# การศึกษาเปรียบเทียบการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษระหว่างการใช้ทางยกระดับ และถนนพื้นราบ โดยการใช้กล้องบันทึกภาพหน้ารถยนต์ชนิดบันทึกพิกัดโลก

# A Comparative Study Fuel Consumption and Emission Estimation on Elevated and at grade Road using Global Positioning System (GPS)

**วิทวงศ์ กาญจนชมภู[1] นครินทร์ ผอมจีน[2] ดร.เอกรินทร์ เหลืองวิลัย[3] และดร.ศักดิ์ดา พรรณไวย[4]**

*[1,2] ฝ่ายอำนวยความสะดวกและจัดการจราจร บริษัท ทางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ*

*[3] ฝ่ายวิจัยและพัฒนา-กลุ่มงานธุรกิจใหม่ บริษัท ทางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ*

*[4]กรรมการผู้จัดการ บริษัท ทางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ*

**Corresponding author; E-mail address: wittawong.g@tollway.co.th*

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อเปรียบเทียบการประเมินปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง/การปล่อยมลพิษทางอากาศ และระยะเวลาการเดินทาง ระหว่างการใช้เส้นทางยกระดับกับถนนพื้นราบ ที่บริเวณจุดต้นทางปลายทางเดียวกัน แต่การวัดปริมาณการใช้น้ำมันโดยตรงทำได้ยาก ซึ่งปัจจุบันกล้องที่ติดตั้งหน้ารถยนต์ สามารถบันทึกข้อมูล เวลา ความเร็วในการเดินทาง (Speed Trajectorial Data) รวมถึงตำแหน่ง ที่มีการบันทึกข้อมูลที่มีความละเอียดเพียงพอ หาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง จึงได้นำข้อมูลที่ได้จากกล้องหน้ารถยนต์มาคำนวณโดยใช้ Power Based-Motor Vehicle Model ในการประมาณหาปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และมลพิษทางอากาศ (CO, $CO_2$, HC, NOx) จากนั้นนำข้อมูลมาเปรียบเทียบผลความประหยัดจากการใช้เส้นทางยกระดับเปรียบเทียบกับถนนพื้นราบ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากมูลค่าของเวลา ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษทางอากาศ จากผลทดสอบการใช้ทางยกระดับสามารถได้ผลประโยชน์มากกว่า 1,000 ล้านบาทต่อปี และโอกาสการเกิดอุบัติเหตุน้อยกว่าถนนพื้นราบที่มีสภาพการจราจรเคลื่อนตัวได้ช้าสลับหยุดนิ่งอย่างมีนัยสำคัญจากการศึกษานี้

คำสำคัญ: ทางพิเศษ, ทางยกระดับ, ระยะเวลาเดินทาง, น้ำมันเชื้อเพลิง

## Abstract

Key objectives of the study is comparative evaluation of fuel consumption/emission and travel time between elevated and at-grade road by the same origin-destination. Directly fuel consumption measurement is inconvenient. Recently, GPS dashcam camera is widely available and price is affordable. Speed and location trajectorial data from the dashcam can be detected. Then the data were immediately exported to the Power Based-Motor Vehicle Models where is used to estimate fuel consumption/emission i.e. CO, $CO_2$, HC, NOx. Savings such as travel time and fuel are combined as the benefits gains more than 1,000 Mil.THB per year from using an alternative elevated road. Amount of greenhouse gas was also estimation. Additionally, comparative acceleration profiles between the elevated road and at-grade road, where has stop-and-go traffic condition, are used for accident probability estimation lower than at-grade road, and were reported.

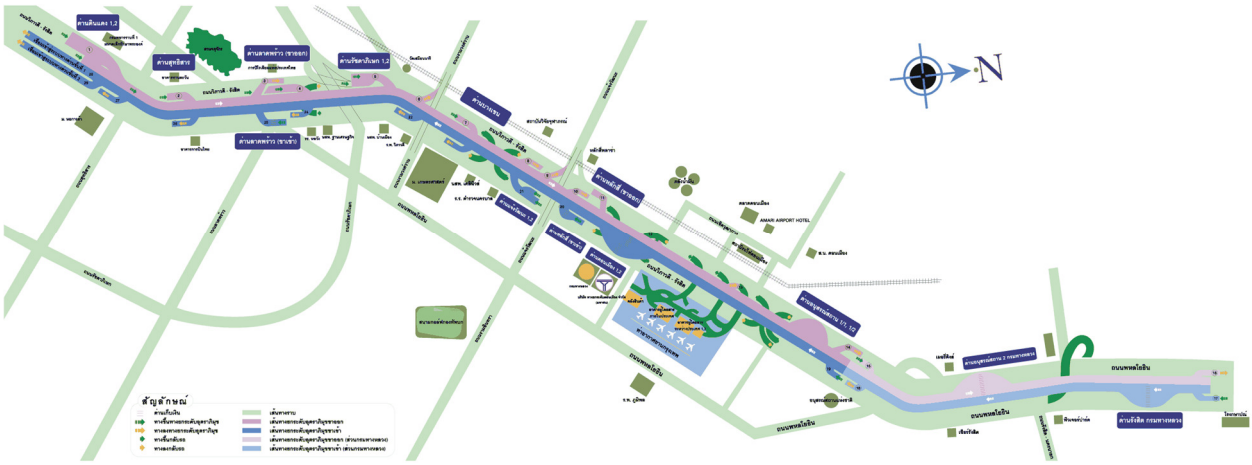
Keywords: Tollway, Fuel consumption and emission model, four-mode elemental model

## 1. ที่มาและความสำคัญ

โครงการทางยกระดับ ช่วงดินแดง – หลักสี่เรียกว่าส่วนเดิม (Original Tollway) มีระยะทาง 15.4 กิโลเมตร และช่วงหลักสี่-อนุสรณ์สถาน เรียกว่าส่วนต่อขยายด้านทิศเหนือ (North Extension) มีระยะทาง 6.5 กิโลเมตร ก่อสร้างเป็นทางยกระดับขนาด 3 ช่องจราจร ในทิศทางขาเข้าเมือง และขาออกเมือง มีความกว้างช่องจราจรละ 3.5 เมตร ทั้งหมดรวมกัน 6 ช่องจราจร สร้างยกระดับเหนือถนนพื้นราบ ภายใต้สัญญาสัมปทานจากภาครัฐ โดยที่เอกชนจะใช้เงินลงทุนก่อสร้างทางยกระดับ พร้อมส่งมอบให้เป็นทรัพย์สินของภาครัฐ และบริหารจัดการทางยกระดับภายใต้กรอบสัญญาสัมปทาน และมีระยะเวลากำหนด ผ่านการกำกับดูแลมาตรฐานทางวิศวกรรม และสิ่งอำนวยบนทางยกระดับ ตามที่กำหนด โดยเอกชนจะมีรายได้มาจากการเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางจากผู้ใช้ทางยกระดับ แสดงในรูปที่ 1

**รูปที่ 1** ทางยกระดับ และถนนพื้นราบ

สำหรับทางยกระดับช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายการจราจรจากพื้นที่ชั้นในของกรุงเทพฯ ตั้งแต่บริเวณแยกดินแดง มุ่งหน้าไปทางทิศเหนือจนถึงรังสิต รวมถึงรองรับการเดินทางเพื่อเชื่อมต่อสนามบินดอนเมือง โดยเส้นทางยกระดับในส่วนของทางหลวงสัมปทาน และส่วนของกรมทางหลวง ยาวรวมกันประมาณ 28.1 กิโลเมตร ดังนั้นความสำคัญของปัญหาที่ทำให้เกิดงานวิจัยนี้ เพื่อนำผลการศึกษามาวางแผนบริหารจัดการจราจรบนทางยกระดับ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลสภาพการจราจรจริง คือ ระยะเวลาการเดินทาง ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษทางอากาศ เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่อไป โดยแผนที่พอสังเขปแสดงในรูปที่ 2



**รูปที่ 2** แผนที่แสดงเส้นทางยกระดับ

*1.1 วัตถุประสงค์*

เพื่อการวางแผนบริหารจัดการจราจรบนทางยกระดับและให้ข้อมูลการเดินทางล่วงหน้า จึงได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างการเดินทางบนทางยกระดับ (Elevated Toll Road) และการใช้ถนนพื้นราบ (At-Grade Road) ดังนี้

- การประหยัดระยะเวลาการเดินทาง
- การประหยัดอัตราปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
- การลดอัตราการปล่อยมลพิษได้แก่ CO, $CO_2$, HC, NOx
- การลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุด้านการจราจร

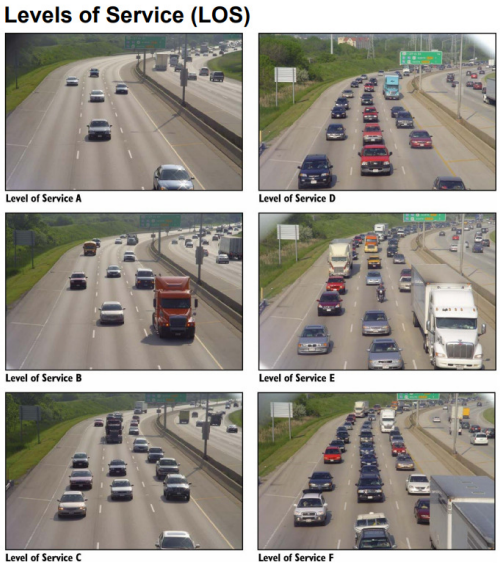
## 2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้เขียนอ้างอิงงาน Akcelik [3] (2003) Hussein et al. [1] (2006) Sakda et al. [2] (2010) ได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบ 2 แบบจำลอง Australian Power Based-Motor Vehicle Model (aaSIDTRA vs CSIRO) เพื่อหาปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษ พบว่า 2 แบบจำลองผลที่ได้มีค่าความแตกต่างกัน ส่วนการประเมินมูลค่าการใช้รถ (Vehicle Operating Cost: VOC) ในการประเมินผลใช้แบบจำลองจาก Pacific Consultants International Inc. method. Tokyo, Japan (PCI). R E Wibisono et al. [4] (2019) Boonsiripant [5] (2009) ประยุกต์ใช้คาดการณ์การเกิดอุบัติเหตุเพื่อประยุกต์ใช้การตรวจสอบความปลอดภัยทางถนน (Road Safety) และธันยารัตน์ และคณะ [6] ปี2563 ได้ดำเนินการศึกษามูลค่าของเวลาซึ่งใช้อ้างอิงในการศึกษานี้

ปิยพงษ์ และคณะ [7] (2563) ได้การประเมินความสามารถในการประหยัดระยะเวลาการเดินทางของทางพิเศษ จำนวน 4 เส้นทาง ผลการศึกษาพบว่า การเดินทางด้วยทางพิเศษในช่วงเวลาเร่งด่วนสามารถประหยัดระยะเวลาการเดินทางลงได้โดยเฉลี่ยมากกว่า ร้อยละ 40

*2.1 การวิเคราะห์สภาพการจราจร*

ในการวิเคราะห์สภาพการจราจร ใช้แนวคิดของระดับการให้บริการ (Level of Service : LOS) ซึ่งในทางวิศวกรรมจราจร ระดับการให้บริการจัดเป็นมาตรวัดในเชิงคุณภาพ (Qualitative Measure) ซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพในการให้บริการของถนน โดยแสดงเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 6 ตัว ได้แก่ A, B, C, D, E และ F ค่าแต่ละค่าจะแสดงถึงลักษณะและสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน โดยระดับการให้บริการ A หรือ LOS A แสดงสภาพการจราจรที่ดีที่สุด และในทางตรงกันข้าม ระดับการให้บริการ F หรือ LOS F จะแสดงสภาพการจราจรที่แย่ที่สุด โดยใช้ Highway Capacity Manual 2000 (HCM2000) ดังแสดงในรูปที่ 3




**รูปที่ 3** ระดับการให้บริการของถนน (Level of Service :LOS)

อ้างอิง https://www.browncountywi.gov/i/f/files/Planning-and-Land-Services/Display%20Exhibits%20-%20Public%20Involvement%20Opportunity.pdf

*2.2 การทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร*

ข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบ t – Test มีดังนี้

1) กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่ม
2) การแจกแจงของประชากรเป็นโค้งปกติ
3) ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาค(Interval Scale) ขึ้นไป
4) ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร

## 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

*3.1 การเก็บข้อมูลด้วยวิธีรถทดสอบ (Floating Car Technique)*

ระยะเวลาเดินทางถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อพฤติกรรมผู้ขับขี่ในการเลือกใช้เส้นทาง การวางแผนการเดินทาง สำหรับการศึกษาระยะเวลาการเดินทางสามารถทำได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม โดยวิธีการเก็บข้อมูลทางตรง คือ การใช้รถทดสอบ (Test Car) เพื่อให้ได้ข้อมูลน่าเชื่อถือ โดยผู้ขับขี่รถทดสอบใช้วิธีการ Floating Car Technique ซึ่งผู้ขับขี่รถทดสอบจะใช้ความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจร เมื่อผู้ขับขี่ถูกแซง ก็จะแซงรถคันข้างหน้าตามจำนวนรถที่แซง โดยควรคำนึงถึงความปลอดภัย และใช้ความเร็วไม่เกิน 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

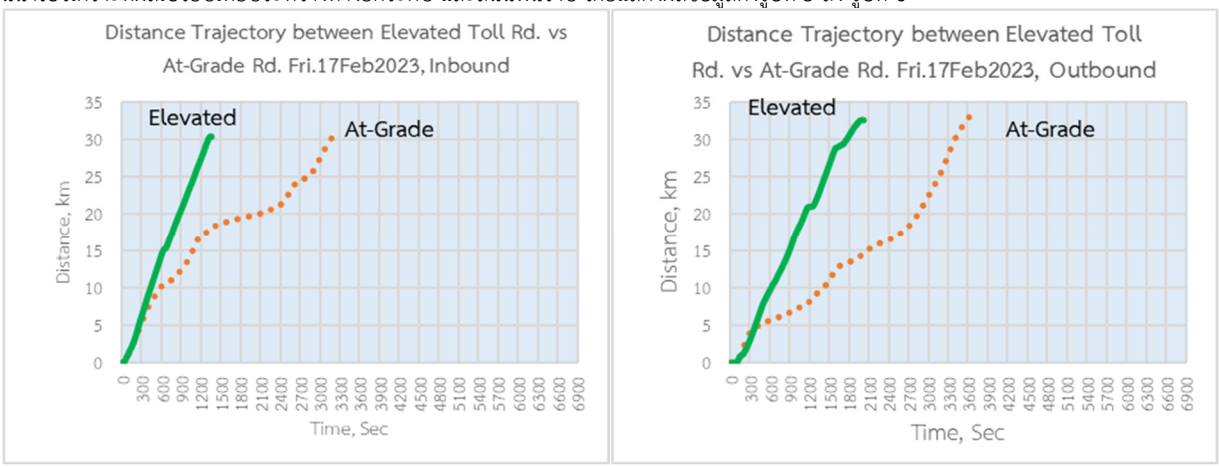
*3.2 การเก็บข้อมูล และการจัดการข้อมูล*

การศึกษานี้เก็บข้อมูลตั้งแต่เดือน 11 มกราคม 2566 ถึง 15 มีนาคม 2566 โดยมีกล้องติดหน้ารถ (Dash Camera) ซึ่งจะเก็บข้อมูล เวลา ความเร็ว พิกัด Lat, Long ใช้รถยนต์กระบะ 4 ล้อ จำนวน 2 คัน เดินทางพร้อมกัน (Second by Second) ระหว่างบนทางยกระดับ (Elevated Toll Road) และถนนพื้นราบ (At-Grade Road) โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า-เย็น และนอกเวลาเร่งด่วน รวมถึงวันหยุด แบ่งเป็น

- ขาเข้าเมือง จุดเริ่มต้นจากสถานีบริการน้ำมัน PT ตรงข้ามบุญถาวรรังสิต ถึงสถานีบริการน้ำมัน Shell ดินแดง มีระยะทางประมาณ 30.50 กิโลเมตร โดยบนทางยกระดับเป็นถนนผิวทางแอสฟัลต์ 3 ช่องจราจร มี 4 ด่านเก็บค่าผ่านทาง ประกอบด้วย ดอนเมือง หลักสี่ (ขาเข้าเมือง) แจ้งวัฒนะ และด่านลาดพร้าว (ขาเข้าเมือง) โดยการทดสอบไปลงที่ทางลงดินแดง และในส่วนของถนนพื้นราบเป็นผิวทาง แอสฟัลต์ แต่ละทิศทางแบ่งเป็นช่องทางหลัก 3 ช่องจราจร และช่องทางคู่ขนาน 2 ช่องจราจร ซึ่งบริเวณหน้าสนามบินดอนเมืองจะมีเพียงช่องทางหลัก 4 ช่องจราจร โดยไม่มีช่องทางคู่ขนาน
- ขาออกเมือง จากสถานีบริการน้ำมัน Shell ดินแดง ถึงสถานีบริการน้ำมัน PT ตรงข้ามบุญถาวรรังสิต มีระยะทางประมาณ 33.00 กิโลเมตร โดยบนทางยกระดับเป็นถนนผิวทางแอสฟัลต์ 3 ช่องจราจร มี 7 ด่านเก็บค่าผ่านทาง ประกอบด้วย ดินแดง สุทธิสาร ลาดพร้าว (ขาออกเมือง) รัชดาภิเษก บางเขน หลักสี่ (ขาออกเมือง) และอนุสรณ์สถาน โดยการทดสอบจะไปลงที่ทางลงรังสิต (ตรงข้ามโรงกษาปณ์) และในส่วนของถนนพื้นราบเป็นผิวทาง แอสฟัลต์ แต่ละทิศทางแบ่งเป็นช่องทางหลัก 3 ช่องจราจร และช่องทางคู่ขนาน 2 ช่องจราจร ซึ่งบริเวณหน้าสนามบินดอนเมืองจะมีเพียงช่องทางหลัก 4 ช่องจราจร โดยไม่มีช่องทางคู่ขนาน โดยได้แสดงแผนที่เส้นทาง รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ และภาพจากกล้องหน้ารถที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4

**รูปที่** 4 แผนที่เส้นทาง รถยนต์ทดสอบ และการเก็บข้อมูลจากกล้องติดหน้ารถ

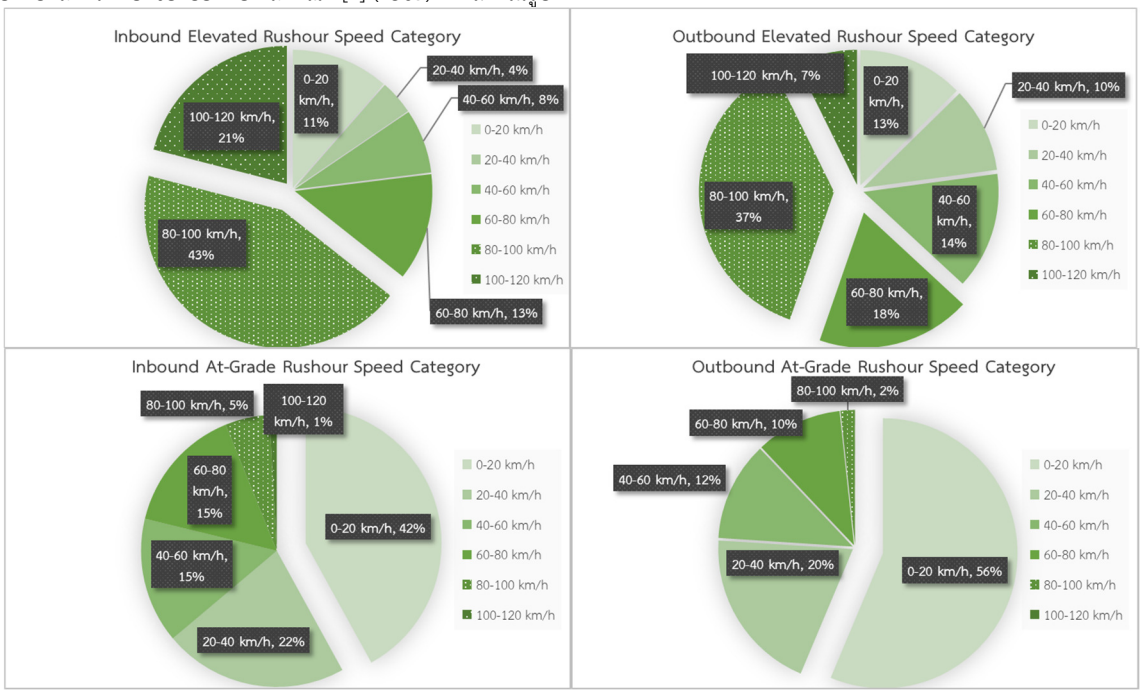
หลังจากสิ้นสุดการเก็บข้อมูลในแต่ละวันจะดึงข้อมูลจากกล้องหน้ารถที่เก็บทุก ๆ 1 วินาที ประกอบด้วยข้อมูล เวลา ความเร็ว และระยะทาง ซึ่งใช้ Microsoft Excel Spreadsheet จัดการข้อมูล โดยเขียนสมการตาม Power Based-Motor Vehicle Models ทดสอบจนมั่นใจว่าผลการคำนวณถูกต้อง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบระหว่างทางยกระดับ และถนนพื้นราบ โดยแสดงผลข้อมูลดังรูปที่ 5 ถึง รูปที่ 6




**รูปที่** 5 แสดงระยะทางกับระยะเวลาเดินทาง (Distance Trajectory)

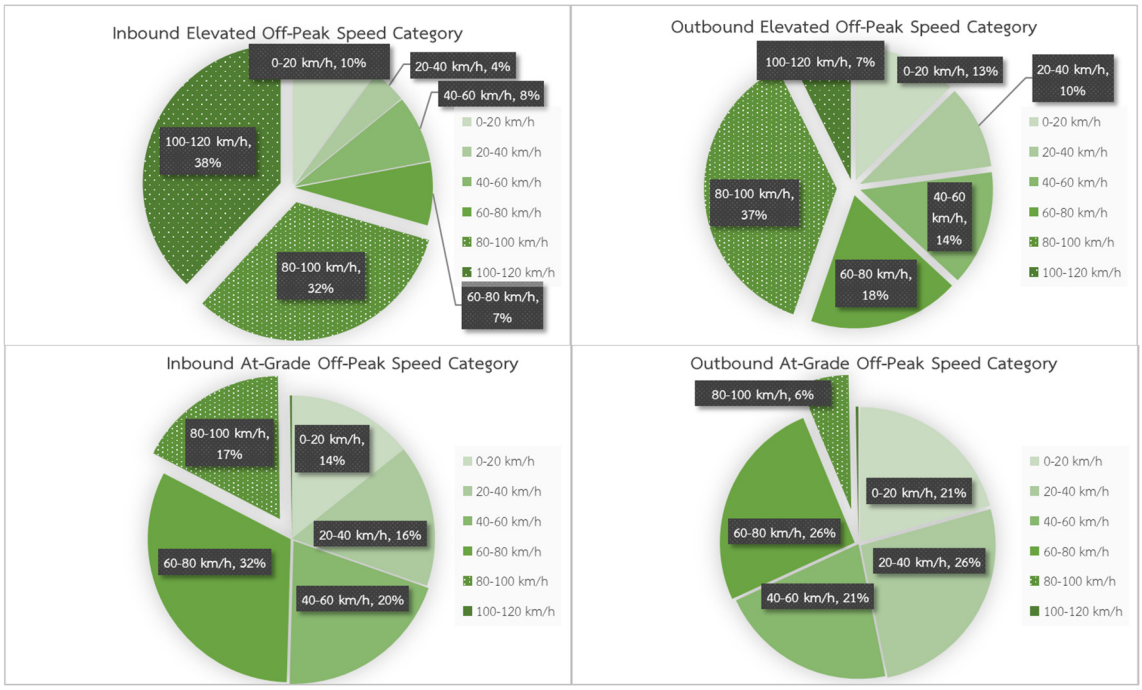
**รูปที่ 6** ความเร็ว Speed Profile (บน) และ Acceleration Profile (ล่าง)

สัดส่วนความเร็ว (Speed Category) การเดินทางวันทำการ ในช่วงเวลาเร่งด่วนบนทางยกระดับมากกว่าร้อยละ 40 ใช้สัดส่วนความเร็วได้ 80-120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ถนนพื้นราบมีสภาพการจราจรที่หนาแน่นติดขัด โดยมากกว่าร้อยละ 40 ใช้สัดส่วนความเร็วได้เพียง 0-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของปิยพงษ์ และคณะ [7] (2563) ดังแสดงในรูปที่ 7




**รูปที่ 7** สัดส่วนของความเร็วในการเดินทาง ในเวลาเร่งด่วน

สำหรับนอกเวลาเร่งด่วน และในวันหยุดทำการ การเดินทางบนทางยกระดับมากกว่าร้อยละ 40 ใช้สัดส่วนความเร็วได้ 80-120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ถนนพื้นราบมีสภาพการจราจรที่หนาแน่นลดลงกว่าวันทำการปกติ โดยเหลือสัดส่วนร้อยละ 14 (ขาเข้าเมือง) และร้อยละ 21 (ขาออกเมือง) ที่ใช้สัดส่วนความเร็ว 0-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 8




**รูปที่ 8** สัดส่วนของความเร็วในการเดินทาง นอกเวลาเร่งด่วน และวันหยุดทำการ

*3.3 t-Test เพื่อทดสอบค่าความเชื่อมั่นในข้อมูล*

เพื่อความมั่นใจข้อมูลที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ว่าครอบคลุมตัวแทนของการเดินทาง จากการจับเวลาเดินทางในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า ในทิศทางขาเข้าเมือง 20 ตัวอย่าง และในช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น ในทิศทางขาออกเมือง 26 ตัวอย่าง รวมถึงเวลานอกเร่งด่วน และวันหยุดทำการ ด้านขาเข้าเมือง 10 ตัวอย่าง และด้านขาออกเมือง 10 ตัวอย่าง (1 ตัวอย่าง คือการเดินทางด้วยรถทดสอบพร้อมกันระหว่างการเดินทางบนทางยกระดับ และถนนพื้นราบ) รวมทั้งหมด 66 ตัวอย่าง (ระยะทางทดสอบไม่น้อยกว่า 2,000 ก.ม.) เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบ t-Test หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 1 กลุ่มตัวอย่าง (One Sample t-Test) และ 2 กลุ่มตัวอย่าง (Paired Simple t-Test) และทดสอบแบบมีทิศทาง One-tailed test (เพื่อทดสอบน้อยกว่าหรือมากกว่าค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง) โดยใช้ Excel ใช้ Function Data Analysis โดย t-Test เป็นไปตามข้อกำหนด

- กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่ม (Random) หรือแบบโค้งระฆังคว่ำ
- การแจกแจงของประชากรเป็นโค้งปกติ (Normal Distribution)
- ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาค (Interval Scale) ขึ้นไป
- ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร

ใช้ Excel ซึ่งสามารถเพิ่มเมนูการคำนวณ t-Test โดยติดตั้งเพิ่มไปที่ Excel (Option/add-in/Analysis Toolpak) จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ t-Test มีการทดสอบ 1 กลุ่มตัวอย่าง และ 2 กลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 จนมั่นใจว่าข้อมูลที่เก็บมาครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างทดสอบนำมาทำการทดสอบแบบมีทิศทาง (One-tail Test)

การใช้ระยะเวลาเดินทาง ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง การปล่อยมลพิษ โดยเปรียบเทียบระหว่างถนนพื้นราบกับบนทางยกระดับ โดยตั้งสมมุติฐานทางสถิติหลัก ($H_0$) และสมมุติทางเลือก ($H_1$)

$H_0$: $\mu_{At-Grade} \leq \mu_{Elevated}$
$H_1$: $\mu_{At-Grade} > \mu_{Elevated}$

สำหรับความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุด้านการจราจร โดยเปรียบเทียบระหว่างบนทางยกระดับกับถนนพื้นราบ โดยตั้งสมมุติฐานทางสถิติหลัก ($H_0$) และสมมุติทางเลือก ($H_1$)

$H_0$: $\mu_{Elevated} \leq \mu_{At-Grade}$
$H_1$: $\mu_{Elevated} > \mu_{At-Grade}$

ดังแสดงข้อมูลการทดสอบ t-Test ระยะเวลาเดินทาง และปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** การทดสอบสถิติ t-Test

| | Morning Peak (AM) | | | | Off-Peak | | | | Evening Peak (PM) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Inbound | | Outbound | | Inbound | | Outbound | | Inbound | | Outbound | |
| | At-Grade(1) | Elevated (2) | At-Grade(1) | Elevated (2) | At-Grade(1) | Elevated (2) | At-Grade(1) | Elevated (2) | At-Grade(1) | Elevated (2) | At-Grade(1) | Elevated (2) |
| No. Sampling | 20 | 20 | X | X | 10 | 10 | 10 | 10 | X | X | 26 | 26 |
| *Travel Time, Min* | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 54.13 | 24.18 | X | X | 33.96 | 22.10 | 44.72 | 27.46 | X | X | 75.91 | 30.43 |
| Diff.(1)-(2) | | 29.95 | | | | 11.86 | | 17.26 | | | | 45.48 |
| STD | 7.98 | 5.02 | X | X | 4.85 | 1.50 | 6.59 | 3.27 | X | X | 10.21 | 5.91 |
| Hypothesized Test (μ) | 57.50 | 26.50 | X | X | 37.00 | 23.00 | 48.50 | 29.50 | X | X | 80.00 | 32.50 |
| One Simple t-Test | (1.89) | (2.07) | X | X | (1.98) | (1.89) | (1.82) | (1.98) | X | X | (2.04) | (1.78) |
| t Critical one-tail | 1.73 | 1.73 | X | X | 1.83 | 1.83 | 1.83 | 1.83 | X | X | 1.71 | 1.71 |
| p-value | 0.04 | 0.03 | X | X | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | X | X | 0.03 | 0.04 |
| *Fuel consumption, L* | | | | | | | | | X | X | | |
| Mean | 2.78 | 2.68 | X | X | 2.45 | 2.80 | 2.73 | 3.02 | X | X | 3.14 | 2.73 |
| Diff.(1)-(2) | | 0.10 | | | | (0.35) | | (0.29) | | | | 0.41 |
| STD | 0.13 | 0.10 | X | X | 0.09 | 0.12 | 0.17 | 0.09 | X | X | 0.20 | 0.12 |
| Hypothesized Test (μ) | 2.84 | 2.72 | X | X | 2.50 | 2.87 | 2.83 | 3.07 | X | X | 3.21 | 2.77 |
| One Simple t-Test | (2.01) | (1.97) | X | X | (1.83) | (1.97) | (1.89) | (1.88) | X | X | (1.80) | (1.87) |
| t Critical one-tail | 1.73 | 1.73 | X | X | 1.83 | 1.83 | 1.83 | 1.83 | X | X | 1.71 | 1.71 |
| p-value | 0.03 | 0.03 | X | X | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | X | X | 0.04 | 0.04 |

**หมายเหตุ**

1) ในกรณีวิ่งทดสอบบนทางยกระดับ โดยวิ่งตามกระแสจราจรตามกฎหมายกำหนด และความเร็วอิสระที่ 100 กม/ชม
2) ในกรณีวิ่งแบบความเร็วอิสระถนนพื้นราบที่ 80 กม/ชม สามารถใช้ระยะเวลาเดินทางได้ 25 นาที ซึ่งในสภาพการจราจรที่ทดสอบครั้งนี้ ไม่มีความเป็นไปได้
3) ในวันทำการปริมาณความต้องการเดินทางในช่วงเร่งด่วนเช้าด้านขาเข้าเมือง (Inbound) และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นด้านขาออกเมือง (Outbound) จะมีปริมาณการเดินทางจำนวนมาก ดังนั้นการศึกษานี้ในช่วงเร่งด่วนเช้าจึงไม่ได้เก็บข้อมูลด้านขาออกเมือง (Outbound) และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นไม่ได้เก็บข้อมูลด้านขาเข้าเมือง (Inbound) เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา จำนวนรถทดสอบ ผู้วิจัย และค่าใช้จ่าย แต่สามารถใช้ข้อมูลช่วงนอกเวลาเร่งด่วน และวันหยุดประกอบการพิจารณาได้

### *3.4 ระยะเวลาเดินทาง*

การศึกษานี้ได้ดำเนินการทดสอบ t-Test จากกลุ่มตัวอย่างตามตารางที่ 1 ซึ่งระยะเวลาการเดินทาง เป็นตัวแทนรูปแบบการเดินทาง และเพื่อให้มั่นใจว่าครอบคลุมประชากรที่ทำการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบที่ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 ซึ่งพบว่าในเวลาเร่งด่วนเช้าด้านขาเข้าเมืองบนทางยกระดับ ใช้เวลาเดินทาง 26.50 นาที และในเวลาเร่งด่วนเย็นด้านขาออกเมืองใช้เวลาเดินทาง 32.50 นาที เปรียบเทียบกับถนนพื้นราบเร่งด่วนเช้าขาเข้าเมืองใช้เวลาเดินทาง 57.50 นาที และช่วงเร่งด่วนเย็นขาออกเมืองใช้เวลาเดินทาง 80.00 นาที ที่ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95

สำหรับนอกเวลาเร่งด่วน และวันหยุดทำการ บนทางยกระดับด้านขาเข้าเมืองใช้เวลาในการเดินทาง 23.00 นาที และด้านขาออกเมืองใช้ระยะเวลาเดินทาง 29.50 นาที เปรียบเทียบกับถนนพื้นราบด้านขาเข้าเมืองใช้เวลาเดินทาง 37.00 นาที และด้านขาออกเมืองใช้เวลาเดินทาง 48.50 นาที ที่ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95

### *3.5 แบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Model*

แบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Model (Hussein et al.(2006) ,Sakda et al. (2010) ใช้คำนวณหาการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษ ความเร่งคือการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในที่นี้หมายถึงรถยนต์ที่ใช้การทดสอบ ใช้สัญลักษณ์ a มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที$^2$

$$a = \frac{v2-v1}{t2-t1} \quad (1)$$

การหาแรงต้านการเคลื่อนตัวของรถยนต์

$$RT = b1 + b2 * v^2 + \frac{M*a}{1000} + g * \left(\frac{M}{1000}\right) * \left(\frac{G}{100}\right) \quad (2)$$

$b1$ คือแรงต้านทานของล้อรถยนต์สัมผัสกับถนน (rolling resistance)

$b2$ คือแรงต้านทานจากแรงลมปะทะกับรถยนต์ (aerodynamic resistance)

$v$ คือความเร็วมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

$a$ หน่วยเป็น เมตร/วินาที$^2$ (สมการที่ 1)

$g$ คือเปอร์เซ็นต์ค่าความลาดเอียงของถนน

$M$ คือน้ำหนักของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (รถยนต์ขนาดเล็ก) ที่ 1400 กิโลกรัม และสำหรับรถบรรทุกที่ 11,000 กิโลกรัม เมื่อความอัตราเร่งเป็นบวก และมีขับเคลื่อนรถยนต์ไปข้างหน้า สำหรับคำนวณหาน้ำมัน และการปล่อยมลพิษ จากสมการ

$$\frac{dE(X)}{dt} = \alpha + \beta 1 * RT * v + \left(\frac{\beta 2 * M * a^2 * v}{1000}\right) \text{ โดยที่ } a > 0, RT > 0 \quad (3)$$

$\beta 1$ คือ พารามิเตอร์ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (engine efficiency)

$\beta 2$ คือ พารามิเตอร์ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์อันดับสอง (second efficiency)

แต่ในขณะที่รถยนต์หยุดกับที่เครื่องยนต์ทำงานในรอบการเดินเบา (idling) หรือเกิดการเบรกส่งผลให้รถยนต์ที่ขับขี่ลดความเร็ว สำหรับคำนวณหาน้ำมัน และการปล่อยมลพิษ จากสมการ

$$\frac{dE(X)}{dt} = \alpha \text{ โดยที่ } RT \leq 0 \quad (4)$$

*3.6 แบบจำลอง PCI (PCI Model)*

ในการศึกษานี้เพื่อให้ครอบคลุมค่าใช้จ่ายจากการใช้รถ (Vehicle Operating Cost :VOC) จึงได้ใช้แบบจำลองที่นำเสนอโดย Pacific Consultants International Inc. method. Tokyo, Japan (PCI) มาใช้ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำมัน น้ำมันเครื่อง ค่าใช้จ่ายยางรถยนต์ ค่าซ่อมบำรุงสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ รวมถึงค่าแรงของช่างยนต์ เพื่อประมาณค่าใช้จ่ายในการใช้รถ โดยใช้สมการอ้างถึงงาน R E Wibisono et al. [4] (2019)

*3.7 วิเคราะห์ความปลอดภัยด้านการจราจร (Analysis of Traffic Safety)*

ในการหาความปลอดภัยในระหว่างการเดินทาง โดยเปรียบเทียบระหว่างทางยกระดับกับถนนพื้นราบโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation :STD) จากการเร่งความเร็ว หรือลดความเร็วของรถยนต์ (Acceleration Noise) ใช้แบบจำลอง Boonsiripant (Boonsiripant, 2009)

$$AccHC = L^{0.706} * e^{(2.2923+2.0295AN_Aj)} \quad (5)$$

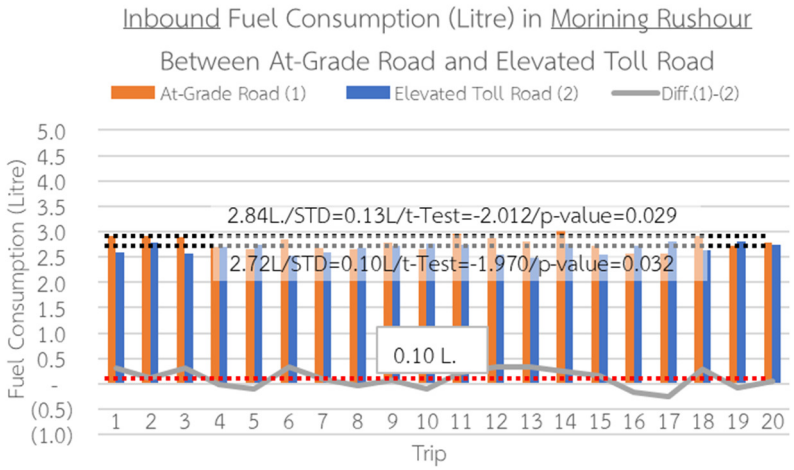
L แทนด้วยความยาวของถนน (เมตร) และ

AN_Aj คือ Acceleration Noise (ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราเร่งหรือลดความเร็ว)

## 4. ผลการศึกษา

จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models ใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน มีน้ำหนักรถเท่ากับ 1,400 กิโลกรัม แทนค่าลงในสมการที่ 2 สมการที่ 3 และสมการที่ 4 โดยนำข้อมูลจาก GPS Logger ที่ติดตั้งกับรถทดสอบจำนวน 2 คัน มาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำมัน พร้อมทั้งได้ดำเนินการทดสอบ t-Test เพื่อให้มั่นใจว่าครอบคลุมตัวแทนการเดินทาง ที่ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 ซึ่งพบว่าในเวลาเร่งด่วนเช้าด้านขาเข้าเมืองบนทางยกระดับ ใช้น้ำมัน 2.72 ลิตร และในเวลาเร่งด่วนเย็นด้านขาออกเมืองใช้น้ำมัน 2.77 ลิตร เปรียบเทียบกับถนนพื้นราบเร่งด่วนเช้าขาเข้าเมืองใช้น้ำมัน 2.84 ลิตร และช่วงเร่งด่วนเย็นขาออกเมืองใช้น้ำมัน 3.21 ลิตร โดยพบว่าการใช้ถนนพื้นราบใช้น้ำมันมากกว่าบนทางยกระดับ 0.10 ลิตร และ 0.41 ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากสภาพการจราจรติดขัด รถยนต์เคลื่อนตัวช้าสลับหยุดนิ่ง (Stop and Go) ทำให้เกิดภาวะสิ้นเปลืองน้ำมันจากรอบการเดินเบาของเครื่องยนต์

สำหรับนอกเวลาเร่งด่วน และวันหยุดทำการ บนทางยกระดับด้านขาเข้าเมืองใช้น้ำมัน 2.87 ลิตร และด้านขาออกเมือง ใช้น้ำมัน 3.07 ลิตร เปรียบเทียบกับถนนพื้นราบด้านขาเข้าเมืองใช้น้ำมัน 2.50 ลิตร และด้านขาออกเมืองใช้น้ำมัน 2.83 ลิตร โดยพบว่าถนนพื้นราบใช้น้ำมันน้อยกว่าบนทางยกระดับที่ 0.35 ลิตร และ 0.29 ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากบนทางยกระดับสามารถใช้ความเร็วได้อิสระกว่าถนนพื้นราบ โดยแสดงตัวอย่างปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการเดินทางในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าด้านขาเข้าเมืองดังรูป 9



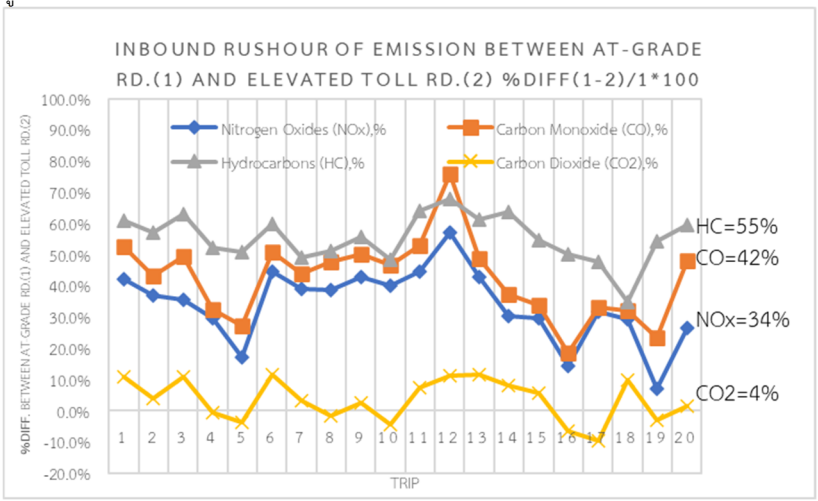

**รูปที่ 9** ปริมาณการใช้น้ำมัน

รวมถึงแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models ยังคำนวณหาการปล่อยมลพิษจากรถยนต์ ใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน มีน้ำหนักรถเท่ากับ 1,400 กิโลกรัม แทนลงในสมการที่ 2 สมการที่ 3 และสมการที่ 4 โดยนำข้อมูลจาก GPS Logger ที่ติดตั้งกับรถทดสอบจำนวน 2 คัน เพื่อหาค่าการปล่อยมลพิษ ดังนี้

- คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide : CO) เป็นสารก่อมลพิษที่ทำให้เกิดควันสีขาว มีลักษณะเป็นก๊าซที่ไม่มีสี รสและกลิ่น น้ำหนักเบากว่าอากาศทั่วไปเล็กน้อย เมื่อหายใจเข้าไปก๊าซนี้จะรวมตัวฮีโมโกลบิน(Haemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงขัดขวางการนำออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ
- คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide : $CO_2$) เป็นก๊าซที่มีมากที่สุดและเป็นตัวการของการเกิดก๊าซเรือนกระจก สาเหตุการเกิดมีหลายอย่าง รวมถึงเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ลักษณะเป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ แต่หากร่างกายได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในปริมาณมาก จะทำให้เลือดเป็นกรด ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นระบบหายใจทำให้หายใจเร็วขึ้น หัวใจจึงเต้นเร็ว และกดสมองทำให้หมดสติ
- ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides : NOx) สาเหตุการเกิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ในอุณหภูมิสูง มีองค์ประกอบทางเคมีของไนโตรเจนและออกซิเจน ในอัตราส่วนแตกต่างกัน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เมื่อทำปฏิกิริยากับสารอื่น เช่น สารระเหยอินทรีย์ (Volatile Organic Compound) และกรดไนตริก จะส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ รวมถึงปอดของมนุษย์
- ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons : HC) เป็นโมเลกุลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ไม่ได้เป็นอันตรายโดยตรงต่อชีวิตและสุขภาพ แต่จะอันตรายเมื่อรวมตัวจนเกิดปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ทำให้เกิดปรากฏการณ์หมอกพิษ (Photochemical Smog)

ผลที่ได้พบว่าในช่วงเวลาเร่งด่วนระหว่างถนนพื้นราบปล่อยมลพิษ HC CO และ NOx มากกว่าทางยกระดับตั้งแต่ร้อยละ 30 ถึง ร้อยละ 58 และ $CO_2$ ถนนพื้นราบด้านขาเข้าและขาออกเมือง ปล่อยมลพิษมากกว่าบนทางยกระดับร้อยละ 4 และร้อยละ 13 ตามลำดับ

สำหรับนอกเวลาเร่งด่วนถนนพื้นราบปล่อยมลพิษ HC CO และ NOx มากกว่าทางยกระดับตั้งแต่ร้อยละ 28 ถึง ร้อยละ 41 แต่ $CO_2$ บนทางยกระดับปล่อยมลพิษมากกว่าถนนพื้นราบ ที่ร้อยละ 14 และร้อยละ 11 ตามลำดับ โดยได้แสดงตัวอย่างการปล่อยมลพิษจากรถยนต์ในการเดินทางช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า ด้านขาเข้าเมืองดังแสดงในรูปที่ 10




**รูปที่ 10** การปล่อยมลพิษทางอากาศจากเครื่องยนต์

สำหรับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models ในช่วงเวลาเร่งด่วน พบว่าปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษ ถนนพื้นราบมากกว่าทางยกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-Test > t-critical และ p-value < 0.05) นำผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลที่ได้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models ในช่วงเวลาเร่งด่วน เช้า-เย็น วันทำการ

| Inbound | At-Grade Road (1) | Elevated Toll Road (2) | (1)-(2) | % Diff. [(1) – (2)]*100/(1) | t-Test | t-critical | p-value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distance (km) | 30.95 | 30.37 | 0.57 | 2% | | | |
| Total fuel consumption (L) | 2.78 | 2.68 | 0.10 | 4% | 2.493 | 1.729 | 0.011 |
| Travel time (minute) | 54.13 | 24.18 | 29.95 | 55% | 18.847 | 1.729 | 0.000 |
| Rate of fuel consumption (km/L) | 11.16 | 11.37 | (0.21) | -2% | | | |
| **Travel costs** | | | | | | | |
| Fuel (THB) | 99.32 | 95.58 | 3.73 | 4% | | | |
| Time (THB) | 209.29 | 93.48 | 115.81 | 55% | | | |
| Total travel costs (THB) | 308.61 | 189.06 | 119.55 | 39% | | | |
| Avg. travel costs (THB/km) | 9.96 | 6.22 | 3.74 | 38% | | | |
| **Emission pollutants** | | | | | | | |
| NOx (kg) | 0.0085 | 0.0056 | 0.0030 | 35% | 10.979 | 1.729 | 0.000 |
| CO (kg) | 0.2437 | 0.1349 | 0.1088 | 45% | 7.875 | 1.729 | 0.000 |
| HC (kg) | 0.0087 | 0.0038 | 0.0048 | 56% | 18.101 | 1.729 | 0.000 |
| $CO_2$ (kg) | 6.9490 | 6.6877 | 0.2613 | 4% | 2.493 | 1.729 | 0.011 |
| **Outbound** | | | | | | | |
| Distance (km) | 33.52 | 32.74 | 0.78 | 2% | | | |
| Total fuel consumption (litre) | 3.14 | 2.73 | 0.41 | 13% | 10.999 | 1.708 | 0.000 |
| Travel time (minute) | 75.91 | 30.43 | 45.48 | 60% | 26.024 | 1.708 | 0.000 |
| Rate of fuel consumption (km/litre) | 10.72 | 12.04 | (1.32) | -12% | | | |
| **Travel costs** | | | | | | | |
| Fuel (THB) | 112.15 | 97.38 | 14.77 | 13% | | | |
| Time (THB) | 293.53 | 117.68 | 175.85 | 60% | | | |
| Total travel costs (THB) | 405.68 | 217.37 | 188.31 | 46% | | | |
| Avg. travel costs (THB/km) | 12.10 | 6.57 | 5.54 | 46% | | | |
| **Emission pollutants** | | | | | | | |
| NOx (kg) | 0.0088 | 0.0061 | 0.0027 | 31% | 10.026 | 1.708 | 0.000 |
| CO (kg) | 0.2391 | 0.1514 | 0.0877 | 37% | 10.836 | 1.708 | 0.000 |
| HC (kg) | 0.0112 | 0.0047 | 0.0065 | 58% | 29.965 | 1.708 | 0.000 |
| $CO_2$ (kg) | 7.8472 | 6.8136 | 1.0336 | 13% | 10.999 | 1.708 | 0.000 |

**หมายเหตุ**

1) ราคาน้ำมันใช้ Gasohol 95 ค่าเฉลี่ยที่ 35.78 THB/L (อ้างอิงข้อมูล PTT ราคาเฉลี่ย 15 ม.ค 2566 ถึง 10 ก.พ. 2566)

2) Value of time อ้างอิงผลการศึกษา ธันยารัตน์ และคณะ (2563) เท่ากับ 232 THB/PCU-hr

และสำหรับผลที่ได้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models นอกเวลาเร่งด่วน และวันหยุดทำการ พบว่าระยะเวลาเดินทางถนนพื้นราบ และการปล่อยมลพิษ NOx CO HC มากกว่าทางยกระดับอย่างมีนัยสำคัญ (t-Test > t-critical และ p-value < 0.05) แต่ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความสัมพันธ์กับการปล่อย Carbon Dioxide ($CO_2$) พบว่าบนทางยกระดับ มากกว่าถนนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ (t-Test < t-critical และ p-value < 0.05) ดังแสดงผลในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ผลที่ได้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models นอกเวลาเร่งด่วน และวันหยุดทำการ

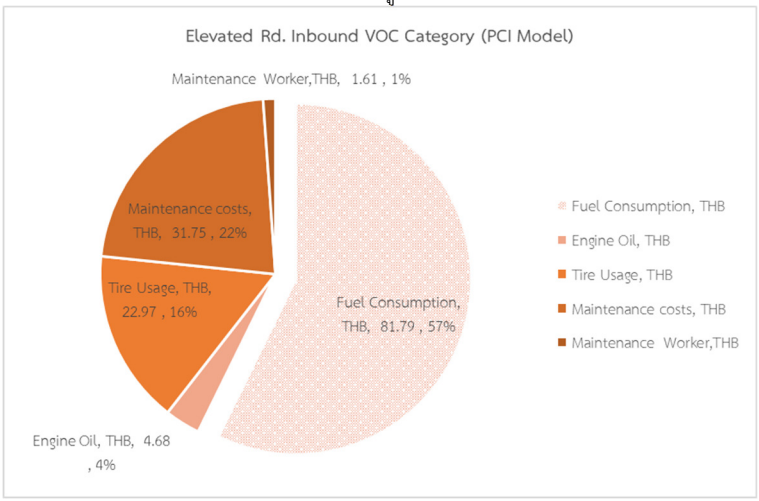
| Inbound | At-Grade Road (1) | Elevated Toll Road (2) | (1)-(2) | % Diff. [(1) – (2)]/(1)*100 | t-Test | t-critical | p-value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distance (km) | 30.58 | 30.31 | 0.27 | 1% | | | |
| Total fuel consumption (L) | 2.45 | 2.80 | (0.35) | -14% | (9.481) | 1.833 | 0.000 |
| Travel time (minute) | 33.96 | 22.10 | 11.86 | 35% | 9.135 | 1.833 | 0.000 |
| Rate of fuel consumption (km/L) | 12.52 | 10.86 | 1.66 | 13% | | | |
| **Travel costs** | | | | | | | |
| Fuel (THB) | 87.41 | 99.93 | (12.52) | -14% | | | |
| Time (THB) | 131.30 | 85.46 | 45.84 | 35% | | | |
| Total travel costs (THB) | 218.71 | 185.39 | 33.32 | 15% | | | |
| Avg. travel costs (THB/km) | 7.15 | 6.12 | 1.03 | 14% | | | |
| **Emission pollutants** | | | | | | | |
| NOx (kg) | 0.0074 | 0.0052 | 0.0022 | 29% | 6.941 | 1.833 | 0.000 |
| CO (kg) | 0.2046 | 0.1233 | 0.0812 | 40% | 5.464 | 1.833 | 0.000 |
| HC (kg) | 0.0057 | 0.0035 | 0.0023 | 40% | 10.199 | 1.833 | 0.000 |
| $CO_2$ (kg) | 6.1159 | 6.9917 | (0.8758) | -14% | (9.481) | 1.833 | 0.000 |
| **Outbound** | | | | | | | |
| Distance (km) | 33.12 | 32.79 | 0.33 | 1% | | | |
| Total fuel consumption (L) | 2.73 | 3.02 | (0.29) | -11% | (7.935) | 1.833 | 0.000 |
| Travel time (minute) | 44.72 | 27.46 | 17.26 | 39% | 9.998 | 1.833 | 0.000 |
| Rate of fuel consumption (km/L) | 12.18 | 10.88 | 1.30 | 11% | | | |
| **Travel costs** | | | | | | | |
| Fuel (THB) | 97.43 | 107.77 | (10.34) | -11% | | | |
| Time (THB) | 172.90 | 106.18 | 66.72 | 39% | | | |
| Total travel costs (THB) | 270.33 | 213.95 | 56.38 | 21% | | | |
| Avg. travel costs (THB/km) | 8.16 | 6.52 | 1.63 | 20% | | | |
| **Emission pollutants** | | | | | | | |
| NOx (kg) | 0.0090 | 0.0064 | 0.0025 | 28% | 6.772 | 1.833 | 0.000 |
| CO (kg) | 0.2557 | 0.1567 | 0.0990 | 39% | 6.599 | 1.833 | 0.000 |
| HC (kg) | 0.0076 | 0.0044 | 0.0032 | 42% | 10.651 | 1.833 | 0.000 |
| $CO_2$ (kg) | 6.8171 | 7.5406 | (0.7236) | -11% | (7.935) | 1.833 | 0.000 |

**หมายเหตุ**

1) ราคาน้ำมันใช้ Gasohol 95 ค่าเฉลี่ยที่ 35.78 THB/L (อ้างอิงข้อมูล PTT ราคาเฉลี่ย 15 ม.ค 2566 ถึง 10 ก.พ. 2566)

2) Value of time อ้างอิงผลการศึกษา ธันยารัตน์ และคณะ ปี2563 เท่ากับ 232 THB/PCU-hr

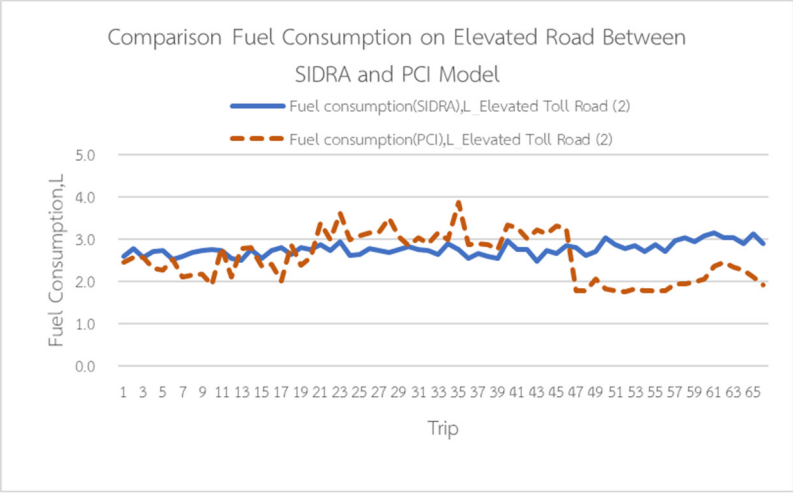
นอกเหนือจากแบบจำลอง SIDRA ข้างต้น การศึกษาครั้งนี้ ยังใช้แบบจำลอง PCI ที่นำเสนอโดย Pacific Consultants International Inc. โดยใช้ตัวแปรความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง (Average Speed) และระยะทาง ที่เก็บข้อมูลได้ในแต่ละเที่ยวของการเดินทาง (Trip) ระหว่างทางยกระดับกับถนนพื้นราบ เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณค่าใช้จ่ายจากการใช้รถยนต์ จากแบบจำลอง PCI พบว่าค่าใช้จ่ายร้อยละ 57 เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง รองลงมาเป็นค่าใช้จ่ายจากการบำรุงรักษาคิดเป็นร้อยละ 22 ค่าใช้จ่ายจากการสึกหรอของยางรถยนต์คิดเป็นร้อยละ16 และค่าใช้จ่ายน้ำมันเครื่อง รวมไปถึงค่าแรงตามลำดับ โดยได้แสดงตัวอย่างค่าใช้จ่ายในการใช้รถบนทางยกระดับ ดังแสดงในรูปที่ 11




**รูปที่ 11** สัดส่วนค่าใช้จ่ายการใช้รถยนต์

*4.1 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models และ PCI*

การศึกษานี้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models สามารถคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษ NOx, CO, HC และ $CO_2$ และแบบจำลอง PCI สามารถคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำมัน น้ำมันเครื่อง ค่าใช้จ่ายยางรถยนต์ ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุงรักษา ค่าแรง ดังนั้นจึงได้ทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models (SIDRA) มากกว่า PCI แบ่งเป็นบนทางยกระดับมากกว่าร้อยละ 7 และบนถนนพื้นราบมากกว่าร้อยละ 22 จากการทดสอบ t-Test พบว่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งได้แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงบนทางยกระดับจากแบบจำลอง SIDRA และ PCI ในรูปที่ 12




**รูปที่ 12** เปรียบปริมาณน้ำมันที่ได้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models (SIDRA) และ PCI

*4.2* ประเมินโอกาสเกิดอุบัติเหตุระหว่างทางยกระดับกับถนนพื้นราบ

สำหรับการประเมินความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุใช้สมการที่ 5 ในการประมาณค่าโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุพบว่าการใช้ทางยกระดับจะมีความเสี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุที่น้อยกว่า เนื่องจากการใช้ความเร็วตามกระแสจราจรได้อิสระ แต่ถนนพื้นราบมีสภาพการจราจรหนาแน่นติดขัด ใช้ความเร็วได้ต่ำ เคลื่อนตัวช้าสลับหยุดนิ่ง (Stop and Go) ทำให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุที่สูงกว่า เป็นไปตามการศึกษา Boonsiripant [5] (2009) พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation :STD) จากการเร่งความเร็ว หรือลดความเร็วของรถยนต์ (Acceleration Noise) มีผลต่อความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ โดยยกตัวอย่างด้านขาเข้าเมืองในช่วงเร่งด่วนเช้าความน่าจะเป็นของการเกิดอุบัติเหตุบนทางยกระดับน้อยกว่าถนนพื้นราบร้อยละ 15

*4.3 ผลประโยชน์เชิงเศรษฐศาสตร์*

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาผลของการเดินทางของรถยนต์ 2 คัน พร้อมกันระหว่างบนทางยกระดับกับถนนพื้นราบ เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาเดินทางและปริมาณการใช้น้ำมัน พร้อมทั้งได้ดำเนินการทดสอบ t-Test เพื่อให้มั่นใจว่ากลุ่มตัวอย่างครอบคลุมด้านการจราจร ที่ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 ที่ได้จากแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models (SIDRA) ในตารางที่ 2 พบว่าในเวลาเร่งด่วนเช้าด้านขาเข้าเมืองบนทางยกระดับต่อเที่ยวการเดินทาง มีผลการประหยัดได้ 119.55 บาท และในเวลาเร่งด่วนเย็นด้านขาออกเมืองต่อเที่ยวการเดินทางมีผลการประหยัดได้ 188.31 บาท ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ช่วงเร่งด่วนเย็นมีผลการประหยัดได้มากกว่าช่วงเร่งด่วนเช้า เนื่องจากถนนพื้นราบมีสภาพการจราจรติดขัด รถยนต์เคลื่อนตัวได้ช้าสลับหยุดนิ่ง (Stop and Go)

ผลการศึกษาในช่วงเวลาเร่งด่วนการเดินทางบนทางยกระดับสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายเชิงเศรษฐศาสตร์ได้เท่ากับ 1,284 ล้านบาทต่อปี ตลอดจนปัจจุบันจะเห็นได้ว่าทั่วโลกเกิดภาวะโลกร้อน เป็นเหตุให้หลายประเทศส่วนใหญ่หันมาตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งพบว่าการปล่อยมลพิษของรถยนต์บนทางยกระดับน้อยกว่าแบ่งเป็น NOx CO HC และ $CO_2$ ดังแสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลความประหยัดน้ำมัน และการปล่อยมลพิษจากการใช้ทางยกระดับในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น

| Inbound Rushour | | Price | | Rushour Traffic Volumn, Veh | Elevated Saving (261 Day) |
|---|---|---|---|---|---|
| Fuel,L /Trip | 0.10 | 35.78 | THB/L | 14,958 | 14,598,315 |
| Travel time (Min)/Trip | 29.95 | 3.87 | THB/Min | | 452,138,787 |
| Emission Reduction | | | | | |
| NOx (kg)/Trip | 0.0030 | 498.86 | THB/kg | | 5,798,355 |
| CO (kg)/Trip | 0.1088 | 14.07 | THB/kg | | 5,974,352 |
| HC (kg)/Trip | 0.0048 | 0.04 | THB/kg | | 757 |
| $CO_2$ (kg)/Trip | 0.2613 | 0.59 | THB/kg | | 601,803 |
| | | | | | |
| Outbound Rushour | | | | | |
| Fuel,L/Trip | 0.41 | 35.78 | THB/L | 15,909 | 61,422,898 |
| Travel time (Min)/Trip | 45.48 | 3.87 | THB/Min | | 730,159,904 |
| Emission Reduction | | | | | |
| NOx (kg)/Trip | 0.0027 | 498.86 | THB/kg | | 5,634,117 |
| CO (kg)/Trip | 0.0877 | 14.07 | THB/kg | | 5,124,100 |
| HC (kg)/Trip | 0.0065 | 0.04 | THB/kg | | 1,080 |
| $CO_2$ (kg)/Trip | 1.0336 | 0.59 | THB/kg | | 2,532,107 |
| **Total (THB)** | | | | | 1,283,986,574 |

**หมายเหตุ**

1) ปริมาณจราจรในทิศทางขาเข้าเมือง และขาออกเมือง ใช้ข้อมูลการนับปริมาณจราจร ของวันทำการตั้งแต่ จ.-ศ.(28 พ.ย.-2ธ.ค.2565)

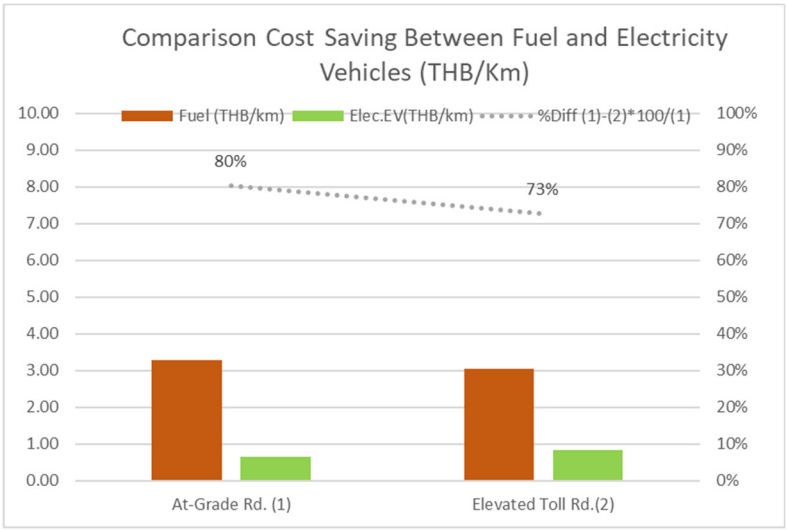
2) นำข้อมูลผลต่างความประหยัดได้จากตารางที่ 2 คูณปริมาณจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเร่งด่วนเย็น คูณจำนวนวันทำการที่ 261 วัน เท่ากับเป็นตัวแทนผลการประหยัดน้ำมัน และลดการปล่อยมลพิษบนทางยกระดับ 1 ปี

*4.4 การทดสอบรถยนต์ไฟฟ้า (EV Tollway SMART Drive)*

การศึกษานี้ยังมีความสนใจในเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ที่สามารถลดการปล่อยมลพิษบนท้องถนนให้เหลือศูนย์ จึงได้ทำการทดสอบการใช้รถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 2 คัน ออกเดินทางพร้อมกันระหว่างบนทางยกระดับ และถนนพื้นราบ ทดสอบไป 10 รอบการเดินทาง เป็นระยะทางมากกว่า 500 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 13

**รูปที่ 13** รถยนต์ไฟฟ้าทดสอบ และตำแหน่งสถานีชาร์จ

จากการเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์สันดาปและรถยนต์ไฟฟ้า เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าใช้ความเร็วที่ 40-60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ก่อให้เกิดความประหยัดเหมาะแก่การใช้งานในเมือง ซึ่งเมื่อแทนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 7.5 บาทต่อ Kwh อ้างอิงราคาไฟฟ้าของ ปตท. ช่วง Peak กลางวัน และใช้ราคาน้ำมัน Gasohol 95 อ้างอิงข้อมูล PTT ตั้งแต่วันที่ 15 ม.ค 2566 ถึง 10 ก.พ. 2566 ราคาเฉลี่ยเท่ากับ 35.78 บาทต่อลิตร พบว่าเมื่อเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้าถนนพื้นราบค่าใช้จ่ายลดลงร้อยละ 80 และทางยกระดับค่าใช้จ่ายลดลงร้อยละ 73 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 14




**รูปที่ 14** เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของรถยนต์สันดาป กับรถยนต์ไฟฟ้า

## 5. บทสรุป

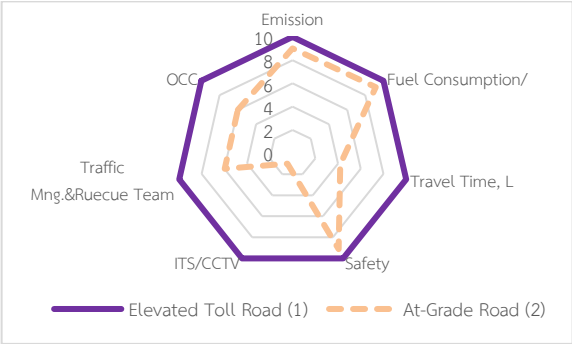
การศึกษานี้พบว่าการใช้ทางยกระดับในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเร่งด่วนเย็นก่อให้เกิดการประหยัดทั้งเวลา และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงช่วยลดการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยคิดเป็นการประหยัดต่อการเดินทาง ดังนี้

- น้ำมันประหยัดได้ต่อเที่ยวเท่ากับ 0.26 ลิตร คิดเป็นจำนวนเงิน 9.27 บาท
- เวลาประหยัดได้ต่อเที่ยวเท่ากับ 37.71 นาที คิดเป็นจำนวนเงิน 145.83 บาท
- ลดมลพิษทางอากาศ (NOx, CO, HC, $CO_2$) รวมกันต่อเที่ยวเท่ากับ 0.7542 กิโลกรัม คิดเป็นจำนวนเงิน 3.19 บาท
- น้ำมันประหยัดได้ต่อวันเท่ากับ 7,993.69 ลิตร คิดเป็นจำนวนเงิน 286,014.14 บาท
- เวลาประหยัดได้ต่อวันเท่ากับ 1,164,139.38 นาที คิดเป็นจำนวนเงิน 4,501,338.95 บาท
- ลดมลพิษทางอากาศ (NOx, CO, HC, $CO_2$) รวมกันต่อวันเท่ากับ 23,279.54 กิโลกรัม คิดเป็นจำนวนเงิน 98,324.91 บาท

สำหรับนอกเวลาเร่งด่วน รวมถึงวันหยุด การใช้ทางยกระดับ อาจจะพิจารณาเป็นทางเลือก โดยผู้ใช้ทางสามารถตรวจสอบข้อมูลข่าวสารด้านการจราจรจาก Application บนมือถือก่อนตัดสินใจเดินทาง

ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุบนทางยกระดับ น้อยกว่าบนถนนพื้นราบ เนื่องจากมาตรฐาน Freeway ที่ควบคุมการเข้า และออก การใช้ความเร็วในการขับรถยนต์ได้คงที่ ตลอดจนมีห้องศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการมีการตรวจการณ์เหตุผิดปกติผ่านกล้องโทรทัศน์วงจรปิดซึ่งเมื่อตรวจเจอเหตุผิดปกติก็จะประสานหน่วยงานกู้ภัยเพื่อเข้าช่วยเหลือเหตุโดยเร็วที่สุด มีการแจ้งข้อมูลข่าวสารแก่ผู้ใช้ทางล่วงหน้าผ่านป้ายบอกทางชนิดปรับเปลี่ยนข้อความได้ (Variable Message Sign: VMS) ป้ายบอกสถานะการปิด-เปิด ช่องทาง (Matrix Sign: MS) รวมถึงป้ายเตือนความเร็วที่เหมาะสม (Over Speed Warning :OSW)

สำหรับการบริหารจัดการจราจรบนทางยกระดับ มีการกำหนดค่าดัชนีชี้วัดในการเข้าถึงจุดเกิดเหตุ และมีการติดตั้งอุปกรณ์เทคโนโลยีที่คอยช่วยการบริหารจัดการจราจร ซึ่งทำให้ทีมงานมีความพร้อมตลอด 24 ชั่วโมง x 7 วัน ในการช่วยเหลือผู้ใช้ทางกรณีที่เกิดอุบัติการณ์ (White Ocean Management) จากผลการศึกษาแบบจำลอง Power Based-Motor Vehicle Models พบว่าบนทางยกระดับมีการปล่อยมลพิษน้อยกว่าร้อยละ 10 การสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยกว่าร้อยละ 9 สอดคล้องกับผลการศึกษา Sakda et al. [2] (2010) และระยะเวลาการเดินทางน้อยกว่าร้อยละ 58 สอดคล้องกับผลการศึกษาของปิยพงษ์ และคณะ [7] (2563) ตลอดจนความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุน้อยกว่าร้อยละ 9 รวมถึงมีจำนวนกล้อง CCTV มากถึง 535 ตัว และทีมงานกู้ภัยที่มีประสบการณ์ รวมถึงมีรถกู้ภัยรถยก คอยช่วยเหลือครอบคลุมรถยนต์ทุกประเภท จึงได้ประเมินคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง10 เปรียบเทียบการบริหารจัดการจราจรระหว่างบนทางยกระดับและถนนพื้นราบ ดังแสดงในรูปที่ 15




**รูปที่ 15** เปรียบเทียบคะแนนระหว่างทางยกระดับ และถนนพื้นราบ

การศึกษานี้ยังพิจารณาถึงเทคโนโลยีของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีแนวโน้มการเติบโตเพิ่มมากขึ้นในอนาคต จากการทดสอบการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (EV test Drive) สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากถึงร้อยละ 70-80 ซึ่งรถยนต์สันดาปมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 3 บาทต่อกิโลเมตร แต่รถยนต์ไฟฟ้ามีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 0.80 บาท ต่อกิโลเมตร รวมถึงการปล่อยมลพิษบนท้องถนนเป็นศูนย์

## 6. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้ใช้การจับเวลาการเดินทาง จากการใช้รถยนต์ทดสอบจำนวน 2 คัน จากนั้นนำข้อมูลมาจัดเก็บในแต่ละวันโดยใช้ MS-Excel ซึ่งข้อมูลที่บันทึกจาก GPS ทุก ๆ 1 วินาที เนื่องจากผู้วิจัยเก็บข้อมูลในไฟล์เดียว ส่งผลให้ไฟล์มีขนาดใหญ่ (ยกตัวอย่างใน 1 เที่ยวการเดินทาง ใช้ระยะเวลาเดินทาง 1 ชั่วโมง จะมีข้อมูลรายวินาทีจำนวน 3,600 วินาที ดังนั้นข้อมูล 132 เที่ยวการเดินทาง คูณ 3,600 วินาที จะมีจำนวนข้อมูลไม่ต่ำกว่า 475,200 ข้อมูล) ทำให้เกิดความล่าช้าในการประมวลผล ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรจะมีวิธีการจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบ โดยแยกข้อมูลจัดเก็บเป็นรายวัน รวมถึงคุณภาพของสัญญาณ GPS โดยเฉพาะการเก็บข้อมูลถนนพื้นราบเนื่องจากอยู่ใต้ทางยกระดับ และแนวอาคารสูง ส่งผลให้ในบางครั้งของการเก็บข้อมูลมีจุดอับสัญญาณทำให้รับสัญญาณ GPS ไม่ได้ เป็นเหตุให้ข้อมูลที่เก็บเกิดความคลาดเคลื่อน หากตรวจสอบพบว่าข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อนผู้วิจัยจะไม่นำข้อมูลการเดินทางบนทางยกระดับและถนนพื้นราบเที่ยวนั้นมาศึกษา ซึ่งหลังจากการเก็บข้อมูลทุกวันจะต้องดำเนินการจัดเก็บลงคอมพิวเตอร์ โดยการศึกษาในครั้งต่อไปผู้วิจัยอาจจะพิจารณาใช้แบบจำลองด้านการจราจรระดับจุลภาค (The Traffic Micro-Simulation Model) ในการพัฒนาศึกษาพฤติกรรมการจราจร ความเร็วในการเดินทาง รวมถึงการปล่อยมลพิษของรถยนต์ สำหรับข้อจำกัดของการวิจัยนี้เป็นเพียงการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำมัน และการปล่อยมลพิษจากสมการเท่านั้น อย่างไรก็ตามยังมีวิธีการอื่นในการศึกษาลักษณะเดียวกันนี้อีก เช่น สามารถติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า Emission ที่ท่อไอเสีย และดึงข้อมูล Acceleration และ Fuel Consumption จากยานพาหนะทดสอบได้โดยตรง และจะสามารถบันทึกค่าเหล่านี้ในตำแหน่งต่าง ๆ การทำเช่นนี้จะได้ค่าที่แน่นอน ชัดเจน มากกว่าการประมาณการจากสมการที่ระบุไว้ อันจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาครั้งต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากทีมงานผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือด้านข้อมูล ข้อแนะนำ จากคณะผู้บริหาร และเพื่อนพนักงาน บมจ.ทางยกระดับดอนเมือง ทุกท่านที่ให้ข้อมูลและสนับสนุนในงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] Hussein Dia, Sakda Panwai, Noppakun Boongrapue, Tu Ton and Nariida Smith. (2006). Comparative Evaluation of Power-Based Environmental Emissions Models. 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Toronto, Canada.

[2] Sakda Panwai, Charnwet Haripai, Chakrapan Tapkwa. (2010). Development of SIDRA-TRIP Integrated GPS Model to Evaluate Fuel Consumption/Emission on Expressway and Alternative Road. 17th ITS World Congress Busan, Korea, South.

[3] AKCELIK, R. & BESLEY, M. (2003). Operating cost, fuel consumption, and emission models in aaSIDRA and aaMOTION. 25th Conference of Australian Institutes of Transport Research.

[4] Wibisono, R E. Cahyono, M S D. Muhtadi, A. (2019). Analysis on calculation of Vehicle Operating Cost (VOC) at Gejayan intersection before and after fly over ring road operation in Yogyakarta. IOP Conf. Earth and Environmental Science 340 (2019) 012036. IOP Publishing.

[5] BOONSIRIPANT, S. (2009). Speed Profile Variation as a Surrogate Measure of Road Safety Based on GPS-Equipped Vehicle Data. Ph.D, Georgia Institute of Technology.

[6] ธันยารัตน์ เสถียรนาม, พัศพันธน์ ชาญวสุนันท์ และ ธเนศเสถียรนาม (2563). การศึกษามูลค่าเวลาการเดินทางของถนนสายรองในประเทศไทย.วารสารวิชาการ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, ปีที่ 31, ฉบับที่ 4, หน้า 47-61.

[7] ปิยพงษ์ จันทโชติ, วิรภพ เมฆพฤกษาวงศ์, กิตติคุณ รอดสกุล, ปณิก โพธิสาวัง, พรณรงค์ เลื่อนเพ็ชร, ธนานี ไต่เมฆ และรวิพันธุ์ เด็ดแก้ว, (2563). การประเมินความสามารถในการประหยัดระยะเวลาการเดินทางของทางพิเศษ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563.

[8] เบญจวรรณ องอาจ และเทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (2563). การประเมินผลการเปิดช่องจราจรสวนทางบนทางพิเศษฉลองรัช. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563.