**
Analysis Mode: **Analysis-by-Project**

Alternative: Maintenance 1 vs Alternative: Not Maintenance
Sensitivity Scenario: Base Sensitivity Scenario

	Increase in Road Agency Costs			Savings in M VOC	Savings in M Travel Tim Costs	Savings i NMT Trav & Operating Costs	Reductio in Acciden Costs	Nel Social / Exogenou Benefit	Nel Economi Benefit (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18
Discounted	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13

No IRR solutions

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 1

รูปที่ 98 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 3 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^6} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^9} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{13}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{17}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{19}} = -4{,}671{,}614.92 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ $4{,}671{,}614.92$ บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	$4{,}671{,}614.92$	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.11	บาท/ESAL/กิโลเมตร

4.3.4 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ และลด SN ลงอีก 20% (แบบจำลองที่ 4)

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Road Works Summary (by Section)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar**

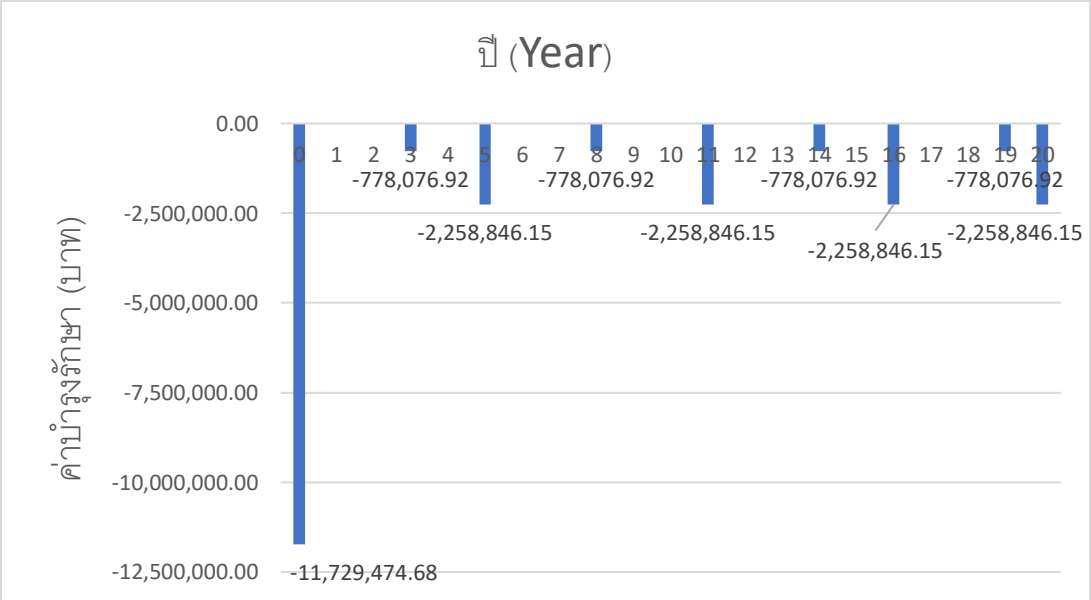
Note: only sections that have works triggered are displayed.

Section: 344 Case 4
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario
Surface Class: Bituminous
Length: 1.00km
Road Class: Primary or Trunk
Width: 7.00m

Year	Description	Code	Economic Cost	Financial Cost	Work Quantity
2024	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	33.15 sq. m
2026	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2029	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	25.15 sq. m
2032	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2035	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	40.26 sq. m
2037	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2040	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	59.60 sq. m
2041	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
Total cost for the section:			315,840.0	0.0	

รูปที่ 99 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 4

โดยที่ ค่าก่อสร้างที่ใช้สำหรับแบบจำลองตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 11,729,474.68 บาท



รูปที่ 100 แบบจำลองที่ 4 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง

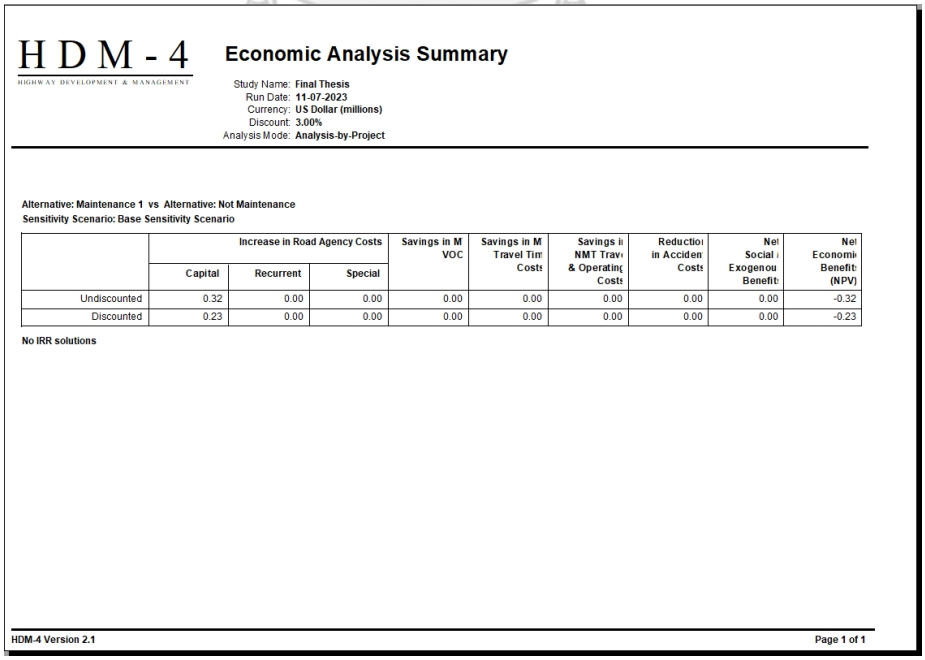
$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-11,729,474.68}{(1+0.03)^0} + \frac{-778,076.92}{(1+0.03)^4} + \frac{-2,258,846.15}{(1+0.03)^5} + \frac{-778,076.92}{(1+0.03)^8} + \frac{-2,258,846.15}{(1+0.03)^{11}} + \frac{-778,076.92}{(1+0.03)^{14}} + \frac{-2,258,846.15}{(1+0.03)^{16}} + \frac{-778,076.92}{(1+0.03)^{19}} + \frac{-2,258,846.15}{(1+0.03)^{20}} = -20,252,518.95 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากค่าก่อสร้างและช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ $20,252,518.95$ บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	$20,252,518.95$	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.49	บาท/ESAL/กิโลเมตร

<u>กรณีไม่คิดค่าก่อสร้าง</u>

ผลของค่า NPV ที่ได้จากการพิจารณาในส่วนของค่าซ่อมบำรุงภายในโปรแกรม HDM-4 ในแบบจำลองที่ 4 นั้น ให้ค่า NPV ที่สูงกว่าแบบจำลองที่ 1 ถึง 3 ซึ่งถ้าพิจารณาในมุมของความแข็งแรงโครงสร้างทาง ทางเลือกนี้ถือว่าเป็นการออกแบบที่ไม่เพียงพอกับปริมาณรถบรรทุก แต่ถ้าในเชิงพิจารณาค่า NPV สูงสุด ทางเลือกนี้ถือว่าเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากแบบจำลองที่ผ่านมา



HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Economic Analysis Summary

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar (millions)**
Discount: **3.00%**
Analysis Mode: **Analysis-by-Project**

Alternative: Maintenance 1 vs Alternative: Not Maintenance
Sensitivity Scenario: Base Sensitivity Scenario

	Increase in Road Agency Costs			Savings in M VOC	Savings in M Travel Tim Costs	Savings i NMT Trav & Operating Costs	Reductio in Acciden Costs	Nel Social Exogenou Benefit	Nel Economi Benefit (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.32
Discounted	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.23

No IRR solutions

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 1

รูปที่ 101 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 4 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^4} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^5} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^8} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{11}}$$
$$+ \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{14}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{16}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{29}} = -8{,}523{,}044.27 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ 8,523,044.27 บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	8,523,044.27	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.21	บาท/ESAL/กิโลเมตร

4.3.5 ตัวเลือกการซ่อมบำรุง กรณีต้นแบบ ลด SN ลงอีก 20% และลดปริมาณจราจรลง 40% (แบบจำลองที่ 5)

Medium Truck = 797 คัน, Heavy Truck = 729 คัน, Semi-Trailer = 848 คัน และ Full Trailer = 788 คัน

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Road Works Summary (by Section)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar**

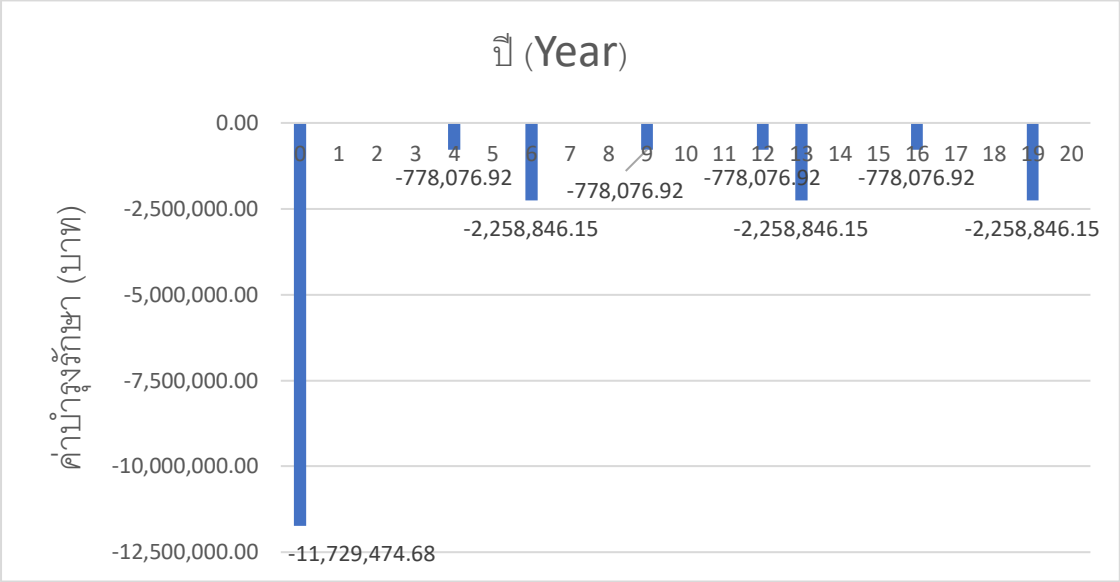
Note: only sections that have works triggered are displayed.

Section: 344 Case 5
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario
Surface Class: Bituminous
Length: 1.00km
Road Class: Primary or Trunk
Width: 7.00m

Year	Description	Code	Economic Cost	Financial Cost	Work Quantity
2025	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	16.72 sq. m
2027	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2030	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	9.81 sq. m
2033	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	24.83 sq. m
2034	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2037	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	16.99 sq. m
2040	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
Total cost for the section:			257,110.0	0.0	

รูปที่ 102 แสดงช่วงเวลาและปริมาณการซ่อมบำรุง ของแบบจำลองที่ 5

โดยที่ ค่าก่อสร้างที่ใช้สำหรับแบบจำลองตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 11,729,474.68 บาท



รูปที่ 103 แบบจำลองที่ 5 แสดงกราฟช่วงเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการซ่อมบำรุง

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-11,729,474.68}{(1+0.03)^0} + \frac{-778,076.92}{(1+0.03)^4} + \frac{-2,258,846.15}{(1+0.03)^6} + \frac{-778,076.92}{(1+0.03)^9} + \frac{-778,076.92}{(1+0.03)^{12}} + \frac{-2,258,846.15}{(1+0.03)^{13}} + \frac{-778,076.92}{(1+0.03)^{16}} + \frac{-2,258,846.15}{(1+0.03)^{19}} = -18,765,817.24 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากค่าก่อสร้างและช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ 18,765,817.24 บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	18,765,817.24	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.39	บาท/ESAL/กิโลเมตร

<u>กรณีไม่คิดค่าก่อสร้าง</u>

ผลของค่า NPV ที่ได้จากการพิจารณาในส่วนของค่าซ่อมบำรุงภายในโปรแกรม HDM-4 ในแบบจำลองที่ 5 นั้น ให้ค่า NPV ที่สูงกว่าแบบจำลองที่ 2 และ 3 แต่ยังคงน้อยกว่าแบบจำลองที่ 4 ซึ่งถ้าพิจารณาในมุมของความสัมพันธ์กันระหว่างความแข็งแรงโครงสร้างทางกับปริมาณรถบรรทุก

ทางเลือกนี้ถือว่าเหมาะสมสำหรับการพิจารณานำไปใช้กับทางหลวงสายอื่น ๆ ที่มีความใกล้เคียงกันในด้านของปริมาณรถบรรทุกและความแข็งแรงโครงสร้างทาง อีกทั้งยังมีค่าซ่อมบำรุงใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ 1 แต่ถ้าในเชิงพิจารณาค่า NPV สูงสุด ทางเลือกนี้ยังคงไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุด

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Economic Analysis Summary

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar (millions)**
Discount: **3.00%**
Analysis Mode: **Analysis-by-Project**

Alternative: Maintenance 1 vs Alternative: Not Maintenance
Sensitivity Scenario: Base Sensitivity Scenario

	Increase in Road Agency Costs			Savings in M VOC	Savings in M Travel Tim Costs	Savings ii NMT Trav & Operating Costs	Reductioı in Acciden Costs	Nel Social Exogenou Benefits	Nel Economi Benefit (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.26
Discounted	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.19

No IRR solutions

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 1

รูปที่ 104 แสดงค่า NPV ของแบบจำลองที่ 5 จากกรณีพิจารณาค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^4} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^6} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^9} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{12}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{13}} + \frac{-778{,}076.92}{(1+0.03)^{16}} + \frac{-2{,}258{,}846.15}{(1+0.03)^{19}} = -7{,}036{,}342.56 \text{ บาท}$$

ค่า NPV ที่คำนวณได้จากช่วงเวลาที่มีการซ่อมบำรุง คือ $7{,}036{,}342.56$ บาทต่อกิโลเมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ค่าซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลา 20 ปี	$7{,}036{,}342.56$	บาท/กิโลเมตร
ESAL สะสมตลอดระยะเวลา 20 ปี	41.17×10^6	ESAL
การประมาณอัตราค่าธรรมเนียม	0.17	บาท/ESAL/กิโลเมตร

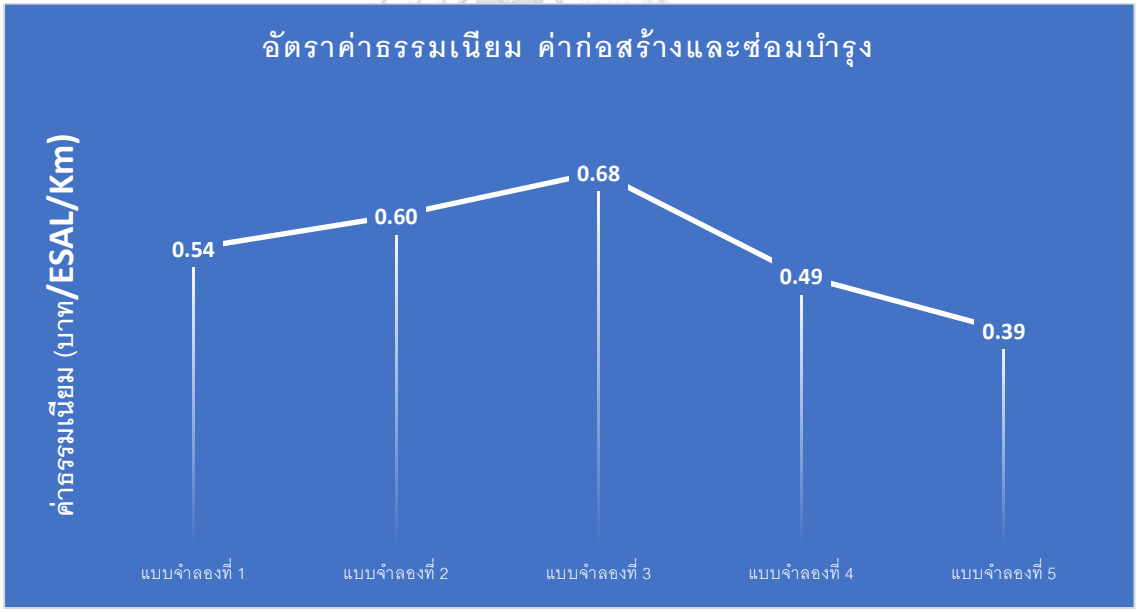
4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุงทาง

การพิจารณาค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนักแบ่งเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

4.4.1 การประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกพิจารณาค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง

ตารางที่ 84 แสดงการประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกรวมค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง

ค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุง		
จำนวนแบบจำลอง	ระยะเวลา 20 ปี	
แบบจำลองที่ 1	0.54 บาท/ESAL/กม.	22,193,541.66 บาท/กม.
แบบจำลองที่ 2	0.60 บาท/ESAL/กม.	24,625,162.74 บาท/กม.
แบบจำลองที่ 3	0.68 บาท/ESAL/กม.	28,108,961.39 บาท/กม.
แบบจำลองที่ 4	0.49 บาท/ESAL/กม.	20,252,518.95 บาท/กม.
แบบจำลองที่ 5	0.39 บาท/ESAL/กม.	18,765,817.24 บาท/กม.



รูปที่ 105 แสดงกราฟอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนักรวมค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง

- อัตราค่าธรรมเนียมสูงขึ้น ตามความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่สูงขึ้น

จากการพิจารณาแบบจำลองที่ 1, 2 และ 3 จะเห็นว่าอัตราค่าธรรมเนียมมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามลำดับ โดยสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราค่าธรรมเนียมสูงขึ้นนั้นมาจากการนำค่าก่อสร้างเข้ามาพิจารณา

- อัตราค่าธรรมเนียมลดลง ตามความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ลดลง

จากการพิจารณาแบบจำลองที่ 4 เทียบกับ แบบจำลองที่ 1 จะเห็นว่าอัตราค่าธรรมเนียมมีแนวโน้มที่ลดลง โดยสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราค่าธรรมเนียมลดลงนั้นมาจากการลดความแข็งแรงของชั้นผิวทางลง 5 cm. ทำให้อัตราค่าก่อสร้างลดลง

- อัตราค่าธรรมเนียมลดลง ตามความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ลดลง และปริมาณรถบรรทุกที่ลดลง

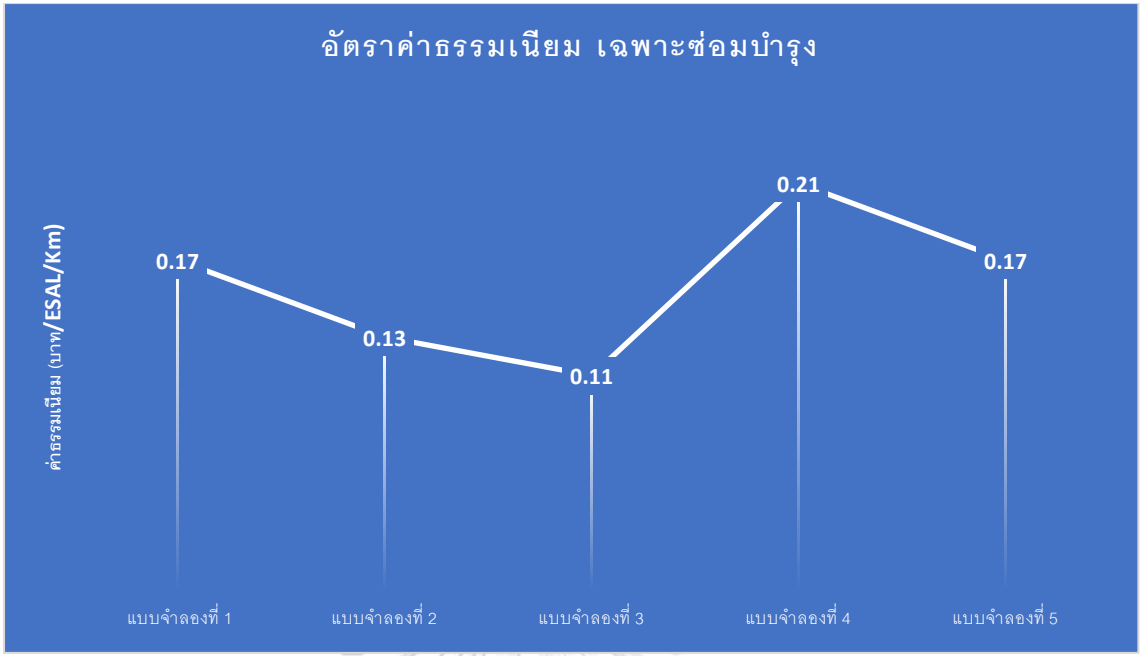
จากการพิจารณาแบบจำลองที่ 4 เทียบกับ แบบจำลองที่ 5 จะเห็นว่าอัตราค่าธรรมเนียมมีแนวโน้มที่ลดลง โดยสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราค่าธรรมเนียมลดลงนั้นนอกจากการลดความแข็งแรงของชั้นผิวทาง ทำให้อัตราค่าก่อสร้างลดลง และยังมาจากการลดปริมาณรถบรรทุกลงทำให้อัตราการเสื่อมสภาพของผิวทางนั้นเกิดช้าขึ้น

4.4.2 การประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกพิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุง

ตารางที่ 85 แสดงค่าการประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกพิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุง

ค่าซ่อมบำรุง		
จำนวนแบบจำลอง	ระยะเวลา 20 ปี	
แบบจำลองที่ 1	0.17 บาท/ESAL/กม.	6,851,535.82 บาท/กม
แบบจำลองที่ 2	0.13 บาท/ESAL/กม.	5,296,916.87 บาท/กม
แบบจำลองที่ 3	0.11 บาท/ESAL/กม.	4,671,614.92 บาท/กม
แบบจำลองที่ 4	0.21 บาท/ESAL/กม.	8,523,044.27 บาท/กม
แบบจำลองที่ 5	0.17 บาท/ESAL/กม.	7,036,342.56 บาท/กม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 106 แสดงกราฟการประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนัก เฉพาะค่าซ่อมบำรุง

- อัตราค่าธรรมเนียมลดลง ตามความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่สูงขึ้น

จากการพิจารณาแบบจำลองที่ 1, 2 และ 3 จะเห็นว่าอัตราค่าธรรมเนียมมีแนวโน้มที่จะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ โดยสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราค่าธรรมเนียมลดลงนั้นมาจากความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่เพิ่มสูงขึ้น แนวโนมความเสียหายจึงลดลง

- อัตราค่าธรรมเนียมเพิ่มขึ้น ตามความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ลดลง

จากการพิจารณาแบบจำลองที่ 4 เทียบกับ แบบจำลองที่ 1 จะเห็นว่าอัตราค่าธรรมเนียมมีแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราค่าธรรมเนียมสูงขึ้นนั้นมาจากการลดความแข็งแรงของชั้นผิวทางลง 5 cm ทำให้อัตราการเสื่อมสภาพของผิวทางนั้นเกิดเร็วขึ้น

- อัตราค่าธรรมเนียมลดลง ตามความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ลดลง และปริมาณรถบรรทุกที่ลดลง

จากการพิจารณาแบบจำลองที่ 4 เทียบกับ แบบจำลองที่ 5 จะเห็นว่าอัตราค่าธรรมเนียมมีแนวโน้มที่ลดลง โดยสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราค่าธรรมเนียมลดลงนั้นนอกจาก

การลดความแข็งแรงของชั้นผิวทางแล้วนั้น ยังมาจากการลดปริมาณรถบรรทุกลงทำให้อัตราการเสื่อมสภาพของผิวทางนั้นเกิดช้าขึ้น

4.4.3 สรุปผลการเปรียบเทียบทางเลือกที่ดีที่สุดจากการพิจารณาค่า NPV โดยการพิจารณาค่าก่อสร้าง และ ค่าบำรุงรักษาทางตลอดระยะเวลา 20 ปี

ตารางที่ 86 แสดงค่า NPV จากการพิจารณาค่าก่อสร้าง และ ค่าบำรุงรักษาทางตลอดระยะเวลา 20 ปี

Model	ค่าก่อสร้าง (บาท)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท)	ค่าลงทุนรวม NPV Discounted (บาท)	ปริมาณรถบรรทุก (คัน)	ความแข็งแรง
แบบจำลองที่ 1	15,342,005.84	6,851,535.82	22,193,541.66	5,265	ต้นแบบ
แบบจำลองที่ 2	19,328,245.87	5,296,916.87	24,625,162.74	5,265	เพิ่มขึ้น
แบบจำลองที่ 3	23,437,346.47	4,671,614.92	28,108,961.39	5,265	เพิ่มขึ้น
แบบจำลองที่ 4	11,729,474.68	8,523,044.27	20,252,518.95	5,265	ลดลง
แบบจำลองที่ 5	11,729,474.68	7,036,342.56	18,765,817.24	3,162	ลดลง

จากแบบจำลองทั้ง 5 นั้น แสดงให้เห็นถึงค่า NPV ที่แตกต่างกัน โดยที่ 4 แบบจำลองแรกนั้นมีปริมาณจราจรรถบรรทุกที่เท่ากัน ดังนั้นการเปรียบเทียบแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการลงทุนจึงพิจารณาเพียงแค่ 4 แบบจำลอง โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ

<u>กรณีที่ 1</u> ควรสร้างถนนให้มีความแข็งแรง และทำการซ่อมบำรุงที่ลดลง

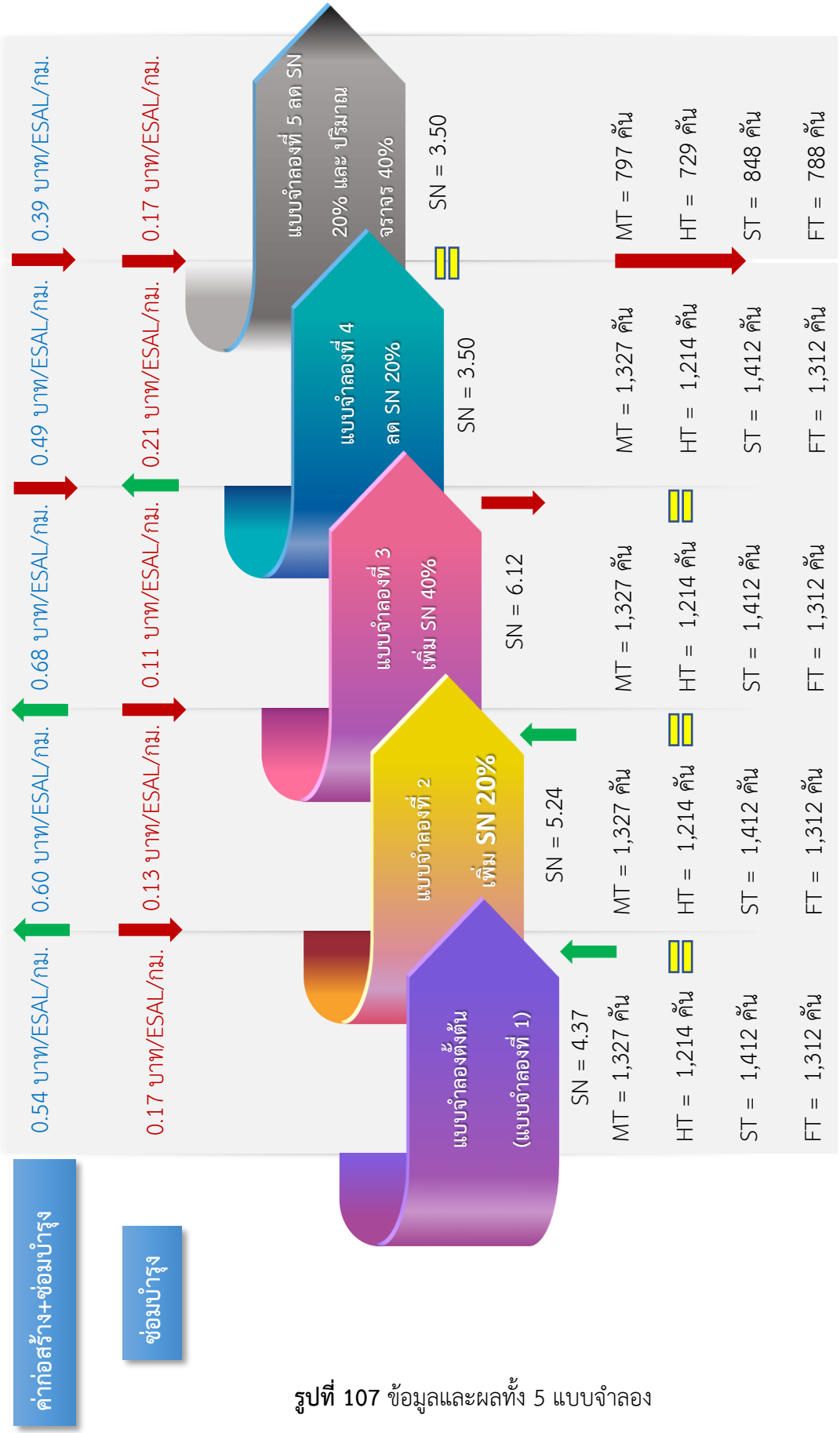
พิจารณาแบบจำลองที่ 1 เทียบกับแบบจำลองที่ 2 และ 3 อภิปรายได้ว่าการที่สร้างถนนให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนั้น ทำให้กระบวนการเกิดความเสียหายเกิดขึ้นช้าลง ดังนั้นจึงทำให้กิจกรรมซ่อมบำรุงเกิดช้าลง เมื่อพิจารณาจากค่า NPV แล้ว การสร้างถนนให้มีความแข็งแรงมากกว่าแบบจำลองที่ 1 นั้นทำให้ค่าใช้จ่ายที่ภาครัฐต้องแบกรับสูงมาก ถึงแม้ว่าจะทำให้มีการซ่อมบำรุงที่ลดลง สรุปได้ว่าค่า NPV แย่ลง เมื่อพิจารณาเทียบกับแบบจำลองที่ 1

<u>กรณีที่ 2</u> ควรสร้างถนนให้ความแข็งแรงลดน้อยลง และทำการซ่อมบำรุงมากขึ้น

พิจารณาแบบจำลองที่ 1 เทียบกับแบบจำลองที่ 4 อภิปรายได้ว่าการที่สร้างถนนให้มีความแข็งแรงต่ำ ลงนั้น ทำให้กระบวนการเกิดความเสียหายเกิดเร็วขึ้น ดังนั้นจึงทำให้กิจกรรมซ่อมบำรุงเกิดขึ้นหลายครั้งในรอบการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาจากค่า NPV แล้ว การสร้างถนนให้มีความแข็งแรงลดลงจากแบบจำลองที่ 1 ช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ภาครัฐเสียไป ถึงแม้ว่าจะทำให้มีการซ่อมบำรุงที่เพิ่มขึ้นก็ตาม สรุปได้ว่าค่า NPV มีแนวโน้มที่ดีขึ้น เมื่อพิจารณาเทียบกับแบบจำลองที่ 1

เพราะฉะนั้น จึงสรุปได้ว่าการสร้างถนนให้มีความแข็งแรงลดน้อยลง แม้จะทำให้มีงานซ่อมบำรุงมากขึ้นดังกรณีที่ 2 แต่ก็ทำให้ใช้งบประมาณรวมในการลงทุนที่น้อยกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 107 ข้อมูลและผลทั้ง 5 แบบจำลอง

4.5 การอภิปรายผลการวิเคราะห์

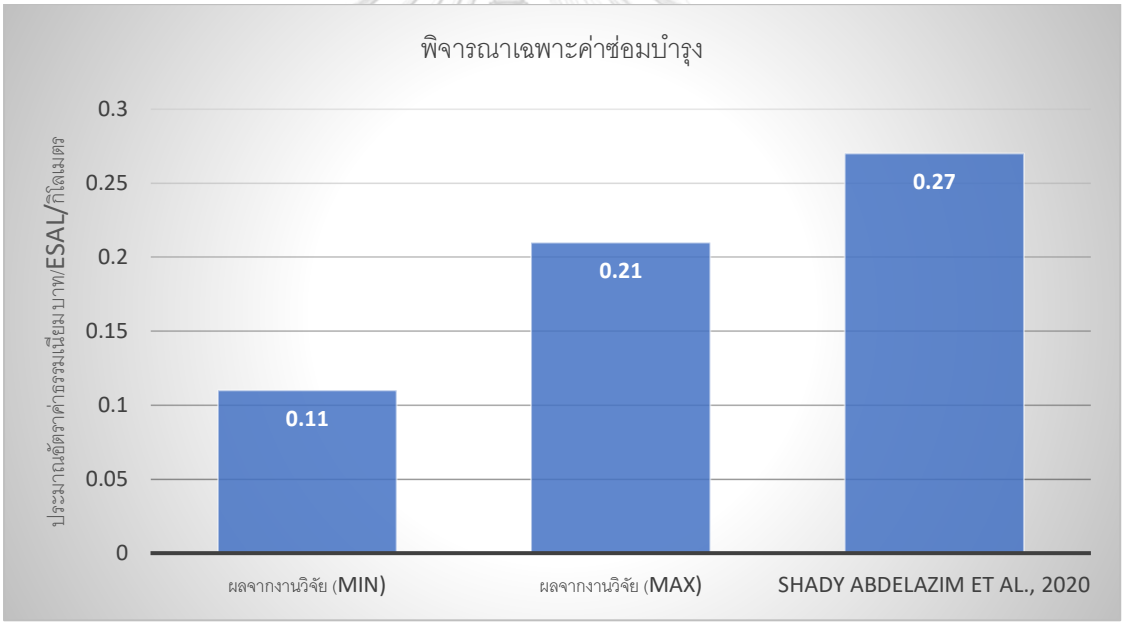
จากผลการทดลองที่ได้จาก HDM-4 และการเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าความเสียหาย รูปแบบการบำรุงรักษา และค่าก่อสร้างทั้ง 5 แบบจำลอง ซึ่งผลลัพธ์ในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับ (Zhao and Wang 2015) ซึ่งแนะนำว่าอัตราค่าผ่านทางหลวงที่เก็บรวบรวมบนทางด่วนมักจะขึ้นอยู่กับจำนวนเพลาที่รถบรรทุกมีมากกว่าน้ำหนักรถ และผลลัพธ์ในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับ (Shady Abdelazim et al., 2020) ซึ่งแนะนำว่าความแตกต่างของต้นทุนความเสียหายต่อไมล์อาจเกิดจากรถบรรทุกที่เพลามีการรับน้ำหนักสูงในเพลาหลัก และองค์ประกอบเพลารถบรรทุกสามารถกำหนดต้นทุนความเสียหายของผิวทางสำหรับทางหลวง

โดยการอ้างอิงเพิ่มเติมจากผลการวิจัยพบว่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ก่อสร้างไว้ (Initial Structural Number) ยิ่งโครงสร้างแข็งแรงมาก มีผลทำให้อัตราความเสียหายจากรถบรรทุกหนักลดลง รวมไปถึงอัตราค่าธรรมเนียมที่ลดลง และผลลัพธ์ในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับ (Cesar Tirado et al., 2010) ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุงรักษา ในทางกลับกันถ้านำค่าก่อสร้างที่สูงขึ้นจากการเพิ่มความแข็งแรงของโครงทางมาคิดเพิ่มเข้าไปในค่าธรรมเนียมพบว่ายิ่งความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ก่อสร้างไว้ยิ่งโครงสร้างแข็งแรงมาก อัตราค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกต้องจ่ายจะสูงขึ้นตามไปเช่นกัน

ในส่วนที่เกี่ยวกับความเสียหายในรูปแบบต่าง ๆ บนผิวทางในพื้นที่การศึกษานี้ยังพบอีกว่าการแตกร้าวของผิวทางที่พบในการศึกษาแบบจำลองที่ดำเนินการโดย (Sanchit Anand et al (2021)) นำไปสู่ความเสียหายอื่น ๆ เช่น ความหยาบของผิวทาง (Roughness) การเกิดร่องล้อ (Rut Depth)

จากการศึกษาพบว่าสามารถคาดการณ์ผลกระทบจากการเสื่อมสภาพที่แสดงให้เห็นถึงความแปรผันในแนวโน้มของความหยาบเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2021 ถึงปี 2036 เป็นการแสดงให้เห็นทางเลือกที่ชัดเจน เช่น การซ่อมแซมขอบ การเพิ่มเลน การปิดหลุมบ่อ การบำรุงรักษาเป็นประจำ โดยที่มีการนำ Thin Overlay และ Overlay มาเป็นกลยุทธ์ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ เนื่องจากการประมาณการความหยาบ (IRI) ผิวทางน้อยที่สุดภายในปี 2036 (Sanchit Anand et al (2021)) ซึ่งพบว่าการพิจารณาค่า IRI ในสายทางที่วิเคราะห์มาใช้สำหรับกำหนดช่วงและเงื่อนไขในการซ่อมบำรุงตั้งแต่ปี 2022 ถึงปี 2041 เป็นวิธีที่เหมาะสมในการบำรุงรักษาในสายทางที่พิจารณา โดยการนำ Mill and Overlay และ Slurry Seal มาเป็นกลยุทธ์ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

หน่วยงานขนส่งสามารถกำหนดต้นทุนการซ่อมแซมความเสียหายของผิวทางสำหรับทางหลวง อ้างอิงจาก (Shady Abdelazim et al., 2020) โดยทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 รัฐ ในประเทศสหรัฐอเมริกา คือ California, Vermount, Indiana, Manitoba และ Washington โดยที่พื้นที่ในการศึกษาทั้งหมดมีสภาพอากาศทั้งในรูปแบบ Freeze, Non-Freeze, Dry และ Wet ขึ้นอยู่กับรัฐที่วิเคราะห์ โดยตัวอย่างค่าธรรมเนียมที่มาจากต้นทุนที่มาจากค่าความเสียหายนี้นำเสนอในรัฐของ Washington ตามข้อมูลของ LTPP ในส่วนพื้นที่ WA-1 โดยพิจารณารถบรรทุกทุกประเภท (Vehicle Class 4 - 13) ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ 28 ปี (ปี ค.ศ. 1988 - 2016) โดยมีปริมาณ ESAL อยู่ที่ 2.4 ล้าน ในส่วนแรกพิจารณาในส่วนของค่าซ่อมบำรุง (Maintenance Cost) ซึ่งใช้วิธี Seal coated ในการซ่อมบำรุง ส่วนที่สองพิจารณาในส่วนของค่าฟื้นฟู/บูรณะ (Rehabilitation cost) ซึ่งใช้วิธี Overlay ในการฟื้นฟู/บูรณะ ในส่วนสุดท้ายนำมาพิจารณาค่าความเสียหายผิวทางต่อ ESAL-Mile จากผลการวิเคราะห์อัตราค่าธรรมเนียมอยู่ที่ 0.27 บาท/ESAL/กิโลเมตร

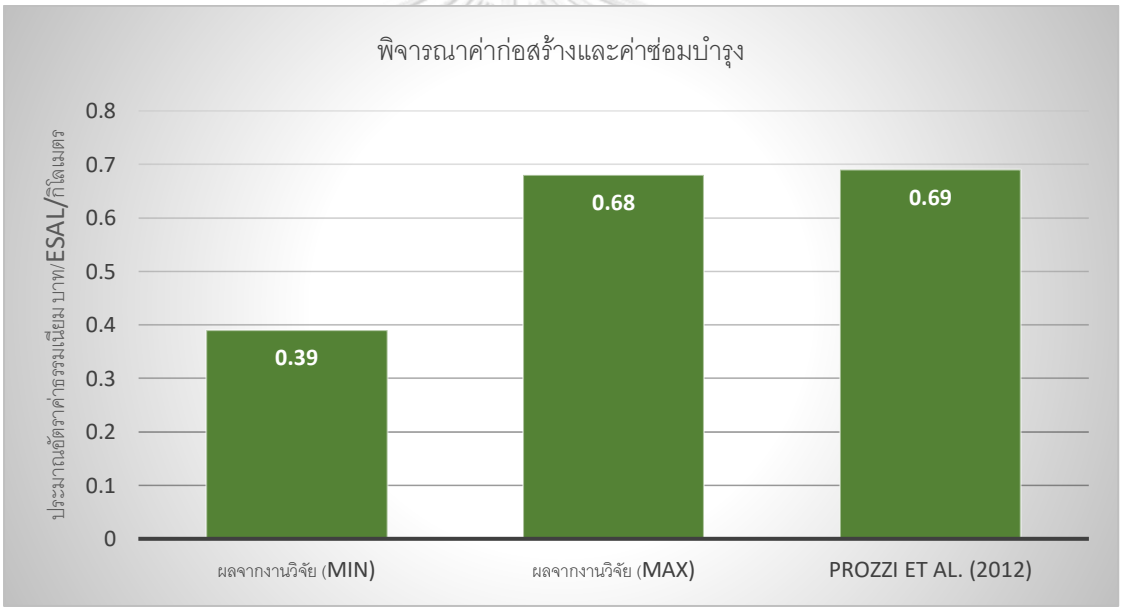


รูปที่ 108 *กราฟเปรียบเทียบอัตราค่าธรรมเนียมในกรณีพิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุง*

สรุปอัตราค่าธรรมเนียมในส่วนที่พิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุงรักษา

- อัตราค่าธรรมเนียมจะลดลงในกรณีที่ความแข็งแรงสูงขึ้น เป็นจริงในส่วนนี้ และพบว่าอัตราค่าธรรมเนียมจะลดลงในกรณีที่ความแข็งแรงในแบบจำลองเท่ากัน แต่ปริมาณรถบรรทุกต่ำกว่าการคาดการณ์
- ตัวแปรสำคัญในส่วนนี้คือ ปริมาณรถบรรทุก และความแข็งแรงของโครงสร้างทาง

และ (Prozzi et al. (2012)) ประมาณการค่าซ่อมบำรุงผิวทางที่เกิดจากความเสียหายจากรถบรรทุก รวมไปถึงพิจารณาค่าก่อสร้างผิวทางลาดยาง โดยตัวอย่างอัตราค่าธรรมเนียมที่มาจากต้นทุนที่มาจากค่าก่อสร้างและค่าความเสียหายนี้นำเสนอในรัฐของ Texas ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยพิจารณาจากน้ำหนักสูงสุดตามกฎหมายทั้งหมด 4 เพลา คือ Single Axles, Tandem Axles, Tridem Axles และ Quad Axles โดยมีระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ 20 ปี โดยพิจารณาจากเกณฑ์ความเสียหาย 3 รูปแบบ คือ Rut depth, Cracking และ IRI บนโครงสร้างทางที่มีความแข็งแรงที่แตกต่างกันไป 5 รูปแบบคือ SN เป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยการคำนวณค่าก่อสร้างผิวทางสำหรับหน้าตัดแบบต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลค่าก่อสร้างต่อหน่วยจากโครงการก่อสร้างที่ผ่านมาของรัฐ จากผลการวิเคราะห์ประมาณอัตราค่าธรรมเนียม ได้เสนอค่าเฉลี่ยอัตราค่าธรรมเนียมน้ำหนักบรรทุกส่วนเกินที่ 0.69 บาท/ESAL/กิโลเมตร



รูปที่ 109 กราฟเปรียบเทียบอัตราค่าธรรมเนียมในกรณีพิจารณาค่าก่อสร้าง และค่าซ่อมบำรุง

สรุปอัตราค่าธรรมเนียมในส่วนที่พิจารณาค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงรักษา

- ค่าก่อสร้างมีผลอย่างมากต่อการพิจารณาอัตราค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกจะต้องจ่าย
- อัตราค่าธรรมเนียมจะลดลงในกรณีที่ความแข็งแรงสูงขึ้น โดยที่การลดลงของอัตราค่าธรรมเนียมนั้นจะต้องไม่นำค่าก่อสร้างมาพิจารณา

ซึ่งผลลัพธ์ในในงานวิจัยนี้มีผลการวิเคราะห์อัตราค่าซ่อมบำรุงผิวทางอยู่ที่ในช่วง 0.11-0.21 บาท/ESAL/กิโลเมตร และผลการวิเคราะห์อัตราค่าซ่อมบำรุงผิวทาง รวมค่าก่อสร้างอยู่ที่ในช่วง 0.39-0.68 บาท/ESAL/กิโลเมตร ที่ระยะเวลา 20 ปี ทั้งนี้การเปียบเทียบค่าทั้ง 2 กรณี เมื่อเทียบกับในการวิจัยของต่างประเทศนั้นมีความแตกต่างกัน โดยสาเหตุอันเนื่องมาจากคุณภาพการก่อสร้าง วัสดุที่ใช้ สภาพแวดล้อม รวมไปถึงความแข็งแรงและปริมาณจราจรของสายทางที่วิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการนำแบบจำลองมาใช้ในการคาดการณ์ความเสียหายของผิวทางลาดยางกับทางหลวงในประเทศไทย โดยที่ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างทาง และการซ่อมบำรุงตลอดช่วงการวิเคราะห์ในระยะเวลา 20 ปี ได้ทำการศึกษาโดยใช้การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ด้วยวิธี Road Deterioration model (RD model) หรือก็คือแบบจำลองการเสื่อมสภาพของถนน โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในแบบจำลองดังกล่าวมีทั้งหมด 5 รูปแบบ คือ Cracking, Ravelling, Pothole, Rutting และ Edge-break โดยที่ผลลัพธ์ของความเสียหายดังกล่าวที่เกิดขึ้นในแบบจำลองจะถูกพิจารณาวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาในเชิงวิศวกรรม (Engineering approach) ซึ่งเป็นการ กำหนดกิจกรรมการบำรุงรักษาผิวทางในเชิงตอบสนองความเสียหายบนผิวทางและรักษาความเรียบของผิวทางโดยกำหนดเกณฑ์ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เพื่อใช้กำหนดรูปแบบและเงื่อนไขในการสร้างแบบจำลอง และการซ่อมบำรุง ตลอดจนการนำไปวิเคราะห์ค่าบำรุงรักษาทางในอนาคต

รูปแบบความเสียหายที่เกิดจากรถบรรทุกทั้ง 3 ประเภท ที่เกิดขึ้นภายในงานวิจัยนี้ ได้แก่ Cracking, Edge-break และ Rutting โดยความเสียหายหลักที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระของผิวทาง (Roughness) คือ Cracking (Wide Structural Cracking) เนื่องจากพิจารณาสร้างแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบถนนใหม่ และการกำหนดเงื่อนไขและช่วงการซ่อมบำรุงก่อนที่จะเกิดการลุกลามของความเสียหาย จึงทำให้ไม่พบความเสียหายในรูปแบบ Ravelling และ Pothole

การปรับแก้ค่า (Calibration) ในระดับที่ 1 ถูกใช้เพื่อปรับรูปแบบให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม วัสดุในการก่อสร้าง และคุณภาพในงานก่อสร้างในพื้นที่ ภูมิภาค หรือประเทศ ที่มีการพิจารณา โดยที่การปรับแก้ค่าสามารถเร่งหรือลดการเกิดความเสียหายในรูปแบบการแตกร้าว (Cracking) และความหยาบของผิวทาง (Roughness) อีกทั้งได้เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการปรับแก้ค่า ซึ่งทำให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการปรับแก้ค่าส่งผลทำให้ค่าความหยาบของผิวทางเกิดขึ้นช้ากว่ากรณีไม่ปรับแก้ค่า แต่ในส่วนของความเสียหายในรูปแบบการแตกร้าวนั้นกรณีไม่ปรับแก้ค่ามีอัตราการเกิดความเสียหายดังกล่าวช้ากว่า อันเนื่องมาจากค่า K ที่ถูกกำหนดไว้แต่เดิมเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมกับประเทศไทยและพื้นที่ในงานวิจัย

ตัวอย่างสายทางที่ใช้ในการศึกษาคือทางหลวงแผ่นดินสาย 344 ชลบุรี - แกลง ถูกใช้เป็นต้นแบบในการสร้างเป็นแบบจำลอง 5 กรณีประกอบด้วย 1.แบบจำลองที่ต้นแบบ 2.แบบจำลองต้นแบบและเพิ่มความแข็งแรงโครงสร้างทางขึ้น 20% 3.แบบจำลองต้นแบบที่เพิ่มความแข็งแรง

โครงสร้างทางขึ้น 40% 4.แบบจำลองต้นแบบที่ลดความแข็งแรงโครงสร้างทางลง 20% 5.แบบจำลองต้นแบบที่ลดความแข็งแรงโครงสร้างทางลง 20% และลดประมาณจราจรรถบรรทุกลง 40% การทดลองแบบจำลองแต่ละแบบนั้นดำเนินการภายใต้แรงกระทำจากรถบรรทุกทั้ง 4 ประเภท คือ Medium Truck, Heavy Truck, Semi-Trailer และ Full Trailer ในการทดลองแต่ละแบบจำลองจะถูกกำหนดให้อยู่ในสภาพภูมิอากาศของภาคตะวันออก เพื่อคาดการณ์ค่าก่อสร้าง ค่าความเสียหาย และกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุงหลังจากการทดลองจากแบบจำลอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

รูปแบบโครงสร้างตัวแปรสำหรับการนำมาสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แบบจำลองรถบรรทุกที่มีตัวแปร คือ ประเภทและปริมาณรถบรรทุก การเพิ่มขึ้นหรือลดลงต่อปีของรถบรรทุก และค่า Truck Factor (TF) ของรถบรรทุกทั้ง 4 ประเภท ในส่วนที่สองแบบจำลองสายทางที่มีตัวแปร คือ ภาพแวดล้อมภายในประเทศไทย และภายในพื้นที่ทางหลวงสาย 344 ประเภทและลักษณะของถนน และความแข็งแรงของโครงสร้างทาง เพื่อนำมาใช้สร้างแบบจำลองโครงสร้างทางและพิจารณาหารูปแบบการซ่อมบำรุง ณ ปีที่เกิดความเสียหายระหว่างปีการวิเคราะห์ ตลอดจนค่าหาอัตราค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุงในอนาคต

การวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายที่ครอบคลุมค่าก่อสร้างนั้นพิจารณาจากค่าก่อสร้างพื้นฐานเบื้องต้น เช่น งานก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง ชั้นพื้นทาง ชั้นผิวทาง และงานแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการพิจารณาราคาวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง ระยะทาง ค่าขนส่ง ค่าขนขึ้นลง ค่าดำเนินการ ค่าเสื่อมสภาพ โดยที่การคิดมูลค่างานก่อสร้างยึดตามราคากลาง ซึ่งในแบบจำลองที่ 2 และ 3 ที่เพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างทางนั้นมีราคาค่าก่อสร้างที่สูงขึ้นจากเดิมประมาณ 4 ล้านบาท และ 8 ล้านบาท เมื่อเทียบกับค่าก่อสร้างจากแบบจำลองที่ 1 และในแบบจำลองที่ 4 และ 5 ที่ลดความแข็งแรงของโครงสร้างทางนั้นมีราคาค่าก่อสร้างที่ต่ำจากเดิมประมาณ 3.6 ล้านบาท เมื่อเทียบกับค่าก่อสร้างจากแบบจำลองที่ 1 และค่าซ่อมบำรุงรักษาโครงสร้างทางนั้นจะถูกพิจารณาตามกิจกรรมการซ่อมบำรุงที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาเลือกใช้ Slurry Seal และ Mill and Overlay เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงรักษาทางสำหรับแบบจำลองทางหลวงเส้น 344 โดยที่ค่าใช้จ่ายที่ได้จากการพิจารณาค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงนั้นเป็นองค์ประกอบหลักที่จะนำไปพิจารณาคิดอัตราค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงในอนาคต

โครงสร้างอัตราค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมกับทางหลวง สาย 344 ที่ได้ทำการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ที่ได้ในการพิจารณา ส่วนแรก คือ อัตราที่พิจารณาค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุง และส่วนที่สอง คือ อัตราที่พิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุงที่รถบรรทุกจะต้องจ่ายในกรณีที่ฝ่าฝืนบรรทุกน้ำหนักเกินกว่ามาตรฐานกำหนด

จากการวิเคราะห์การประมาณอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกจากค่าซ่อมบำรุงนั้นใช้การวิเคราะห์มูลค่าซ่อมบำรุงโดยวิธี NPV แล้วจึงนำมาพิจารณาหาค่าซ่อมบำรุงต่อเพลามาตรฐาน ค่าซ่อมบำรุงดังกล่าวเป็นค่าซ่อมบำรุงที่เกิดจากรถบรรทุกทั้ง 4 ประเภท ทั้งนี้ค่าความเสียหายต่อผิวทางจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับคุณภาพวัสดุผิวทางและคุณภาพการก่อสร้าง ในส่วนของค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกต้องจ่ายขึ้นอยู่กับการบรรทุกเกินอัตราที่กำหนดต่อระยะทางการเดินรถ ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> กรณีพิจารณาอัตราค่าธรรมเนียมจากค่าก่อสร้างและซ่อมบำรุง

กรณีแรก คือแบบจำลองที่ 1, 2 และ 3 โดยที่แบบจำลองที่ 1 มีอัตราค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกต้องจ่ายกรณีบรรทุกน้ำหนักเกินมาตรฐานกำหนดที่ 0.54 บาท/ESAL/Km แบบจำลองที่ 2 ที่ 0.60 บาท/ESAL/Km และ แบบจำลองที่ 3 ที่ 0.68 บาท/ESAL/Km โดยที่มูลค่าการเก็บค่าธรรมเนียมสูงขึ้น เนื่องจากแบบจำลองที่ 2 และ 3 มีต้นทุนการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างทาง

กรณีที่สอง คือแบบจำลองที่ 1 และ 4 โดยที่แบบจำลองที่ 1 มีอัตราค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกต้องจ่ายกรณีบรรทุกน้ำหนักเกินมาตรฐานกำหนดที่ 0.54 บาท/ESAL/Km และแบบจำลองที่ 4 ที่ 0.49 บาท/ESAL/Km โดยที่มูลค่าการเก็บค่าธรรมเนียมลดลง เนื่องจากแบบจำลองที่ 4 มีต้นทุนค่าก่อสร้างที่ลดลงเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 1 จากการลดความแข็งแรงของโครงสร้างทาง

กรณีที่สาม คือแบบจำลองที่ 4 และ 5 โดยที่แบบจำลองที่ 4 มีอัตราค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกต้องจ่ายกรณีบรรทุกน้ำหนักเกินมาตรฐานกำหนดที่ 0.49 บาท/ESAL/Km และแบบจำลองที่ 5 ที่ 0.39 บาท/ESAL/Km โดยที่มูลค่าการเก็บค่าธรรมเนียมลดลงเนื่องจากแบบจำลองที่ 5 มีต้นทุนค่าก่อสร้างเท่ากับแบบจำลองที่ 4 แต่ค่าซ่อมบำรุงลดลงเนื่องมาจากการลดปริมาณรถบรรทุก

<u>ส่วนที่ 2</u> กรณีพิจารณาอัตราค่าธรรมเนียมจากค่าซ่อมบำรุงเพียงอย่างเดียว

กรณีแรก คือแบบจำลองที่ 1, 2 และ 3 โดยที่แบบจำลองที่ 1 มีอัตราค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกต้องจ่ายกรณีบรรทุกน้ำหนักเกินมาตรฐานกำหนดที่ 0.17 บาท/ESAL/Km แบบจำลองที่ 2 ที่ 0.13 บาท/ESAL/Km และ แบบจำลองที่ 3 ที่ 0.11 บาท/ESAL/Km โดยที่มูลค่าการเก็บค่าธรรมเนียมเริ่มมีมูลค่าที่ลดลง เนื่องจากแบบจำลองที่ 3 มีค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่สูงขึ้น การเกิดรูปแบบการซ่อมบำรุงจึงลดลง

กรณีที่สอง คือแบบจำลองที่ 1 และ 4 โดยที่แบบจำลองที่ 1 มีอัตราค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกต้องจ่ายกรณีบรรทุกน้ำหนักเกินมาตรฐานกำหนดที่ 0.17 บาท/ESAL/Km และแบบจำลองที่ 4 ที่ 0.21 บาท/ESAL/Km โดยที่มูลค่าการเก็บค่าธรรมเนียมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากแบบจำลองที่ 4 มีต้นทุนค่าซ่อมบำรุงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 1 จากการลดความแข็งแรงของโครงสร้างทาง

กรณีที่สาม คือแบบจำลองที่ 4 และ 5 โดยที่แบบจำลองที่ 4 มีอัตราค่าธรรมเนียมที่รถบรรทุกต้องจ่ายกรณีบรรทุกน้ำหนักเกินมาตรฐานกำหนดที่ 0.21 บาท/ESAL/Km และแบบจำลองที่ 5 ที่ 0.17 บาท/ESAL/Km โดยที่มูลค่าการเก็บอัตราค่าธรรมเนียมลดลง เนื่องจากแบบจำลองที่ 5 มีต้นทุนค่าก่อสร้างเท่ากับแบบจำลองที่ 4 แต่ค่าซ่อมบำรุงลดลง เนื่องมาจากการลดปริมาณรถบรรทุก

ทั้งนี้อัตราค่าธรรมเนียมมีองค์ประกอบหลายส่วนซึ่งนอกเหนือจากค่าใช้จ่ายจากงานบำรุงรักษาหรือรวมค่าก่อสร้างที่นับเป็นองค์ประกอบหลักแล้วนั้น ยังมีค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เพิ่มเติมในกรณีที่มีการจัดเก็บค่าธรรมเนียมขึ้นจริง โดยที่ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นมานั้นมาจากค่าดำเนินการ กำไร ภาษี ฯลฯ ที่มาจากการจ้างหน่วยงานภายนอกเข้ามาดำเนินการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับการนำไปใช้งานอาจยกตัวอย่างกรณีที่เก็บค่าซ่อมบำรุงผิวทางโดยพิจารณาค่าก่อสร้าง และ ค่าซ่อมบำรุง กับรถบรรทุก 10 ล้อ ที่บรรทุกเกินจากพิกัดน้ำหนัก จากแบบจำลองที่ 1 : Flexible Pavement, SN=4.37 ได้ดังนี้

ประเภท	น้ำหนักรถบรรทุก (ตัน)	จำนวนเพลามาตรฐาน (ผิวทางแอสฟัลต์) ESALs	จำนวนเพลามาตรฐานที่เกินจากพิกัด ESALs	อัตราค่าซ่อมบำรุงที่เกินจากพิกัด (บาท/กม)
รถบรรทุก 10 ล้อ 3 เพลา	25	3.076	0	0
	26	3.607	0.531	0.287
	27	4.370	1.294	0.699
	28	5.061	1.985	1.072
	29	6.045	2.968	1.603
	30	6.945	3.869	2.089

และกรณีที่เก็บค่าซ่อมบำรุงผิวทางโดยพิจารณาเฉพาะค่าซ่อมบำรุง ไม่รวมค่าก่อสร้าง กับรถบรรทุก 10 ล้อ ที่บรรทุกเกินจากพิกัดน้ำหนัก จากแบบจำลองที่ 1 : Flexible Pavement, SN=4.37 ได้ดังนี้

ประเภท	น้ำหนักรถบรรทุก (ตัน)	จำนวนเพลามาตรฐาน (ผิวทางแอสฟัลต์) ESALs	จำนวนเพลามาตรฐานที่เกินจากพิกัด ESALs	อัตราค่าซ่อมบำรุงที่เกินจากพิกัด (บาท/กม)
รถบรรทุก 10 ล้อ 3 เพลา	25	3.076	0	0
	26	3.607	0.531	0.090
	27	4.370	1.294	0.220
	28	5.061	1.985	0.337
	29	6.045	2.968	0.505
	30	6.945	3.869	0.658

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำโปรแกรม HDM-4 ไปใช้บริหารงบประมาณและวางแผนในการซ่อมบำรุงถนนในอนาคต เพื่อควบคุมและลดปริมาณความเสียหายที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของผิวทาง รวมไปถึงภาระในด้านงานซ่อมบำรุงของโครงสร้างทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางจากข้อมูล FWD นั้นมีข้อจำกัดในเรื่องความต่อเนื่องที่ได้เก็บข้อมูล ข้อจำกัดนั้นมาจากจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่สูง อีกทั้งสายทางในประเทศไทยมีหลากหลายสายทาง ทำให้กรมทางหลวงไม่สามารถทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวเป็นเวลาต่อเนื่องได้ในสายทางนั้น จึงทำให้ข้อมูลที่ได้ดูไม่เป็นปัจจุบัน อีกหนึ่งข้อมูลนั้นคือความเสียหายในสายทางในประเทศไทยที่มีการเก็บบันทึกตามสายทางต่าง เช่น การแตกร้าว การหลุดร่อน หลุมบ่อ ร่องล้อ ฯลฯ นั้นยังไม่มีการเก็บรูปแบบความเสียหายบนพื้นผิวทาง มีเพียงข้อมูล IRI ที่มีการเก็บและแสดงอยู่ใน Roadnet2 ทำให้การสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางทำได้เพียงให้อยู่ในรูปแบบการก่อสร้างใหม่ (ไม่มีความเสียหาย) สืบเนื่องจากข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลด้านความเสียหายแล้วนั้นความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลยังมีผลต่อความแม่นยำในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปรับแก้ค่า Calibration Factor ในโปรแกรม HDM-4 ที่ถูกแบ่งระดับในการปรับค่าให้ออกมาใกล้เคียงความเป็นจริง ด้วยข้อจำกัดที่แบ่งความแม่นยำตามความต่อเนื่องและระยะเวลาที่ได้มีการเก็บข้อมูล จึงเป็นอีกหนึ่งในข้อจำกัดในงานวิจัยชิ้นนี้

สำหรับการนำไปใช้ในการเก็บค่าธรรมเนียมใบอนุญาตขึ้นอยู่กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม เป็นต้น พิจารณาเป็นแนวทางและปรับใช้ในการเก็บค่าธรรมเนียมรถบรรทุกในโครงข่ายทางหลวงภายในประเทศไทย ต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและใช้แบบจำลองรูปแบบ Road Deterioration model (RD model) เท่านั้น เพื่อใช้ในการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของถนน โดยที่ผลกระทบจากปริมาณจราจรรถบรรทุกหนักอาจมีมากน้อยแตกต่างกันไป ซึ่งในงานววิจัยนี้กำหนดให้ปริมาณจราจรรถบรรทุกหนักเพิ่มขึ้น 4% ทุกปี โดยที่ความเป็นจริงบางปีอาจเพิ่มสูงกว่า 4% หรือน้อยกว่า 4% ก็ได้ ขึ้นอยู่กับสภาวะเศรษฐกิจภายในประเทศในปีนั้น ๆ

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ในกรณีที่สามารถสำรวจปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับความเสียหายจริง เช่น ข้อมูลการแตกร้าว หลุมบ่อ ฯลฯ บนผิวทาง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดในการสร้างแบบจำลอง และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบในอนาคต
- การเลือกทางเลือกในการบำรุงรักษาที่ดีที่สุดและการคาดการณ์ความต้องการงบประมาณการบำรุงรักษาสำหรับเครือข่ายถนนที่เลือกนั้นขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ผู้วางแผนนำมาใช้ เกณฑ์

การวางแผนอาจเป็นการพิจารณาเลือกค่า NPV สูงสุด หรือการรักษาสภาพถนนให้อยู่ในสภาพที่ยอมรับได้

- เป็นที่น่าสนใจที่จะทำการสร้างแบบจำลองในโครงข่ายทางหลวงต่าง ๆ ในประเทศไทย เนื่องจากสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณภูมิ และปริมาณจราจรรถบรรทุกที่มีมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค รวมไปถึงความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมในการใช้งาน ส่งผลถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับถนน และความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงไป
- แนวทางในการนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้นการกำหนดการเก็บอัตราค่าธรรมเนียมรถบรรทุกหนักต่อคันนั้น อาจจะพิจารณาในส่วนที่รถบรรทุกมีการฝ่าฝืนบรรทุกเกินกว่าพิกัดที่กฎหมายกำหนดโดยที่อัตราค่าธรรมเนียมนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่รถบรรทุกฝ่าฝืนบรรทุกเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด กับระยะทางการเดินรถ และในส่วนของรถบรรทุกที่ไม่มีการฝ่าฝืนบรรทุกเกินน้ำหนักกำหนดนั้นจะพิจารณาจากค่า ESAL ของน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกปะเภทนั้น ๆ ที่ยอมรับได้ตามที่กฎหมายกำหนด เพื่อไม่ให้กระทบต่อผู้ประกอบการที่ดำเนินกิจการด้วยความถูกต้องตามกฎหมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

(ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HDM-4 ในกรณีศึกษา 2 ที่ถนนบางกอกน้อย-บางใหญ่)

HDM - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%) All Structural ACA	Cracking Area (%) Wide Structural ACW	Cracking Area (%) Transverse Thermal ACT	Cracking Area (%) Total Cracking ACRA	Ravelled Area (%) ARV	Potholes Number per km NPT	Potholes Area (%) APOT	Edge-break Area (m_2/km) AEB	Rutting Mean Rut Depth (mm)	Rutting Std. Dev of Rut Depth RDS	Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
2022	5265	1.38	Before works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
			After works	AMGB	5.42	2.19	0	0	0	0	0	0	0.0	10	2.8	1.6	0.50	0.40
2023	5476	1.44	Before works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.26	0	0	0	0	0	0	0.0	21	3.0	1.7	0.50	0.39
2024	5695	1.50	Before works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
			After works	AMGB	5.42	2.33	0	0	0	0	0	0	0.0	33	3.2	1.8	0.50	0.39
2025	5922	1.56	Before works	AMGB	5.42	2.41	3	0	0	3	0	0	0.0	46	3.4	1.9	0.50	0.38
			After works	STAP	5.50	2.41	0	0	0	0	0	0	0.0	0	3.4	2.7	0.70	0.55
2026	6159	1.62	Before works	STAP	5.50	2.49	0	0	0	0	0	0	0.0	14	3.6	2.8	0.67	0.55
			After works	STAP	5.50	2.49	0	0	0	0	0	0	0.0	14	3.6	2.8	0.67	0.55
2027	6406	1.68	Before works	STAP	5.50	2.56	0	0	0	0	0	0	0.0	30	3.8	2.9	0.67	0.54
			After works	STAP	5.50	2.56	0	0	0	0	0	0	0.0	30	3.8	2.9	0.67	0.54
2028	6662	1.75	Before works	STAP	5.50	2.65	2	0	0	2	0	0	0.0	47	4.0	3.0	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.22	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2029	6928	1.82	Before works	AMAP	5.22	2.07	0	0	0	0	0	0	0.0	9	0.2	0.1	0.67	0.55
			After works	AMAP	5.22	2.07	0	0	0	0	0	0	0.0	9	0.2	0.1	0.67	0.55

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 6

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2030	7206	1.89	Before works	AMAP	5.22	2.15	0	0	0	0	0	0	0.0	19	0.4	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.22	2.15	0	0	0	0	0	0	0.0	19	0.4	0.3	0.67	0.54
2031	7494	1.97	Before works	AMAP	5.22	2.24	1	0	0	1	0	0	0.0	29	0.6	0.4	0.67	0.54
			After works	STAP	5.29	2.24	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.6	0.5	0.70	0.55
2032	7793	2.05	Before works	STAP	5.29	2.32	0	0	0	0	0	0	0.0	23	0.8	0.6	0.67	0.55
			After works	STAP	5.29	2.32	0	0	0	0	0	0	0.0	23	0.8	0.6	0.67	0.55
2033	8105	2.13	Before works	STAP	5.29	2.40	1	0	0	1	0	0	0.0	48	1.0	0.8	0.67	0.54
			After works	STAP	5.29	2.40	1	0	0	1	0	0	0.0	48	1.0	0.8	0.67	0.54
2034	8429	2.21	Before works	STAP	5.29	2.52	5	0	0	5	0	0	0.0	74	1.2	0.9	0.67	0.53
			After works	STAP	5.37	2.52	0	0	0	0	0	0	0.0	0	1.2	1.0	0.70	0.55
2035	8767	2.30	Before works	STAP	5.37	2.61	0	0	0	0	0	0	0.0	29	1.4	1.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55
2036	9117	2.39	Before works	AMAP	5.09	2.09	0	0	0	0	0	0	0.0	16	0.2	0.1	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.09	0	0	0	0	0	0	0.0	16	0.2	0.1	0.67	0.54
2037	9482	2.49	Before works	AMAP	5.09	2.18	1	0	0	1	0	0	0.0	33	0.4	0.3	0.67	0.54
			After works	AMAP	5.09	2.18	1	0	0	1	0	0	0.0	33	0.4	0.3	0.67	0.54
2038	9861	2.59	Before works	AMAP	5.08	2.29	2	0	0	2	0	0	0.0	51	0.7	0.4	0.67	0.53
			After works	STAP	5.16	2.29	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.7	0.5	0.70	0.55
2039	10256	2.69	Before works	STAP	5.16	2.38	0	0	0	0	0	0	0.0	40	0.9	0.7	0.67	0.54
			After works	STAP	5.16	2.38	0	0	0	0	0	0	0.0	40	0.9	0.7	0.67	0.54

H D M - 4 **Pavement Condition (Bituminous Pavements)**

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall:1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Lane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m,/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2040	10666	2.80	Before works	STAP	5.16	2.51	4	0	0	4	0	0	0.0	83	1.1	0.8	0.67	0.54
			After works	STAP	5.16	2.51	4	0	0	4	0	0	0.0	83	1.1	0.8	0.67	0.54
2041	11093	2.91	Before works	STAP	5.11	2.70	17	0	0	17	0	0	0.0	129	1.3	0.9	0.67	0.53
			After works	AMAP	4.87	2.00	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.70	0.55

HDM-4

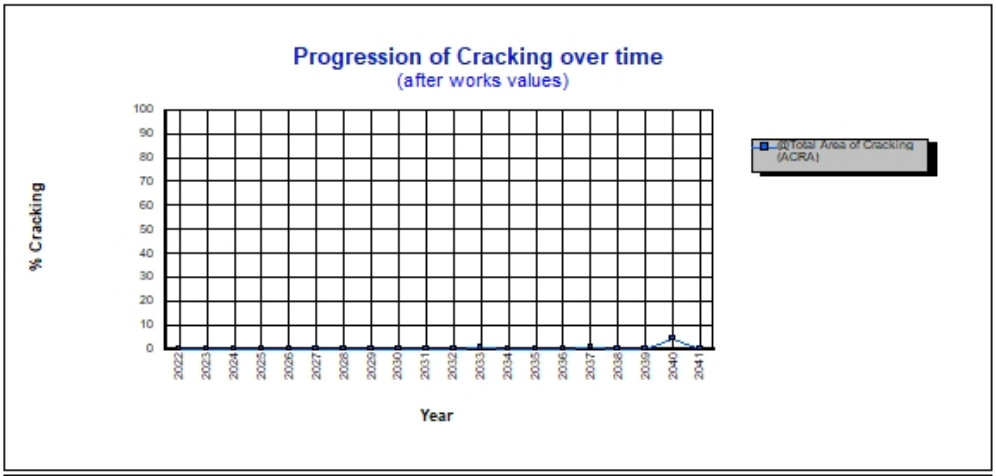
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

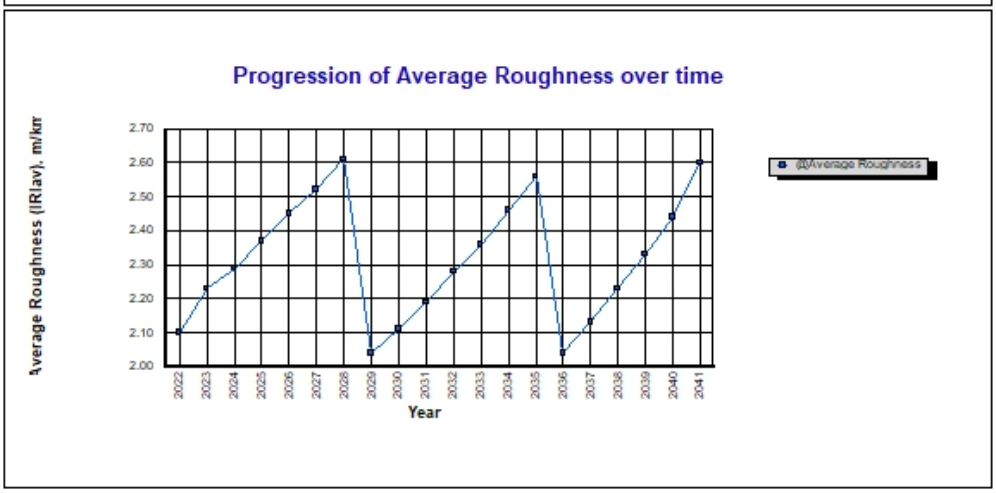
Bituminous Pavement Condition (Graph)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

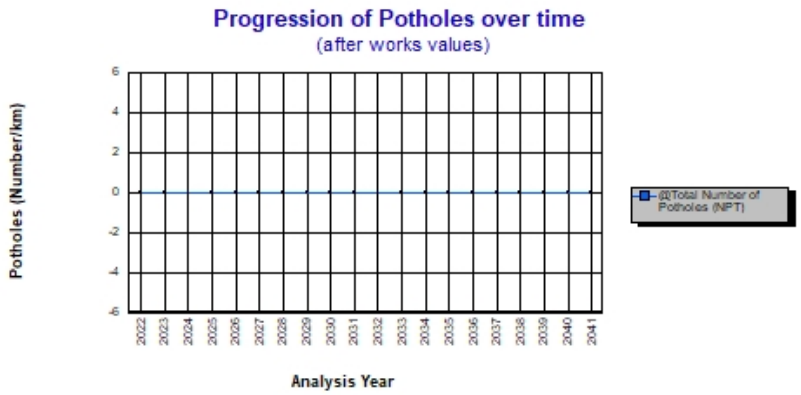
Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

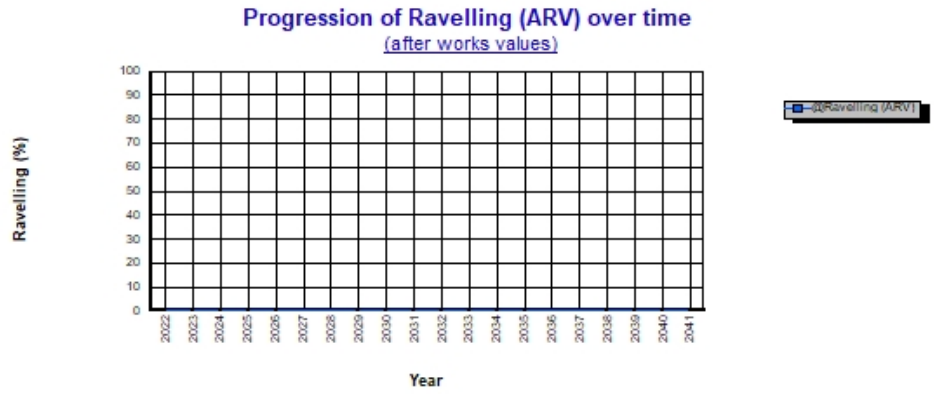
Length: 1.00km Width: 7.00m Rise + Fall: 1.00m/km Curvature: 3.00deg/km Road Class: Primary or Trunk

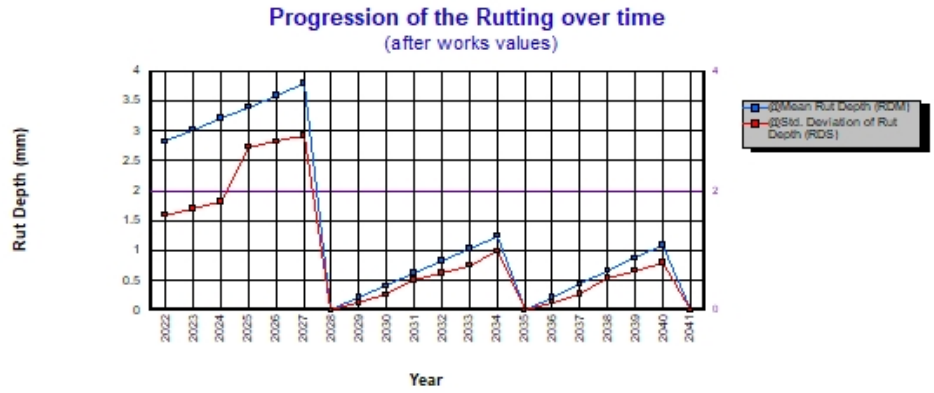




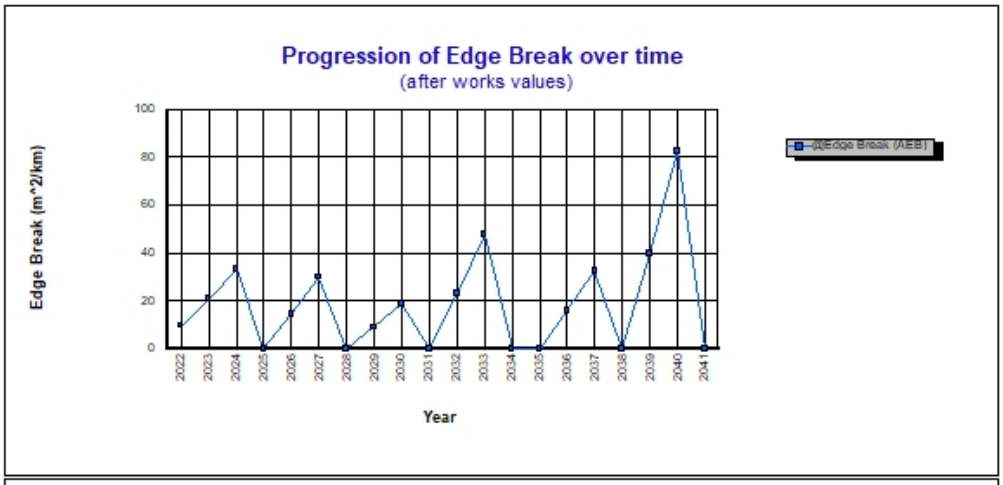
HDM-4 Bituminous Pavement Condition (Graph)

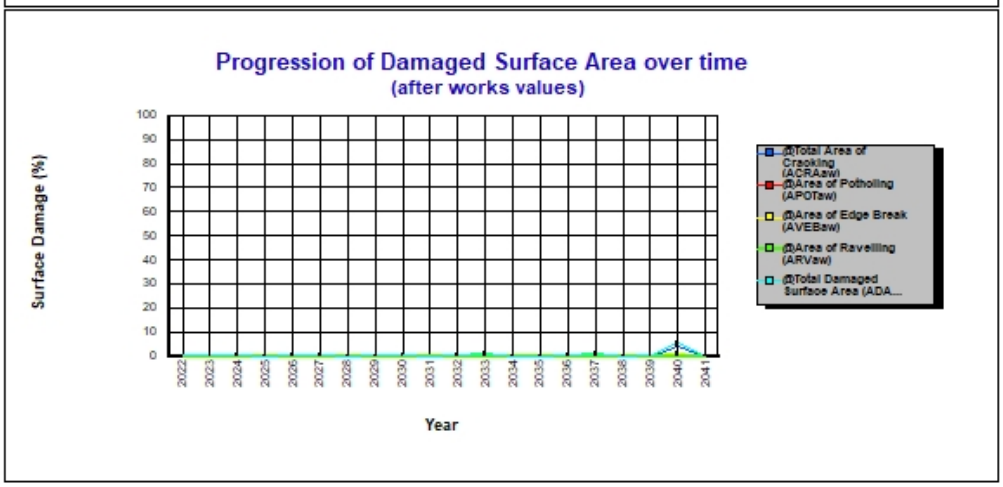






HDM-4 Bituminous Pavement Condition (Graph)





HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Road Works Summary (by Section)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar**

Note: only sections that have works triggered are displayed.

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario
Surface Class: Bituminous
Length: 1.00km
Road Class: Primary or Trunk
Width: 7.00m

Year	Description	Code	Economic Cost	Financial Cost	Work Quantity
2025	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	46.36 sq. m
2028	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2031	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	29.42 sq. m
2034	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	74.45 sq. m
2035	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
2038	Slurry Seal Type 2	SS	20,230.0	0.0	7,000.00 sq. m
	Prep. Edge Repair		0.0	0.0	50.94 sq. m
2041	Mill and Overlay	MO	58,730.0	0.0	7,000.00 sq. m
Total cost for the section:			257,110.0	0.0	

Summary of Total Annual Economic Costs :

Base Sensitivity Scenario

	Maintenance 1
2025	**20,230.00**
2028	**58,730.00**
2031	**20,230.00**
2034	**20,230.00**
2035	**58,730.00**
2038	**20,230.00**
2041	**58,730.00**
Total	**257,110.00**

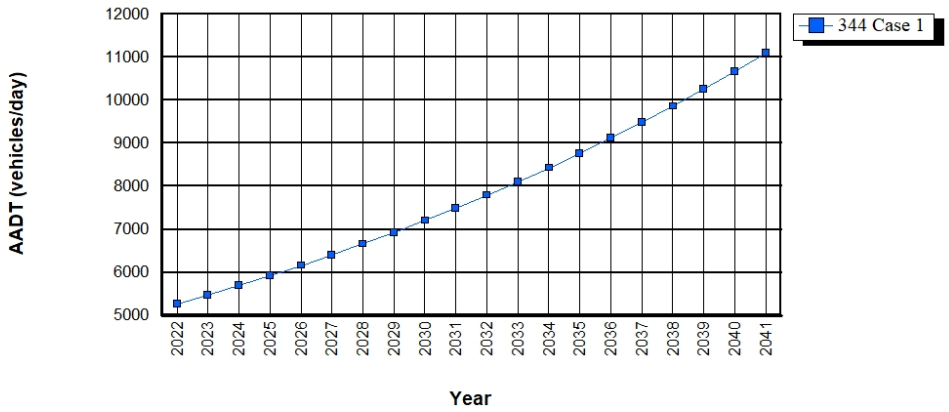
HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

AADT for Project Road Sections (Graph)

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Annual Average Daily Traffic (AADT) for Motorised Vehicles



HDM-4 Version 2.11 Page 1 of 2

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

MT Traffic Volume and Loading

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**

Section: 344 Case 1
Alternative: Maintenance 1
Sensitivity: Base Sensitivity Scenario

Sect ID: C1 Road Class: Primary or Trunk Initial Surface Class: Bituminous
Length: 1.00 km Width: 7.00 m Rise+Fall: 1.00 m/km Curvature: 3.00 deg/km

Year	AADT			Loading				
	Normal (+Diverted) (veh/day)	Generated (veh/day)	Total (veh/day)	Equivalent Standar Axle Load (YE4) (millions/Elanes)	Number of Axles (YAXk) (millions/Elanes)	Heavy Commercia Vehicles (QCV) (veh/Elanes/day)	Equivalent Light Vehicle passes (dNE LV)	Number of Vehicle with studded tyre (PASS)
Full Trailer								
2022	1,312	0	1,312	0.706	0.599	n/a	13,120.00	n/a
2023	1,364	0	1,364	0.735	0.623	n/a	13,644.80	n/a
2024	1,419	0	1,419	0.764	0.647	n/a	14,190.60	n/a
2025	1,476	0	1,476	0.795	0.673	n/a	14,758.20	n/a
2026	1,535	0	1,535	0.826	0.700	n/a	15,348.50	n/a
2027	1,596	0	1,596	0.859	0.728	n/a	15,962.50	n/a
2028	1,660	0	1,660	0.894	0.757	n/a	16,601.00	n/a
2029	1,727	0	1,727	0.930	0.788	n/a	17,265.00	n/a
2030	1,796	0	1,796	0.967	0.819	n/a	17,955.60	n/a
2031	1,867	0	1,867	1.005	0.852	n/a	18,673.90	n/a
2032	1,942	0	1,942	1.046	0.886	n/a	19,420.80	n/a
2033	2,020	0	2,020	1.087	0.922	n/a	20,197.60	n/a
2034	2,101	0	2,101	1.131	0.958	n/a	21,005.50	n/a
2035	2,185	0	2,185	1.176	0.997	n/a	21,845.80	n/a
2036	2,272	0	2,272	1.223	1.037	n/a	22,719.60	n/a
2037	2,363	0	2,363	1.272	1.078	n/a	23,628.40	n/a
2038	2,457	0	2,457	1.323	1.121	n/a	24,573.50	n/a
2039	2,556	0	2,556	1.376	1.166	n/a	25,556.50	n/a
2040	2,658	0	2,658	1.431	1.213	n/a	26,578.70	n/a
2041	2,764	0	2,764	1.488	1.261	n/a	27,641.90	n/a

HDM-4 Version 2.1 Page 1 of 6

H D M - 4 MT Traffic Volume and Loading

Heavy Truck								
2022	1,214	0	1,214	0.174	0.332	n/a	12,140.00	n/a
2023	1,263	0	1,263	0.181	0.346	n/a	12,625.60	n/a
2024	1,313	0	1,313	0.188	0.359	n/a	13,130.60	n/a
2025	1,366	0	1,366	0.196	0.374	n/a	13,655.80	n/a
2026	1,420	0	1,420	0.203	0.389	n/a	14,202.10	n/a
2027	1,477	0	1,477	0.212	0.404	n/a	14,770.20	n/a
2028	1,536	0	1,536	0.220	0.421	n/a	15,361.00	n/a
2029	1,598	0	1,598	0.229	0.437	n/a	15,975.40	n/a
2030	1,661	0	1,661	0.238	0.455	n/a	16,614.40	n/a
2031	1,728	0	1,728	0.248	0.473	n/a	17,279.00	n/a
2032	1,797	0	1,797	0.257	0.492	n/a	17,970.20	n/a
2033	1,869	0	1,869	0.268	0.512	n/a	18,689.00	n/a
2034	1,944	0	1,944	0.278	0.532	n/a	19,436.50	n/a
2035	2,021	0	2,021	0.290	0.553	n/a	20,214.00	n/a
2036	2,102	0	2,102	0.301	0.575	n/a	21,022.60	n/a
2037	2,186	0	2,186	0.313	0.599	n/a	21,863.50	n/a
2038	2,274	0	2,274	0.326	0.622	n/a	22,738.00	n/a
2039	2,365	0	2,365	0.339	0.647	n/a	23,647.50	n/a
2040	2,459	0	2,459	0.352	0.673	n/a	24,593.40	n/a
2041	2,558	0	2,558	0.366	0.700	n/a	25,577.10	n/a
Medium Truck								
2022	1,327	0	1,327	0.125	0.242	n/a	13,270.00	n/a
2023	1,380	0	1,380	0.130	0.252	n/a	13,800.80	n/a
2024	1,435	0	1,435	0.135	0.262	n/a	14,352.80	n/a
2025	1,493	0	1,493	0.140	0.272	n/a	14,926.90	n/a
2026	1,552	0	1,552	0.146	0.283	n/a	15,524.00	n/a
2027	1,615	0	1,615	0.152	0.295	n/a	16,145.00	n/a
2028	1,679	0	1,679	0.158	0.306	n/a	16,790.80	n/a
2029	1,746	0	1,746	0.164	0.319	n/a	17,462.40	n/a
2030	1,816	0	1,816	0.171	0.331	n/a	18,160.90	n/a
2031	1,889	0	1,889	0.178	0.345	n/a	18,887.30	n/a
2032	1,964	0	1,964	0.185	0.358	n/a	19,642.80	n/a
2033	2,043	0	2,043	0.192	0.373	n/a	20,428.60	n/a
2034	2,125	0	2,125	0.200	0.388	n/a	21,245.70	n/a
2035	2,210	0	2,210	0.208	0.403	n/a	22,095.50	n/a

H D M - 4 MT Traffic Volume and Loading

2036	2,298	0	2,298	0.216	0.419	n/a	22,979.30	n/a
2037	2,390	0	2,390	0.225	0.436	n/a	23,898.50	n/a
2038	2,485	0	2,485	0.234	0.454	n/a	24,854.50	n/a
2039	2,585	0	2,585	0.243	0.472	n/a	25,848.60	n/a
2040	2,688	0	2,688	0.253	0.491	n/a	26,882.60	n/a
2041	2,796	0	2,796	0.263	0.510	n/a	27,957.90	n/a
Semi Trailer								
2022	1,412	0	1,412	0.378	0.515	n/a	14,120.00	n/a
2023	1,468	0	1,468	0.393	0.536	n/a	14,684.80	n/a
2024	1,527	0	1,527	0.408	0.557	n/a	15,272.20	n/a
2025	1,588	0	1,588	0.425	0.580	n/a	15,883.10	n/a
2026	1,652	0	1,652	0.442	0.603	n/a	16,518.40	n/a
2027	1,718	0	1,718	0.459	0.627	n/a	17,179.10	n/a
2028	1,787	0	1,787	0.478	0.652	n/a	17,866.30	n/a
2029	1,858	0	1,858	0.497	0.678	n/a	18,581.00	n/a
2030	1,932	0	1,932	0.517	0.705	n/a	19,324.20	n/a
2031	2,010	0	2,010	0.537	0.734	n/a	20,097.20	n/a
2032	2,090	0	2,090	0.559	0.763	n/a	20,901.00	n/a
2033	2,174	0	2,174	0.581	0.793	n/a	21,737.10	n/a
2034	2,261	0	2,261	0.604	0.825	n/a	22,606.60	n/a
2035	2,351	0	2,351	0.629	0.858	n/a	23,510.80	n/a
2036	2,445	0	2,445	0.654	0.892	n/a	24,451.30	n/a
2037	2,543	0	2,543	0.680	0.928	n/a	25,429.30	n/a
2038	2,645	0	2,645	0.707	0.965	n/a	26,446.50	n/a
2039	2,750	0	2,750	0.735	1.004	n/a	27,504.40	n/a
2040	2,860	0	2,860	0.765	1.044	n/a	28,604.50	n/a
2041	2,975	0	2,975	0.795	1.086	n/a	29,748.70	n/a

HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Economic Analysis Summary

Study Name: **Final Thesis**
Run Date: **11-07-2023**
Currency: **US Dollar (millions)**
Discount: **3.00%**
Analysis Mode: **Analysis-by-Project**

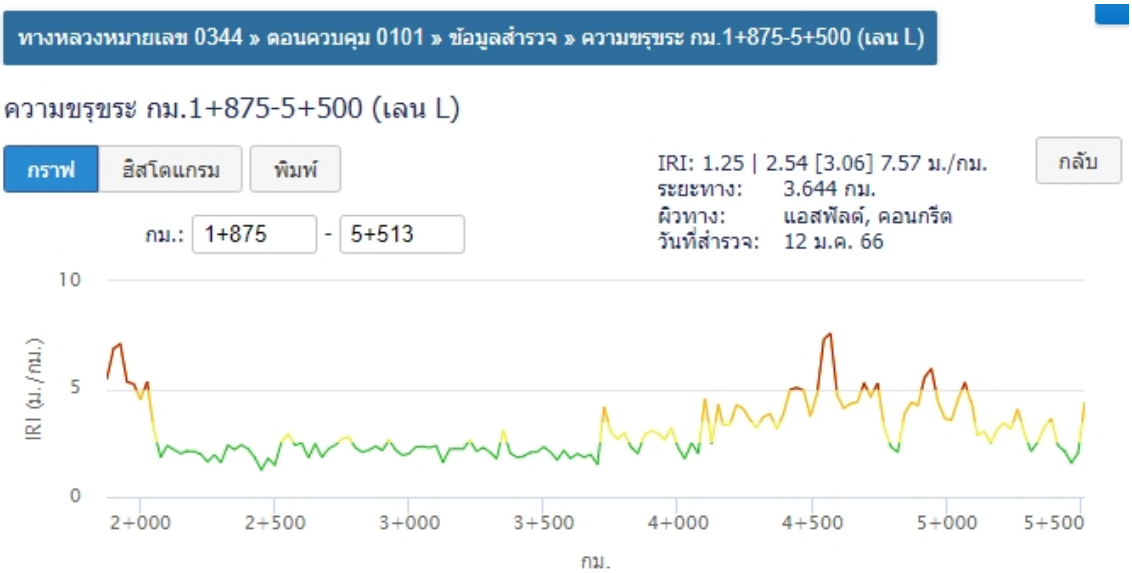
Alternative: Maintenance 1 vs Alternative: Not Maintenance
Sensitivity Scenario: Base Sensitivity Scenario

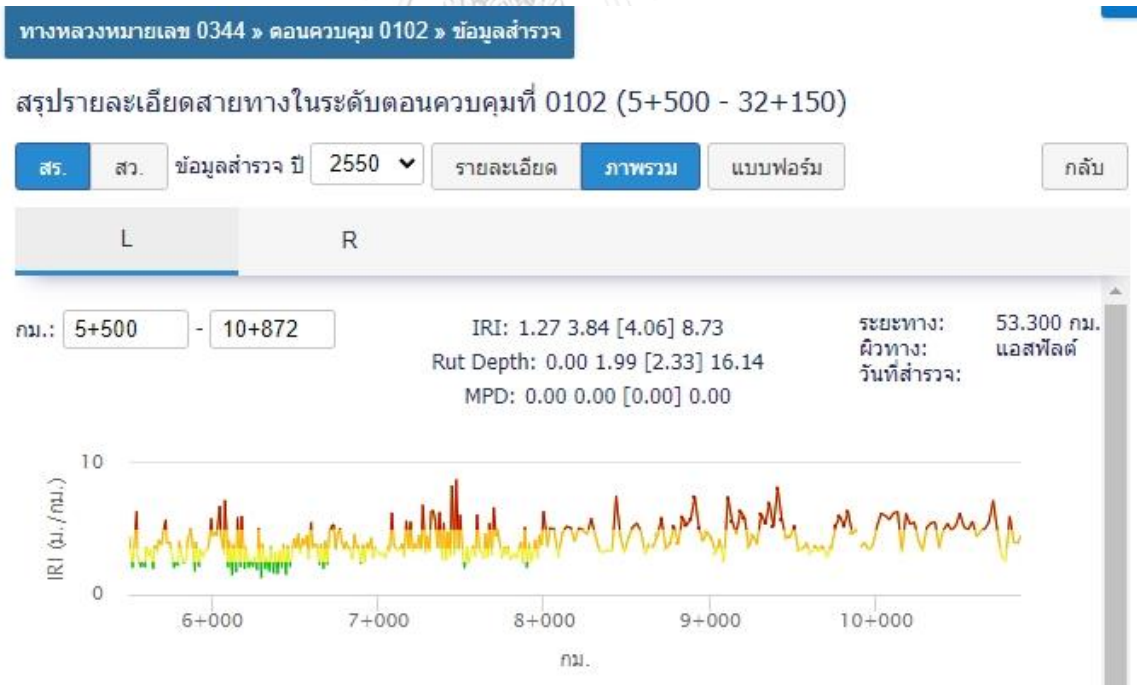
	Increase in Road Agency Costs			Savings in M VOC	Savings in M Travel Tim Costs	Savings i NMT Trav & Operating Costs	Reductio in Acciden Costs	Ne Social Exogenou Benefit	Ne Economi Benefit (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.26
Discounted	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18

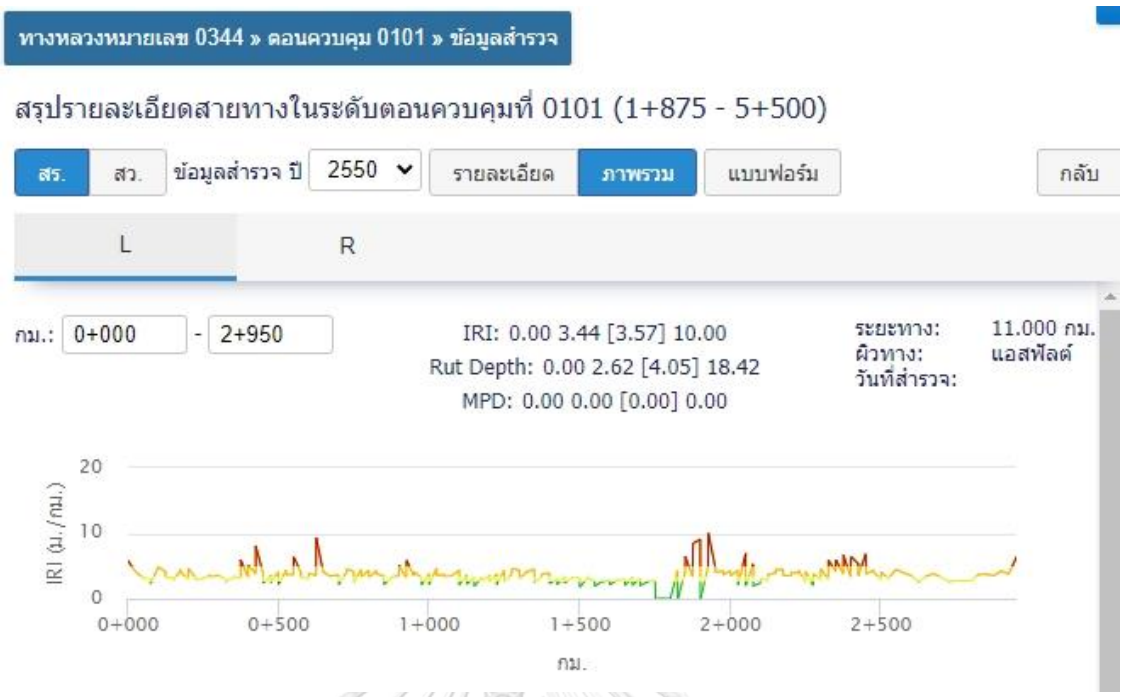
No IRR solutions

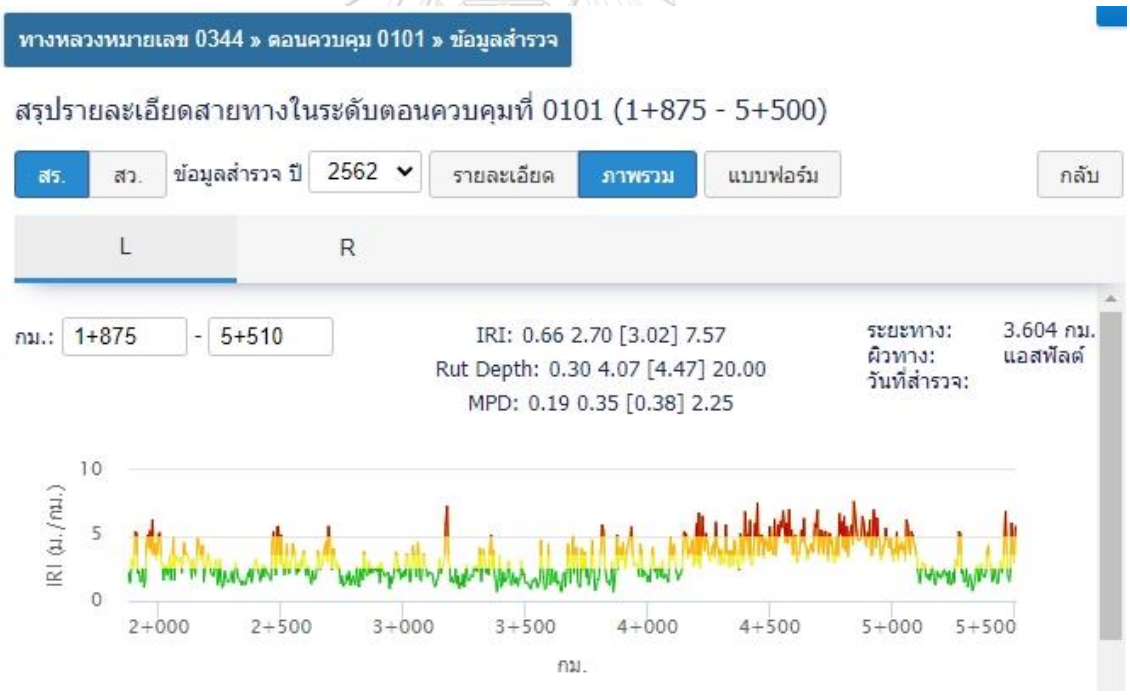
ภาคผนวก ข

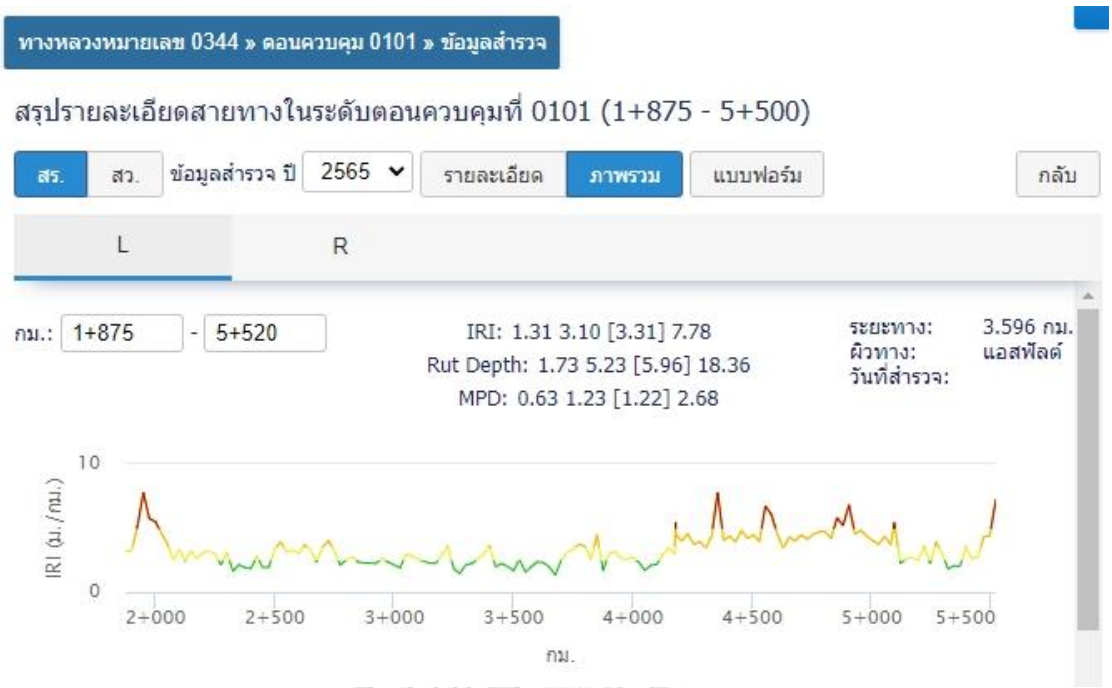
(ข้อมูลค่า IRI ทางหลวงสาย 344 ชลบุรี-แกลง ตั้งแต่ปี 2555 - 2566)

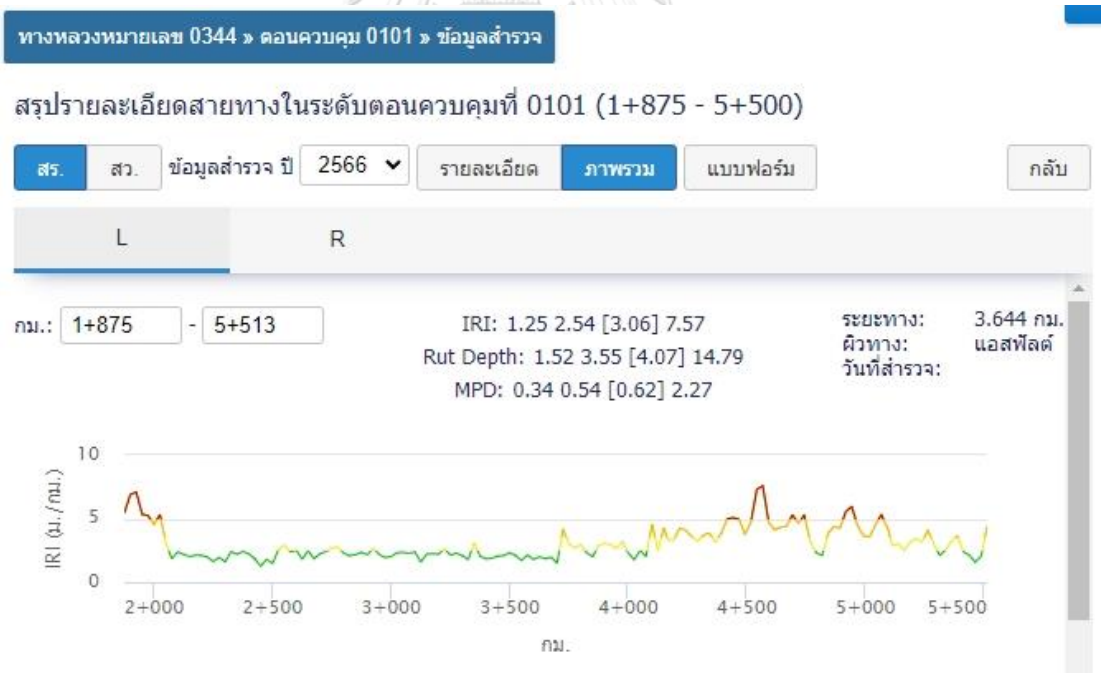


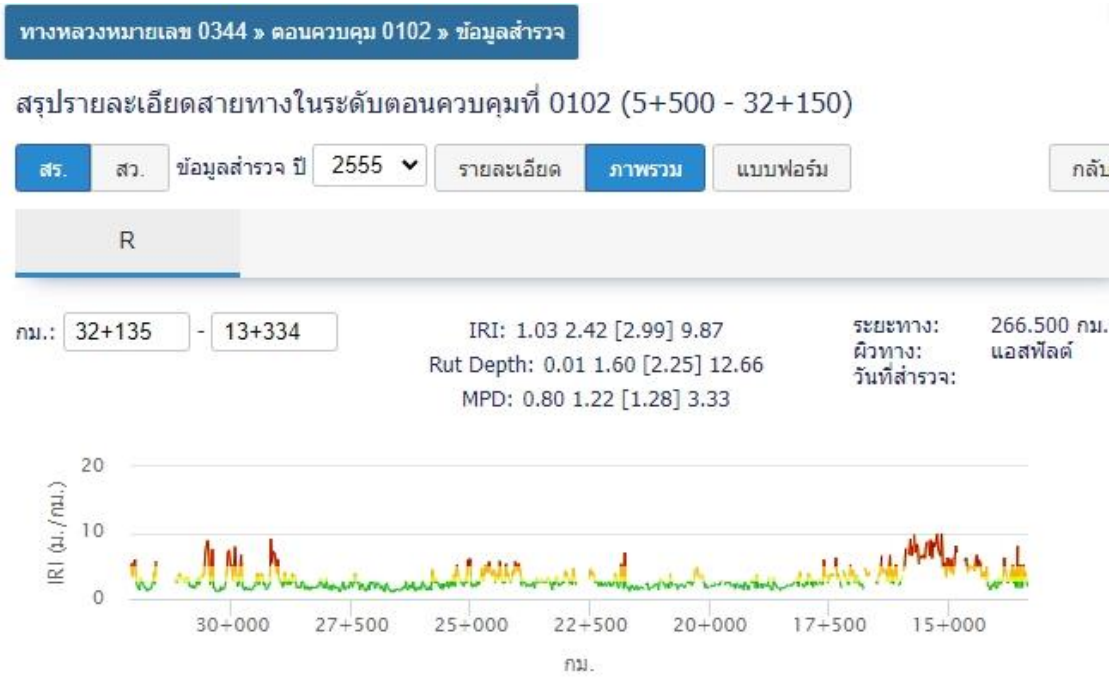



ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0101 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0101 (1+875 - 5+500)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2550
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
L
R
กม.: 0+000 - 2+950
IRI: 0.00 3.44 [3.57] 10.00
Rut Depth: 0.00 2.62 [4.05] 18.42
MPD: 0.00 0.00 [0.00] 0.00
ระยะทาง: 11.000 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
20
10
0
0+000
0+500
1+000
1+500
2+000
2+500
กม.

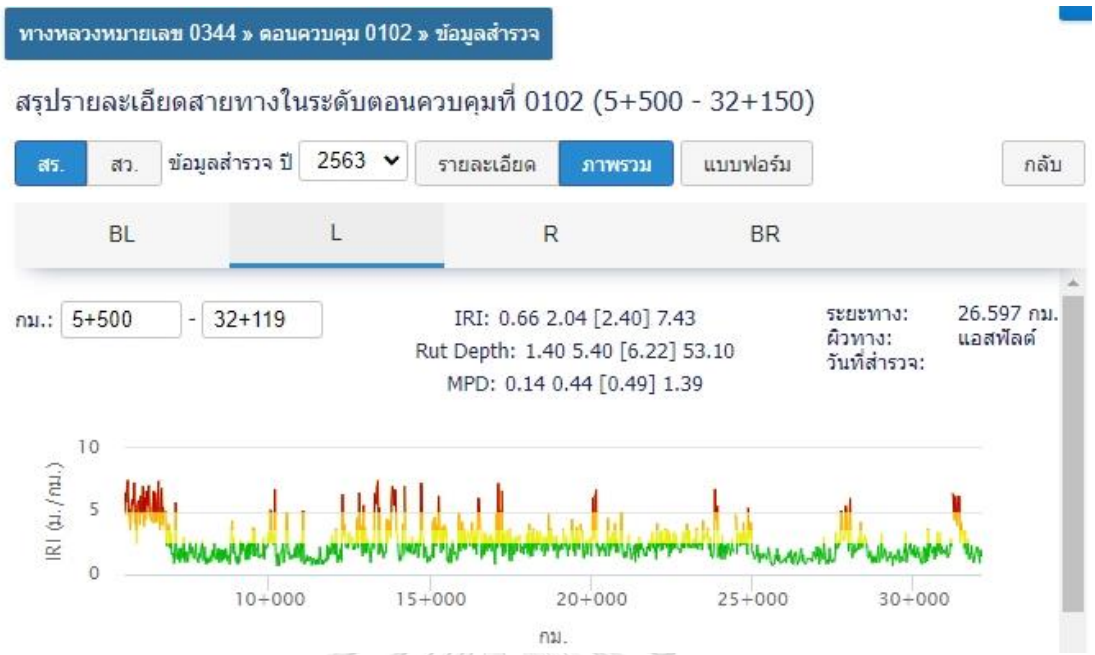

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0101 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0101 (1+875 - 5+500)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2562
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
L
R
กม.: 1+875 - 5+510
IRI: 0.66 2.70 [3.02] 7.57
Rut Depth: 0.30 4.07 [4.47] 20.00
MPD: 0.19 0.35 [0.38] 2.25
ระยะทาง: 3.604 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
5
0
2+000
2+500
3+000
3+500
4+000
4+500
5+000
5+500
กม.

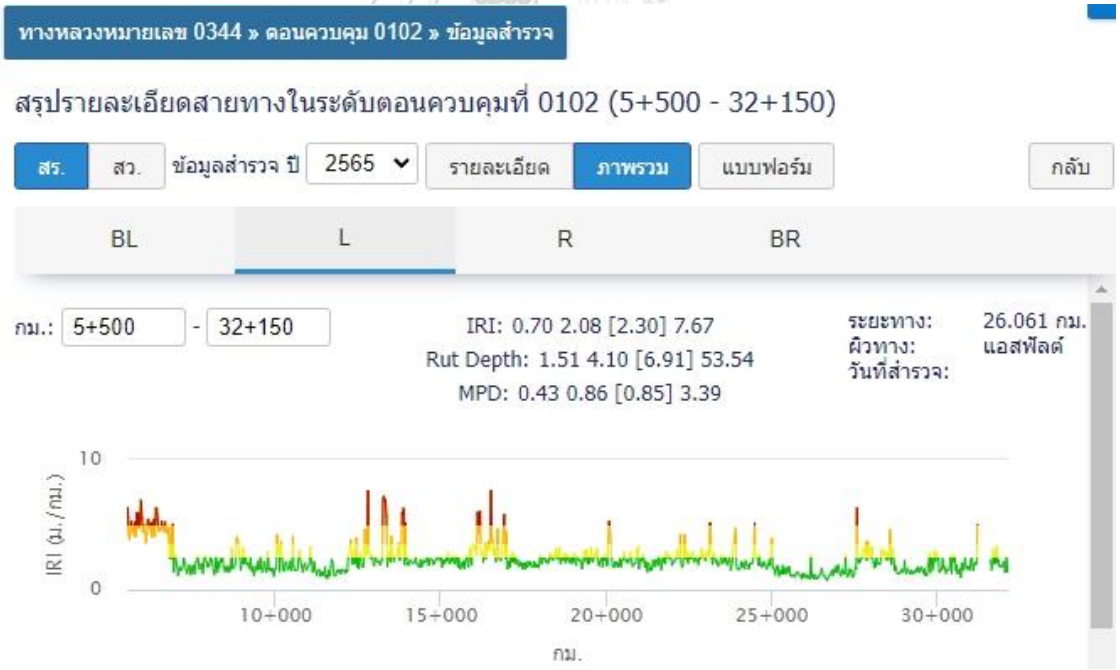

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0101 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0101 (1+875 - 5+500)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2565
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
L
R
กม.: 1+875 - 5+520
IRI: 1.31 3.10 [3.31] 7.78
Rut Depth: 1.73 5.23 [5.96] 18.36
MPD: 0.63 1.23 [1.22] 2.68
ระยะทาง: 3.596 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
0
2+000
2+500
3+000
3+500
4+000
4+500
5+000
5+500
กม.

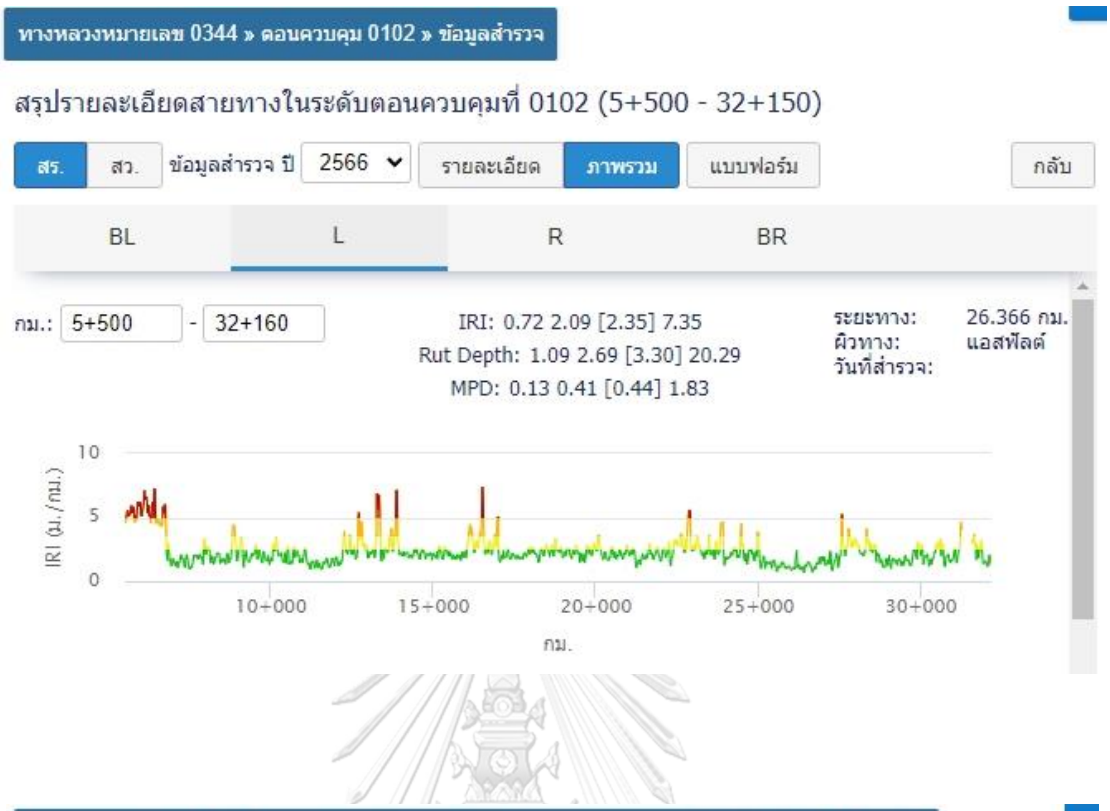

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0101 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0101 (1+875 - 5+500)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2566
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
L
R
กม.: 1+875 - 5+513
IRI: 1.25 2.54 [3.06] 7.57
Rut Depth: 1.52 3.55 [4.07] 14.79
MPD: 0.34 0.54 [0.62] 2.27
ระยะทาง: 3.644 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
5
0
2+000
2+500
3+000
3+500
4+000
4+500
5+000
5+500
กม.

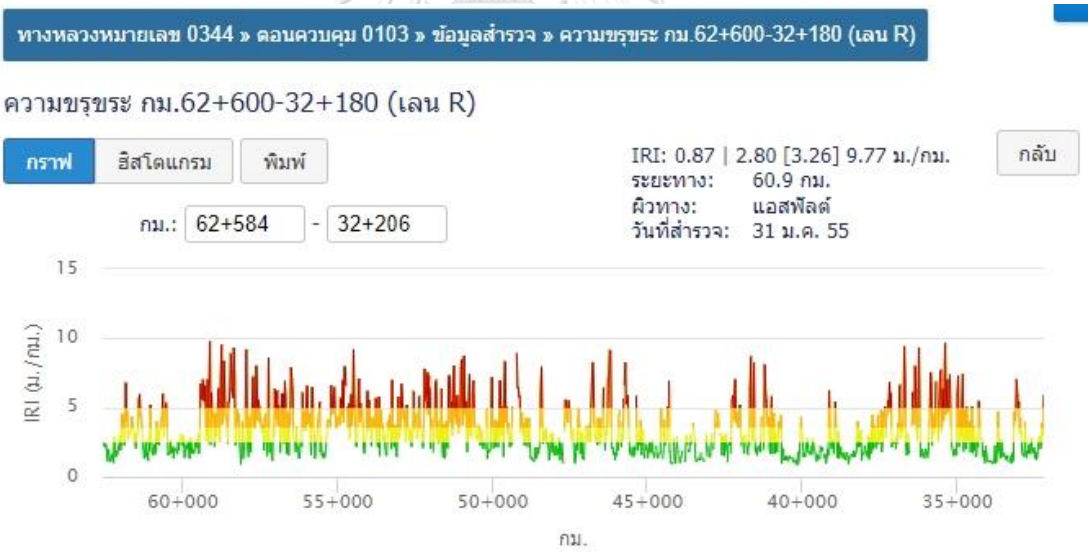

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0102 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0102 (5+500 - 32+150)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2555
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
R
กม.:
32+135
13+334
IRI: 1.03 2.42 [2.99] 9.87
Rut Depth: 0.01 1.60 [2.25] 12.66
MPD: 0.80 1.22 [1.28] 3.33
ระยะทาง:
266.500 กม.
ผิวทาง:
แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
20
10
0
30+000
27+500
25+000
22+500
20+000
17+500
15+000
กม.

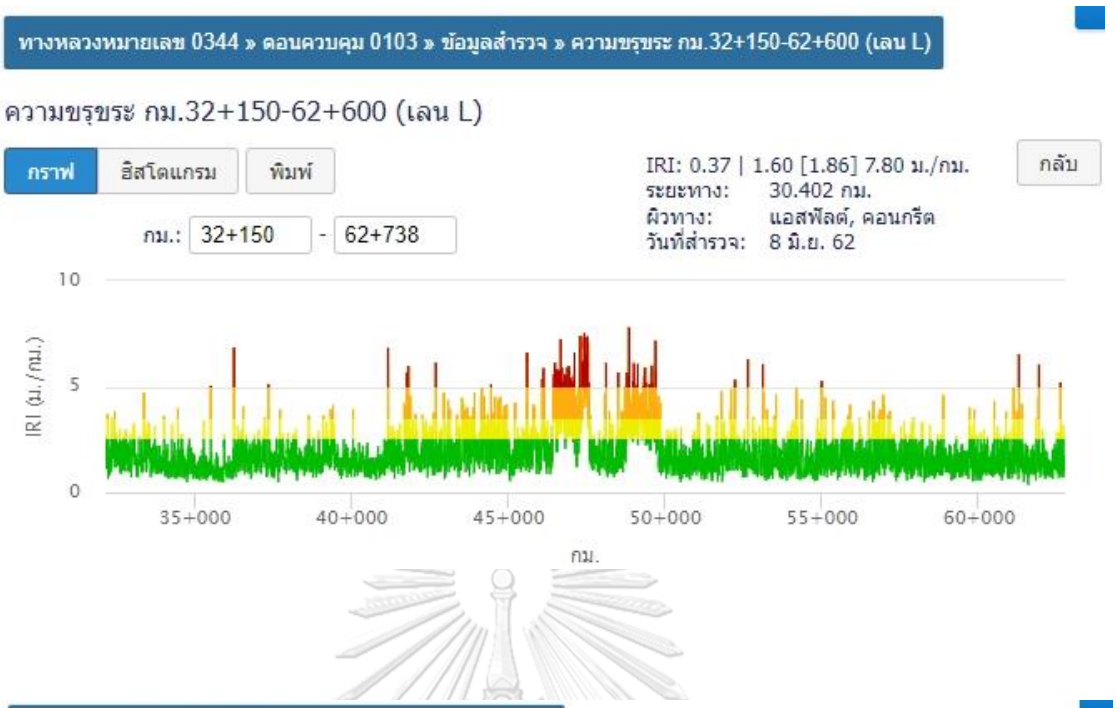
ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0102 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0102 (5+500 - 32+150)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2562
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
L
R
กม.:
5+500
32+277
IRI: 0.49 2.02 [2.39] 7.73
Rut Depth: 0.12 4.95 [8.44] 56.99
MPD: 0.12 0.30 [0.32] 1.64
ระยะทาง:
26.607 กม.
ผิวทาง:
แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
0
10+000
15+000
20+000
25+000
30+000
กม.

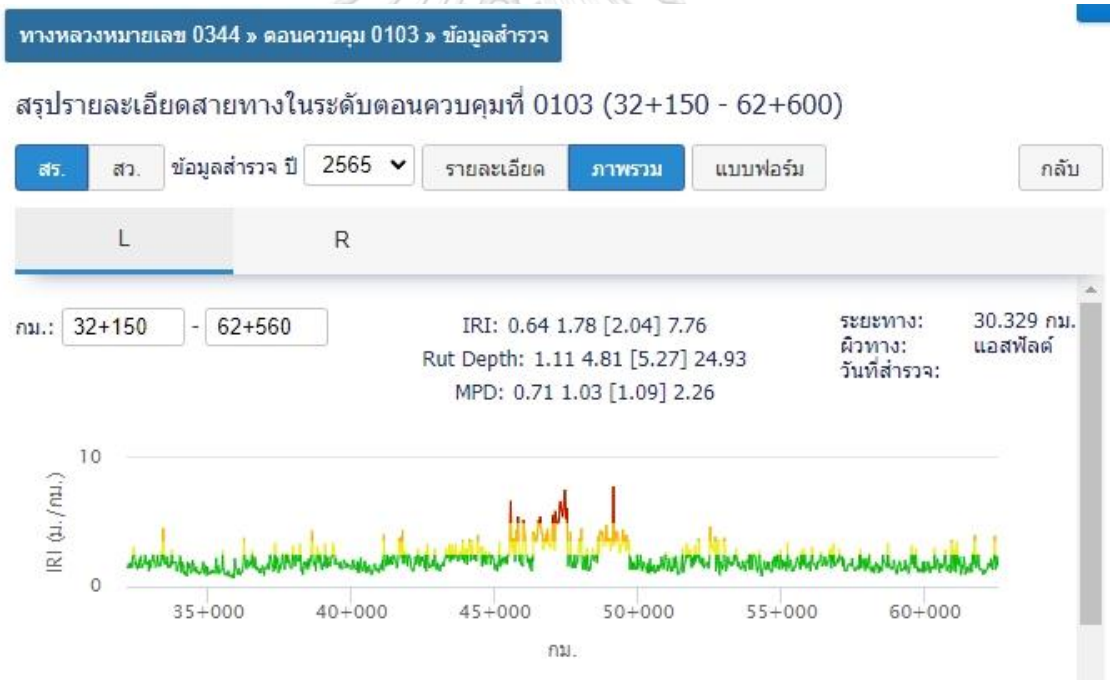

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0102 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0102 (5+500 - 32+150)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2563
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
BL
L
R
BR
กม.: 5+500 - 32+119
IRI: 0.66 2.04 [2.40] 7.43
Rut Depth: 1.40 5.40 [6.22] 53.10
MPD: 0.14 0.44 [0.49] 1.39
ระยะทาง: 26.597 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
5
0
10+000
15+000
20+000
25+000
30+000
กม.

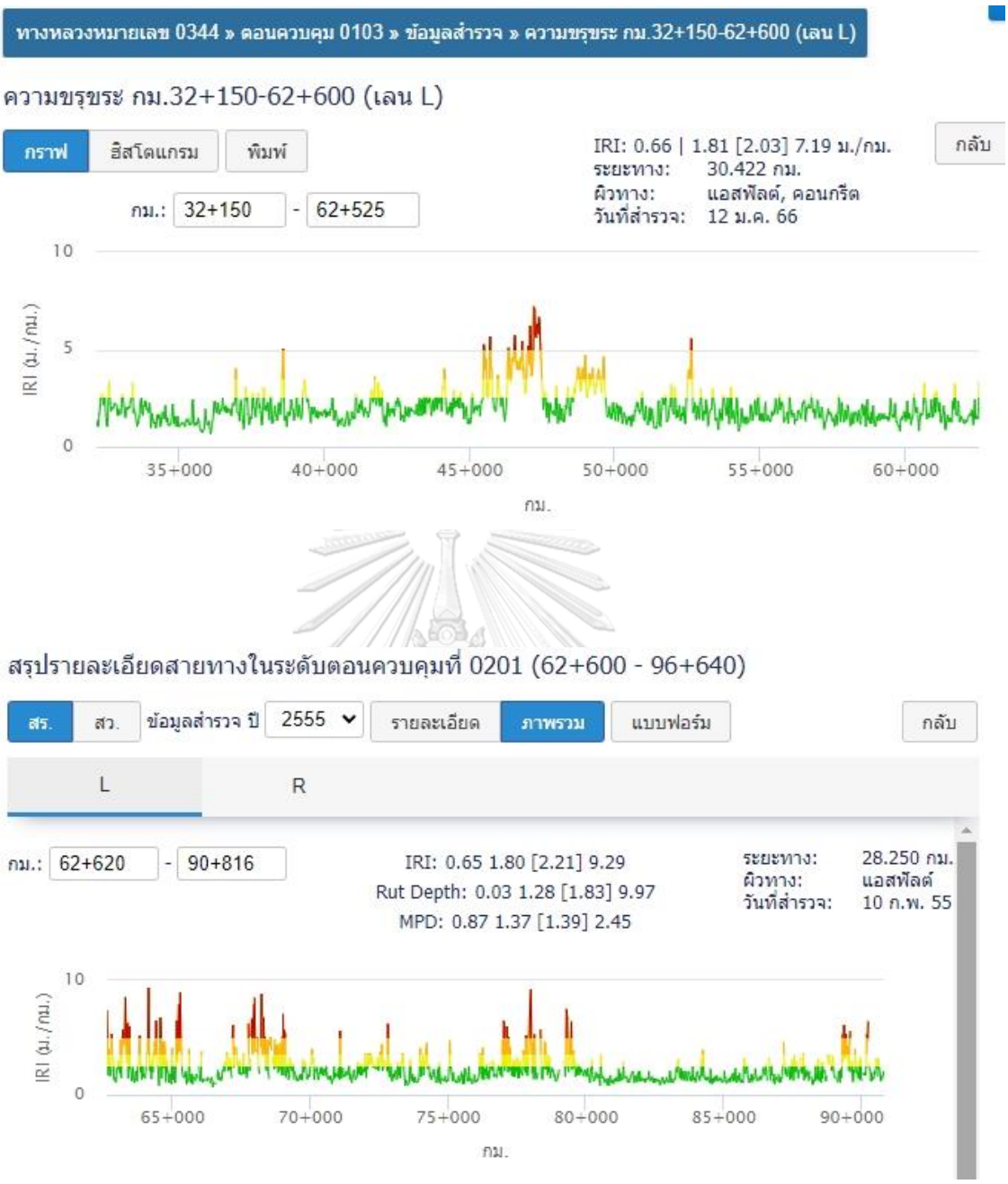

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0102 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0102 (5+500 - 32+150)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2565
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
BL
L
R
BR
กม.: 5+500 - 32+150
IRI: 0.70 2.08 [2.30] 7.67
Rut Depth: 1.51 4.10 [6.91] 53.54
MPD: 0.43 0.86 [0.85] 3.39
ระยะทาง: 26.061 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
0
10+000
15+000
20+000
25+000
30+000
กม.

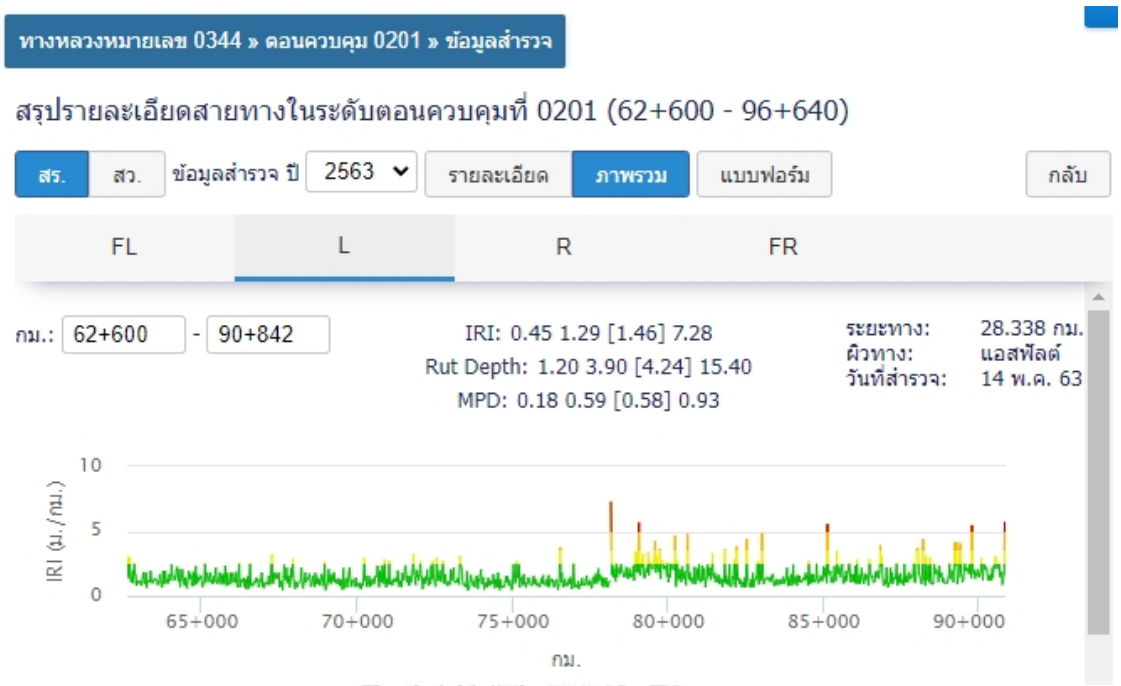

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0102 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0102 (5+500 - 32+150)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2566
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
BL
L
R
BR
กม.: 5+500 - 32+160
IRI: 0.72 2.09 [2.35] 7.35
Rut Depth: 1.09 2.69 [3.30] 20.29
MPD: 0.13 0.41 [0.44] 1.83
ระยะทาง: 26.366 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
5
0
10+000
15+000
20+000
25+000
30+000
กม.

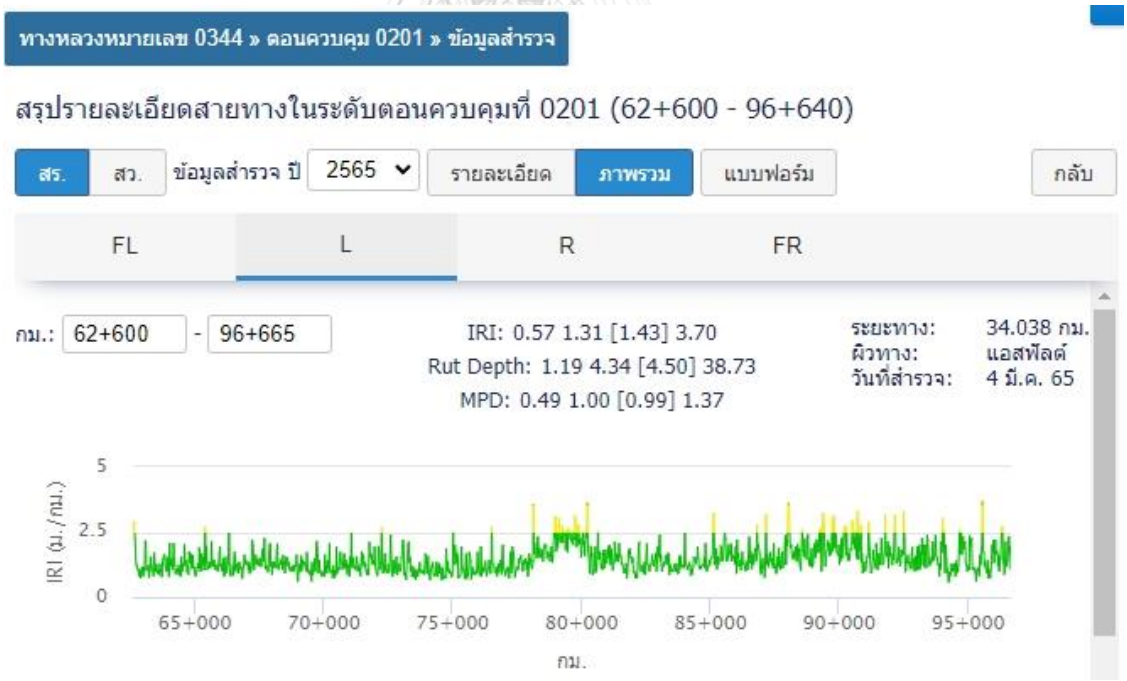

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0103 » ข้อมูลสำรวจ » ความขรุขระ กม.62+600-32+180 (เลน R)
ความขรุขระ กม.62+600-32+180 (เลน R)
กราฟ
ฮิสโตแกรม
พิมพ์
กลับ
IRI: 0.87 | 2.80 [3.26] 9.77 ม./กม.
ระยะทาง: 60.9 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ: 31 ม.ค. 55
กม.: 62+584 - 32+206
IRI (ม./กม.)
15
10
5
0
60+000
55+000
50+000
45+000
40+000
35+000
กม.

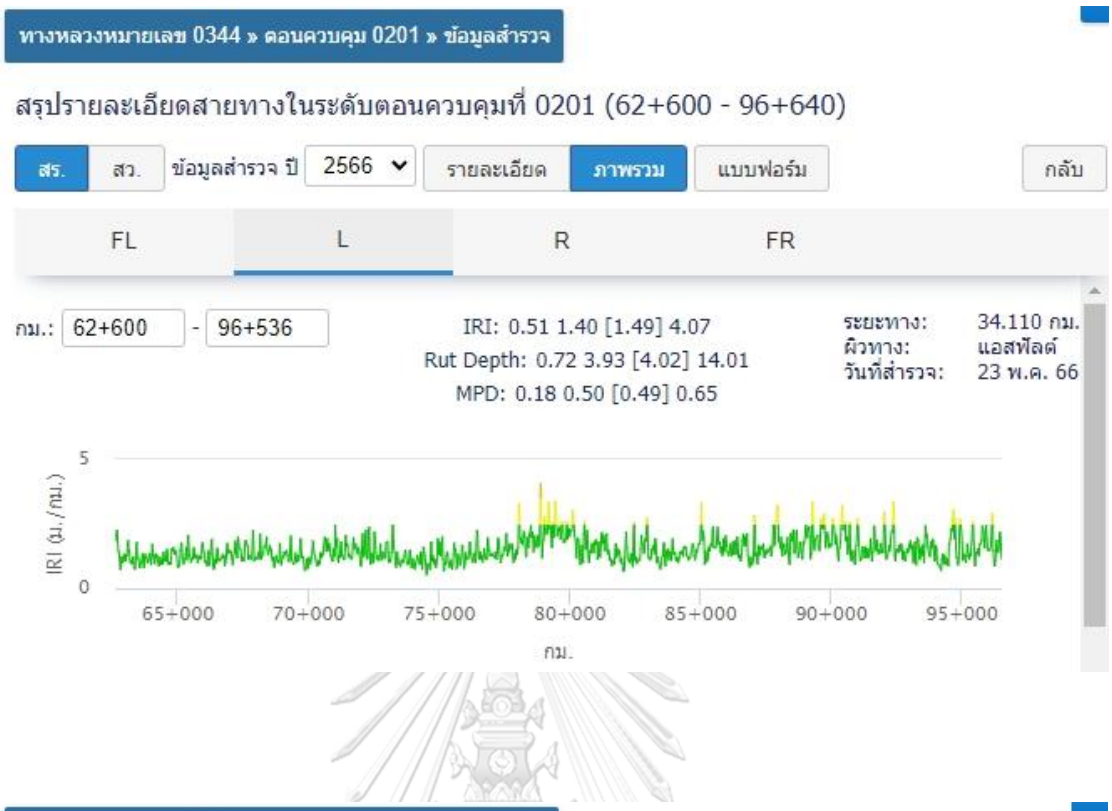

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0103 » ข้อมูลสำรวจ » ความขรุขระ กม.32+150-62+600 (เลน L)
ความขรุขระ กม.32+150-62+600 (เลน L)
กราฟ
ฮิสโตแกรม
พิมพ์
กลับ
IRI: 0.37 | 1.60 [1.86] 7.80 ม./กม.
ระยะทาง: 30.402 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์, คอนกรีต
วันที่สำรวจ: 8 มิ.ย. 62
กม.: 32+150 - 62+738
IRI (ม./กม.)
10
5
0
35+000
40+000
45+000
50+000
55+000
60+000
กม.

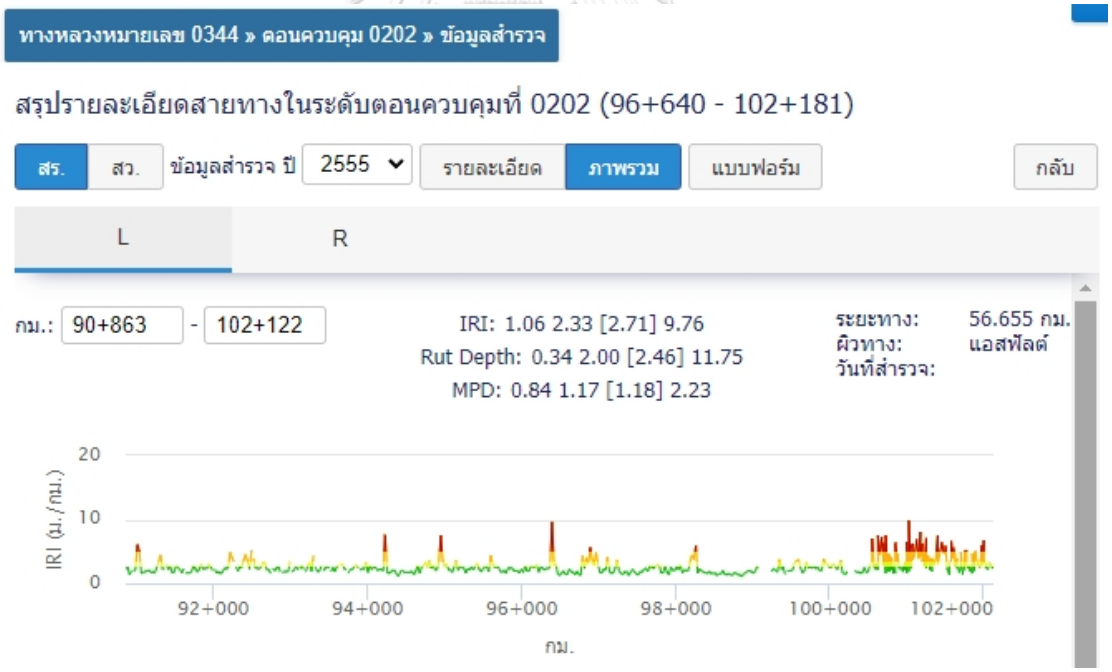

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0103 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0103 (32+150 - 62+600)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2565
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
L
R
กม.: 32+150 - 62+560
IRI: 0.64 1.78 [2.04] 7.76
Rut Depth: 1.11 4.81 [5.27] 24.93
MPD: 0.71 1.03 [1.09] 2.26
ระยะทาง: 30.329 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
0
35+000
40+000
45+000
50+000
55+000
60+000
กม.

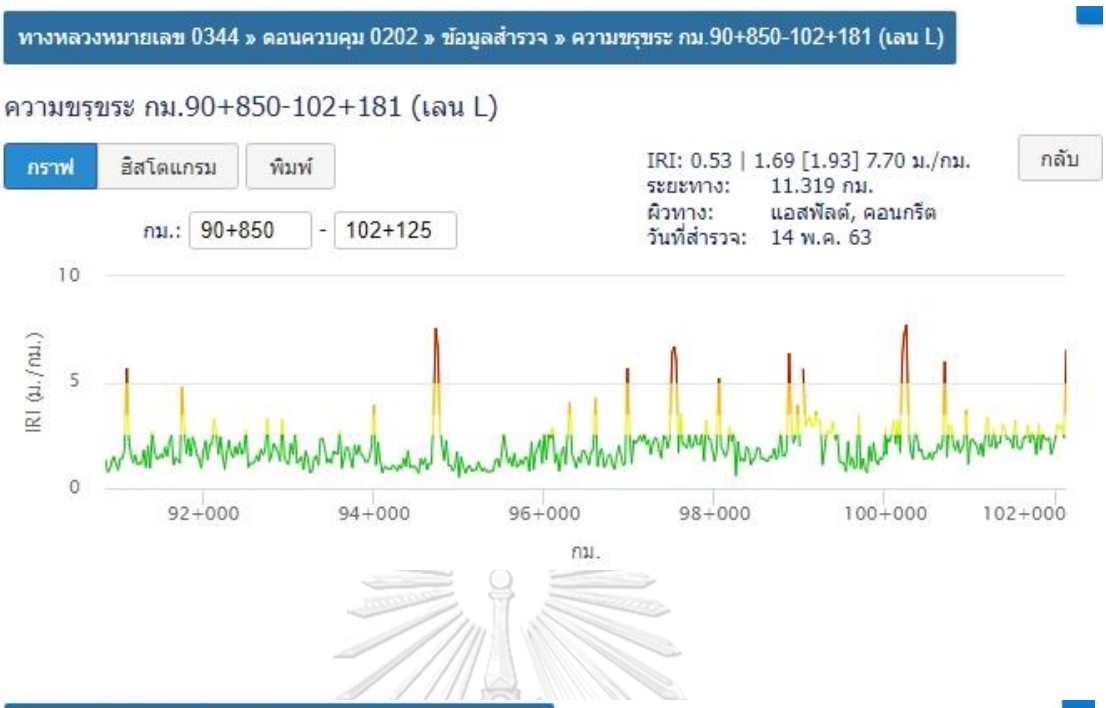

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0103 » ข้อมูลสำรวจ » ความขรุขระ กม.32+150-62+600 (เลน L)
ความขรุขระ กม.32+150-62+600 (เลน L)
กราฟ
ฮิสโตแกรม
พิมพ์
IRI: 0.66 | 1.81 [2.03] 7.19 ม./กม.
ระยะทาง: 30.422 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์, คอนกรีต
วันที่สำรวจ: 12 ม.ค. 66
กลับ
กม.: 32+150 - 62+525
IRI (ม./กม.)
10
5
0
35+000
40+000
45+000
50+000
55+000
60+000
กม.
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0201 (62+600 - 96+640)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี 2555
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
L
R
กม.: 62+620 - 90+816
IRI: 0.65 1.80 [2.21] 9.29
Rut Depth: 0.03 1.28 [1.83] 9.97
MPD: 0.87 1.37 [1.39] 2.45
ระยะทาง: 28.250 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ: 10 ก.พ. 55
IRI (ม./กม.)
10
0
65+000
70+000
75+000
80+000
85+000
90+000
กม.

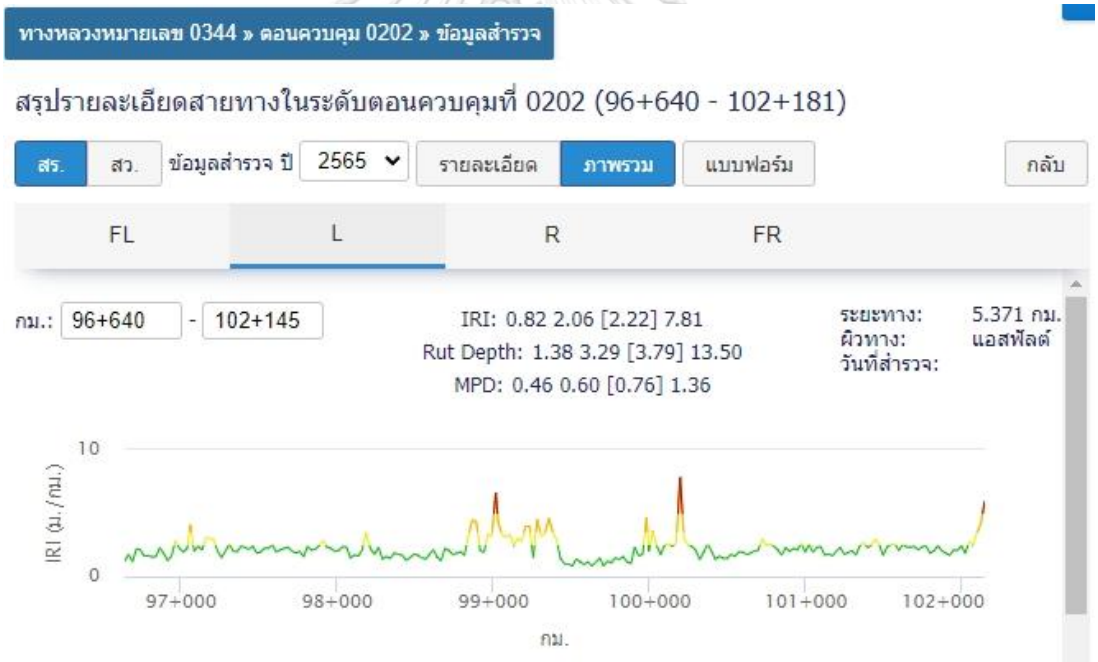

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0201 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0201 (62+600 - 96+640)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2563
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
FL
L
R
FR
กม.: 62+600 - 90+842
IRI: 0.45 1.29 [1.46] 7.28
Rut Depth: 1.20 3.90 [4.24] 15.40
MPD: 0.18 0.59 [0.58] 0.93
ระยะทาง: 28.338 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ: 14 พ.ค. 63
IRI (ม./กม.)
10
5
0
65+000
70+000
75+000
80+000
85+000
90+000
กม.

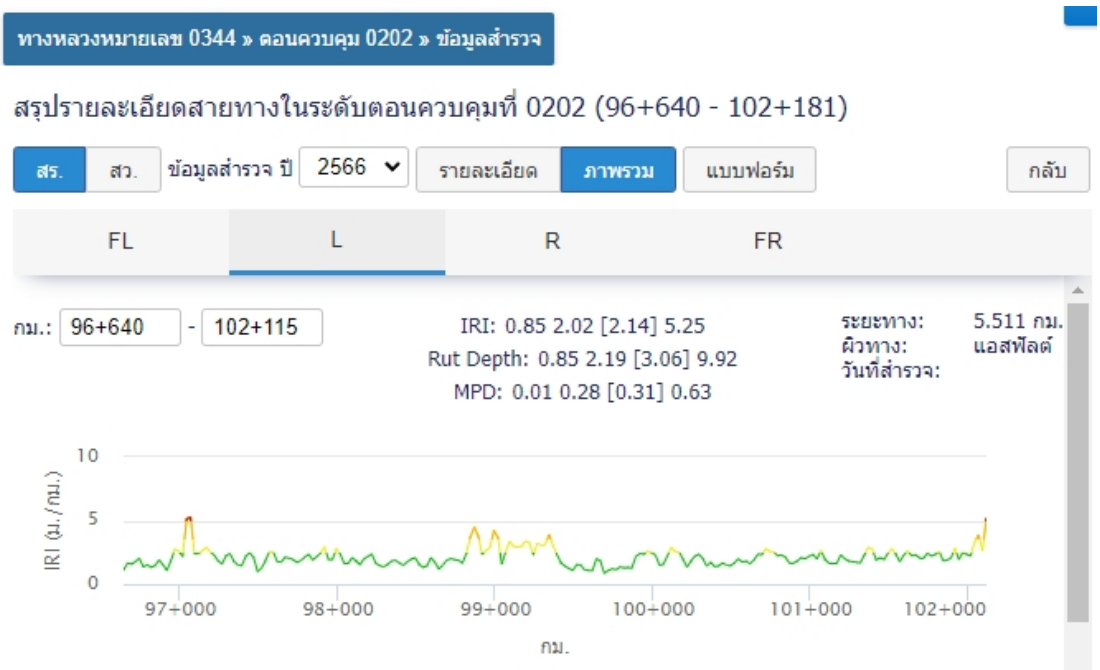

ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0201 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0201 (62+600 - 96+640)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2565
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
FL
L
R
FR
กม.: 62+600 - 96+665
IRI: 0.57 1.31 [1.43] 3.70
Rut Depth: 1.19 4.34 [4.50] 38.73
MPD: 0.49 1.00 [0.99] 1.37
ระยะทาง: 34.038 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ: 4 มี.ค. 65
IRI (ม./กม.)
5
2.5
0
65+000
70+000
75+000
80+000
85+000
90+000
95+000
กม.


ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0201 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0201 (62+600 - 96+640)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2566
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
FL
L
R
FR
กม.: 62+600 - 96+536
IRI: 0.51 1.40 [1.49] 4.07
Rut Depth: 0.72 3.93 [4.02] 14.01
MPD: 0.18 0.50 [0.49] 0.65
ระยะทาง: 34.110 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ: 23 พ.ค. 66
IRI (ม./กม.)
5
0
65+000
70+000
75+000
80+000
85+000
90+000
95+000
กม.


ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0202 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0202 (96+640 - 102+181)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี
2555
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
L
R
กม.: 90+863 - 102+122
IRI: 1.06 2.33 [2.71] 9.76
Rut Depth: 0.34 2.00 [2.46] 11.75
MPD: 0.84 1.17 [1.18] 2.23
ระยะทาง: 56.655 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
20
10
0
92+000
94+000
96+000
98+000
100+000
102+000
กม.


ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0202 » ข้อมูลสำรวจ » ความขรุขระ กม.90+850-102+181 (เลน L)
ความขรุขระ กม.90+850-102+181 (เลน L)
กราฟ
ฮิสโตแกรม
พิมพ์
กลับ
IRI: 0.53 | 1.69 [1.93] 7.70 ม./กม.
ระยะทาง: 11.319 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์, คอนกรีต
วันที่สำรวจ: 14 พ.ค. 63
กม.: 90+850 - 102+125
IRI (ม./กม.)
10
5
0
92+000
94+000
96+000
98+000
100+000
102+000
กม.


ทางหลวงหมายเลข 0344 » ตอนควบคุม 0202 » ข้อมูลสำรวจ
สรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุมที่ 0202 (96+640 - 102+181)
สร.
สว.
ข้อมูลสำรวจ ปี 2565
รายละเอียด
ภาพรวม
แบบฟอร์ม
กลับ
FL
L
R
FR
กม.: 96+640 - 102+145
IRI: 0.82 2.06 [2.22] 7.81
Rut Depth: 1.38 3.29 [3.79] 13.50
MPD: 0.46 0.60 [0.76] 1.36
ระยะทาง: 5.371 กม.
ผิวทาง: แอสฟัลต์
วันที่สำรวจ:
IRI (ม./กม.)
10
0
97+000
98+000
99+000
100+000
101+000
102+000
กม.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

Abdelazim, Shady, M El-Hakim, K Hossain, and M Volovski. "Pavement Damage Costs by Truck Class and Economy of Scale Relative to Increased Loading." *International Journal of Pavement Engineering* (2020): 1-11.

Anand, Sanchit, Arun Gaur, Vaishnavi Singh, and Abhinav Sharma. "Pavement Deterioration Analysis for Rural Roads Using Hdm-4." Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021.

Banerjee, Ambarish, and Jorge A Prozzi. "Practical Approach for Determining Permit Fees for Overweight Trucks." *Transportation Research Record* 2478, no. 1 (2015): 93-102.

Beuthe, Michel, Fabrice Degrandsart, Jean-Francois Geerts, and Bart Jourquin. "External Costs of the Belgian Interurban Freight Traffic: A Network Analysis of Their Internalisation." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 7, no. 4 (2002): 285-301.

Conway, Alison, and C Michael Walton. "Analysis and Cost-Recovery Optimization Methodology for a Fixed-Class Truck Tolling Structure." *Transportation Research Record* 2066, no. 1 (2008): 90-97.

Dehghan-Niri, Ehsan, Douglas D Cortes, Sina Zamen, Fernando Alvidrez, and David Jauregui. "Simplified Comparison of Oversize and Overweight Vehicles Permit Fee Structure in the Us Western States." *Transportation Research Record* 2674, no. 10 (2020): 963-88.

Forkenbrock, David J. "External Costs of Intercity Truck Freight Transportation." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 33, no. 7-8 (1999): 505-26.

Gungor, Osman Erman, Antoine Michel Alain Petit, Junjie Qiu, Jingnan Zhao, Hadi Meidani, Hao Wang, Yanfeng Ouyang, Imad L Al-Qadi, and Justan Mann. "Development of an Overweight Vehicle Permit Fee Structure for Illinois." *Transport Policy* 82 (2019): 26-35.

Luskin, David, and C Michael Walton. *Effects of Truck Size and Weights on Highway Infrastructure and Operations: A Synthesis Report.* Vol. 2122: Center for

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Transportation Research, Bureau of Engineering Research ..., 2001.

Prozzi, Jolanda, M Murphy, L Loftus-Otway, A Banerjee, M Kim, Han Wu, JP Prozzi*, et al. Oversize/Overweight Vehicle Permit Fee Study.* (2012).

Sahin, Bahri, Huseyin Yilmaz, Yasin Ust, Ali Fuat Guneri, and Bahadır Gulsun. "An Approach for Analysing Transportation Costs and a Case Study." *European Journal of Operational Research* 193, no. 1 (2009): 1-11.

Schaefer, Ron, and Steven Todd. *Best Practices in Permitting of Oversize and Overweight Vehicles-Final Report.* United States. Federal Highway Administration (2018).

Tirado, Cesar, Cesar Carrasco, Jose M Mares, Nasir Gharaibeh, Soheil Nazarian, and Julian Bendaña. "Process to Estimate Permit Costs for Movement of Heavy Trucks on Flexible Pavements." *Transportation research record* 2154, no. 1 (2010): 187-96.

Wang, Jian, Xiaowei Hu, and Cuixia Li. "Optimization of the Freeway Truck Toll by Weight Policy, Including External Environmental Costs." *Journal of Cleaner Production* 184 (2018): 220-26.

Yogesh, U Shah, SS Jain, and Tiwari Devesh. "Adaptation of Hdm-4 Tool for Strategic Analysis of Urban Roads Network." *Transportation Research Procedia* 17 (2016): 71-80.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภาณุพงศ์ เย็นฉ่ำ
วัน เดือน ปี เกิด	12 กรกฎาคม 2534
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลแกลง
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมต้นและปลายจากโรงเรียนแกลง"วิทยสถาวร" สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา
ที่อยู่ปัจจุบัน	533/86 Bliz Condominium พระราม 9 - หัวหมาก ถ. พัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY