

## ความสัมพันธ์ของจำนวนช่องเก็บผ่านทางรถบรรทุก กับสัดส่วนและปริมาณรถบรรทุกที่เข้าใช้บริการ

### The Relationship between a Numbers of Truck Toll Booths and Truck Volumes & Composition at Toll Plaza

นพคุณ บุญกระพือ<sup>1\*</sup> กฤษดา สกุลเต็ม<sup>2</sup> และ วีรพงศ์ นวลจันทร์<sup>3</sup>

<sup>1</sup> อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

<sup>2,3</sup> นักศึกษาปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

\*Corresponding author; E-mail address: noppakun@eng.buu.ac.th

#### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการวิเคราะห์จำนวนการเปิดช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางให้มีความเหมาะสมกับปริมาณและสัดส่วนรถบรรทุกที่เข้ามาใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทาง ด่านฯ ทับช้าง (ระบบเปิด) บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองถูกใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ มีการใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Aimsun) ในการจำลองด่านฯ โดยใช้ข้อมูลด้านเวลาเฉลี่ยในการเข้ารับบริการและอัตราการให้บริการสูงสุดของรถบรรทุกแต่ละประเภทในการปรับเทียบแบบจำลองให้มีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง จากนั้นได้มีการแปรเปลี่ยนทั้งปริมาณและสัดส่วนของรถบรรทุกแต่ละประเภทที่เข้าใช้บริการ เพื่อวิเคราะห์ จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางที่เหมาะสมในการเปิดให้บริการ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยได้มีพัฒนาต้นแบบ ตารางความล่าช้าที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตามปริมาณและสัดส่วนของรถบรรทุกแต่ละประเภทที่เข้าใช้บริการ เพื่อเป็นเครื่องในการกำหนดการเปิดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางรถบรรทุกได้อย่างเหมาะสม และส่งผลให้ลดความล่าช้า และแถวคอยบริเวณหน้าด่านฯ ลงได้

คำสำคัญ: แบบจำลองการจราจรเสมือนจริง, ด่านเก็บค่าผ่านทาง, ช่องเก็บค่าผ่านทาง, รถบรรทุก, สัดส่วนรถบรรทุก, ความล่าช้า

#### Abstract

The objectives of this research were to analyze the optimum number of Tollbooths that should be opened based on both volume and trucks composition. Tub Chang toll plaza (Open toll system on M9) were selected to be case study for this research. Microscopic Traffic Simulation (Aimsun) was used as a tool to develop the toll plaza. Service rates of each type of trucks were the major parameters for calibration process. To find the optimum numbers of tollbooth, both truck volumes and compositions were varied entering the network. As the

result of this research, the expected delay table for truck was developed to assist finding the optimum numbers of tollbooths should be opened under various truck volumes and compositions.

Keywords: Traffic Simulation, Toll plaza, Tollbooth, Truck, Truck composition, Delay

#### 1. บทนำ

##### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเศรษฐกิจของประเทศไทยได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ส่งผลให้มีการใช้ระบบขนส่งสินค้าและบริการต่าง ๆ เพิ่มขึ้น รถบรรทุกถือเป็นยานพาหนะหลักที่ใช้ในการขนส่งสินค้าและบริการ และเพื่อให้การเดินทางไปสู่จุดหมายปลายทางมีความสะดวก รวดเร็ว ส่งผลให้จำนวนรถบรรทุกที่ใช้เส้นทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองมีจำนวนที่สูงขึ้นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงโม่งเร่งด่วน ที่มีปริมาณรถบรรทุกที่เข้าใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทาง สูงกว่าความสามารถในการให้บริการ ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางและเกิดแถวคอยของรถบรรทุกที่รอเข้าชำระค่าผ่านทางบริเวณหน้าด่านฯ เป็นระยะทางที่ยาว

หนึ่งปัจจัยหลักที่จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้น คือ การเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางที่สอดคล้องกับปริมาณรถบรรทุกที่เข้าใช้บริการ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากรถบรรทุกมีความแตกต่างจากรถยนต์ส่วนบุคคล เนื่องจากมีขนาดที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ส่งผลให้เวลาที่เข้าใช้บริการ และอัตราการให้บริการของรถบรรทุกแต่ละขนาดมีความแตกต่างกันออกไปอย่างมีนัยยะสำคัญ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นความสำคัญในการศึกษาจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางสำหรับรถบรรทุกที่มีความเหมาะสมกับปริมาณและสัดส่วนรถบรรทุกที่เข้ามาใช้บริการ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการและช่วยบรรเทาปัญหาสภาพจราจรติดขัดของรถบรรทุกบริเวณหน้าด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่มีความเหมาะสมกับปริมาณและสัดส่วนรถบรรทุกที่เข้าใช้บริการด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง โดยอาศัยการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการประมวลผล

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่เหมาะสมกับสัดส่วนและปริมาณรถบรรทุกที่เข้าใช้บริการ และแบ่งรถบรรทุกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุก 6 ล้อ 10 ล้อ และมากกว่า 10 ล้อ ในด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางในระบบเปิด โดยใช้ ด่านทับช้าง บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง เป็นกรณีศึกษา ดังแสดงลักษณะกายภาพของด่านฯ ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ ของด่านทับช้าง 1 (ด้านากรณีศึกษา)

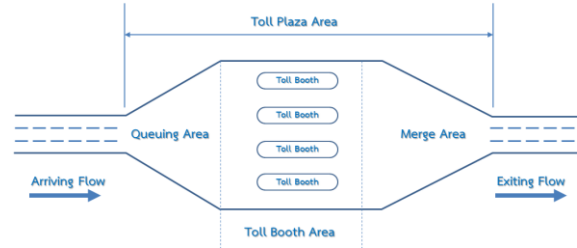
สำหรับตัวแปรด้านการจราจรที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ เวลาล่าช้า (Delay Time) ที่รถบรรทุกใช้ผ่านด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง โดยค่าความล่าช้านี้จะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งชี้ความเหมาะสมของจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทาง แบบจำลองการจราจรเสมือนจริงระดับจุลภาค AIMSUN ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ด่านเก็บค่าธรรมเนียม ทั้งนี้จำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่ทำการศึกษานี้สำหรับรถบรรทุกจะอยู่ในช่วง 1 - 5 ช่อง

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง

ด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง คือ พื้นที่สำหรับเก็บค่าธรรมเนียมในการผ่านทาง สำหรับถนนที่ต้องการเก็บค่าธรรมเนียมจากผู้ใช้งานเป็นถนนที่มีการควบคุมทางเข้าและออก มีมาตรฐานการออกแบบระดับชั้นทางพิเศษ มีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ใช้งานเพื่อให้สามารถเดินทางได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย

โดยลักษณะกายภาพในบริเวณพื้นที่ที่ใช้เก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทาง [1]

- *Approaching Area* คือ ส่วนของพื้นที่บริเวณหน้าด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่
  - 1) Approach Zone คือ พื้นที่เริ่มขยายของช่องจราจร เพื่อเชื่อมต่อกันกับเขตของแถวคอย (Queue Zone)
  - 2) Queue Zone คือ บริเวณที่คาดว่าจะเกิดแถวคอยจากการรอรับบริการ มีจำนวนช่องจราจรเท่ากับช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง
- *Toll Booth Area* คือ พื้นที่เก็บค่าผ่านทาง ซึ่งประเภทของช่องเก็บค่าผ่านทางในประเทศไทยมี 2 ประเภทคือ
  - 1) ระบบเก็บค่าผ่านทางด้วยเงินสด (Manual Toll Collection) โดยผู้ใช้ทางเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางด้วยเงินสด ซึ่งระบบเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางนี้มีความสามารถมีอัตราการให้บริการรถยนต์ (4 ล้อ) ได้ประมาณ 500 - 550 คันต่อชั่วโมง (ระบบเปิด)
  - 2) ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection) การเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการนำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้เพิ่มประสิทธิภาพระบบเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง สามารถระบายรถยนต์ (4 ล้อ) ได้ประมาณ 800 - 1,200 คันต่อชั่วโมง
- *Merging Area* คือ พื้นที่บริเวณนี้ด้านหลังด่านฯ โดยจะประกอบไปด้วยพื้นที่ 2 ส่วน คือ
  - 1) Recovery Zone เป็นพื้นที่เพื่อผู้ใช้ทางได้ปรับความเร็วเข้าสู่เส้นทางปกติโดยมีจำนวนช่องจราจรเท่ากันและขนานไปกับช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง
  - 2) Departure Zone เป็นบริเวณที่ลดจำนวนช่องจราจรให้กลับจำนวนช่องจราจรปกติ

## 2.2 ระบบเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทาง

ระบบเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทางแบบเปิด (opened System) เป็นรูปแบบการเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทางในอัตราที่คงที่ โดยผู้ใช้ทางต้องชำระค่าบริการตามประเภทของยานพาหนะที่เข้ารับบริการ โดยไม่คำนึงถึงระยะทาง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทางแบบระบบเปิด

## 2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระแสจราจร

- อัตราการไหล (Flow,  $q$ ) คือ จำนวนของยานพาหนะที่วิ่งผ่านจุดอ้างอิงบนถนนที่ได้กำหนดไว้ ต่อทิศทางต่อช่องจราจร โดยทั่วไปมีหน่วย คันต่อชั่วโมง
- อัตราการให้บริการ (Service Rate) คือ จำนวน ยานพาหนะที่ผ่านจุดที่กำหนดในหน่วยให้บริการได้ในเวลาที่กำหนด ซึ่งจะเปรียบเทียบกับอัตราการไหล เมื่อใช้หน่วย คัน/ชม
- ระยะเวลาการเข้ารับบริการ (Time Service Rate) คือ เวลาที่ยานพาหนะใช้ในการเข้ารับบริการในหน่วยให้บริการ หน่วยเป็น วินาที/คัน
- ระยะเวลาห่าง (Headway) คือ ช่วงเวลาห่างของ ระหว่างยานพาหนะ 2 คันที่วิ่งตามกันมา ซึ่งผ่านตำแหน่งอ้างอิงที่กำหนดไว้ หน่วยเป็น วินาที โดยส่วนกลับของเวลาห่างนี้ คือ อัตราการไหล
- ความเร็ว (Speed) คือ อัตราการเคลื่อนที่ในหน่วยของ ระยะทางต่อเวลา มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ความหนาแน่น (Density) คือ จำนวนยวดยานที่ ครอบครองพื้นที่ผิวจราจรในช่วงความยาวถนนหรือช่องจราจรที่กำหนด มีหน่วยเป็น คันต่อกิโลเมตร
- เวลาในการเดินทาง (Travel Time) คือ เวลาทั้งหมดที่ ยวดยานใช้ในการเคลื่อนที่จากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทาง
- ความล่าช้า (Delay Time) คือ ระยะเวลาในการเดินทางที่สูญเสียไปอันเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ทางจราจร โดยสามารถคำนวณได้จากผลต่างของเวลาในการเกิดทางที่เกิดขึ้นจริง กับเวลาในการเดินทางด้วยความเร็วคงที่ ในสภาพการจราจรที่คล่องตัว

## 2.4 ระดับการให้บริการ (Level of service)

เนื่องจากไม่มีหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการกำหนดระดับการให้บริการสำหรับด้านเก็บค่าผ่านทาง อย่างไรก็ตามมีการศึกษาและวิจัยที่ได้พยายามทำการศึกษาในหัวข้อนี้ โดยอาจจะมีแนวทางที่แตกต่างกันออกไปในการเลือกใช้ตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการประเมิน ตัวอย่างเช่น Lin and Su ในปี ค.ศ 1994 [2] ได้มีการกำหนดใช้ค่าความยาวแถวคอยเฉลี่ย และเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ เป็นตัวแปรในการประเมินด้านฯ โดยเวลาเฉลี่ยที่จะเป็นตัวกำหนดระดับของความล่าช้า ซึ่งได้อ้างอิงค่าของระดับการให้บริการที่พิจารณาความล่าช้าบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์ของระดับการให้บริการ ของด้านเก็บค่าผ่านทาง [2]

LOS	Line length (L vehicles)	Delay Time, (T) (วินาทีต่อคัน)
A	$\leq 1$	$\leq 15$
B	$1 < L \leq 2$	$15 < T \leq 30$
C	$2 < L \leq 3$	$30 < T \leq 45$
D	$3 < L \leq 6$	$45 < T \leq 60$
E	$6 < L \leq 10$	$60 < T \leq 80$
F	$> 10$	$> 80$

## 2.5 ประเภทของรถบรรทุก

การเข้ารับบริการในช่องเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทาง มีลักษณะของรถบรรทุกที่เข้ารับบริการหลากหลายรูปแบบ ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาระเบียงของรถบรรทุกที่มาใช้บริการช่องเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทาง โดยสามารถจำแนกประเภทตามขนาดและรูปร่างของรถบรรทุก รายละเอียดแสดงในรูปที่ 4

### 1) รถบรรทุก 6 ล้อ



### 2) รถบรรทุก 10 ล้อ



### 3) รถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ



รูปที่ 4 ตัวอย่างรถบรรทุกขนาดต่างๆ

## 2.6 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเสมือนจริง

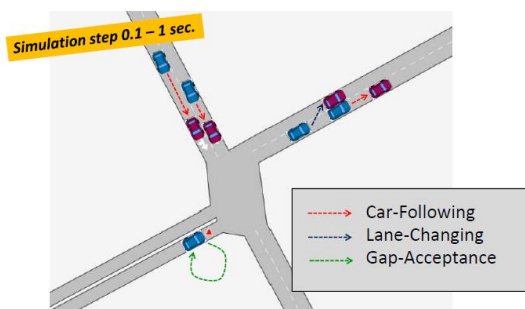
โปรแกรมจำลองสภาพจราจร AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non - urban Network) เป็นแบบจำลอง สภาพจราจรระดับจุลภาค พัฒนาโดย J.Boacelo และ J.L. Ferrer ที่ Polytechnic University of Catalunya เมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน ในปี ค.ศ.1997 เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านการจราจรที่หลากหลาย และถือเป็นหนึ่งในโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงไม่ว่าจะพิจารณาในมุมมองของ ความสะดวกในการสร้างหรือปรับเปลี่ยนโครงข่ายถนน ตัวแปรด้านการจราจรต่าง ๆ สามารถจำลองและวิเคราะห์โครงข่ายจราจรได้หลากหลายระดับ ทั้งในระดับ Microscopic Mesoscopic Hybrid และ Macroscopic โดยใช้โครงข่ายที่สร้างขึ้นโครงข่ายเดียวกันในการวิเคราะห์

สำหรับแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง ระดับจุลภาค จะเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะรายคัน โดยที่การเคลื่อนที่ของยานพาหนะนั้น จะมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของยานพาหนะนั้นๆ และ สภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยที่ ความเร็ว ความเร่ง และตำแหน่งของรถแต่ละคัน จะถูกคำนวณในทุกๆ Simulation step ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ แบบจำลอง 3 อย่างด้วยกัน [3] คือ

- แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกัน (Car-Following Model)
- แบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane-Changing Model)
- แบบจำลองช่องว่างที่ยอมรับ (Gap-Acceptance Model)

ทุกๆ Simulation step ความเร็วและตำแหน่งของรถทุกคันจะถูกทำการปรับปรุง (Update) ด้วยหลักการดังนี้

- ยานพาหนะไม่ต้องเปลี่ยนช่องจราจร ให้ใช้ แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกัน แต่ถ้ายานพาหนะต้องเปลี่ยนช่องจราจร ให้ใช้แบบจำลองในการเปลี่ยนช่องจราจรตามยุคที่ใช้ สำหรับบริเวณทางแยก ที่มีป้ายหยุด (Stop sign) หรือป้ายให้ทาง (Give way sign) ยานพาหนะจะใช้แบบจำลองช่องว่างที่ยอมรับ ในการพิจารณาออกตัว รายละเอียดตัวอย่างสถานการณ์ที่ใช้แบบจำลองทั้ง 3 แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างสถานการณ์การเลือกใช้แบบจำลองต่างๆ [3]

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

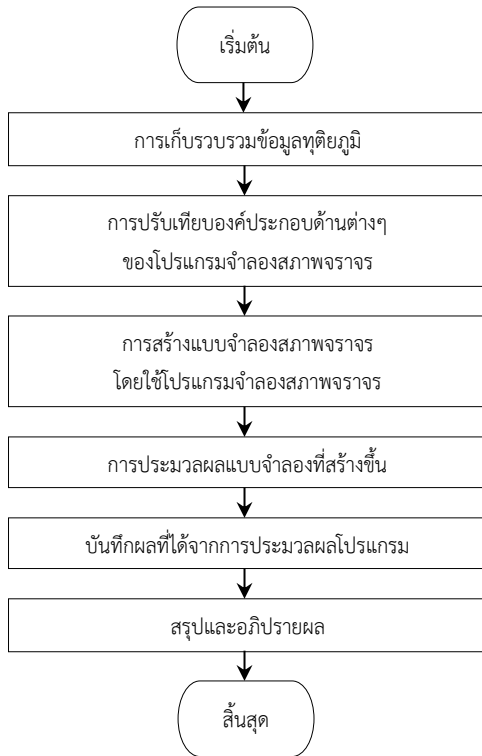
ในปี ค.ศ. 2005 Poon และ Dia [4] ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ประเมินรูปแบบของการประยุกต์ใช้ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (E toll system) เพื่อรองรับปริมาณจราจรที่คาดการณ์ในอนาคต ณ ด้านเก็บค่าผ่านทางบริเวณสะพานเกตเวย์ เมืองบริสเบน รัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย โดยในการวิจัยได้มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงระดับจุลภาค (Aimsun) มาประยุกต์ใช้ในการประเมินผล โดยขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลองได้มีการใช้เวลาในการเดินทางผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางเป็นตัวเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาแสดงว่าการนำระบบช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติมาใช้ 4 - 6 ช่องเก็บค่าผ่านทาง จะช่วยให้ระยะเวลาในการเดินทางลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ในปีที่ใช้ และจะเวลาในการเดินทางเฉลี่ยลดลงถึง 4 เท่า สำหรับปีอนาคต และยังช่วยให้ผู้ใช้ช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ ใช้เวลาเดินทางเร็วกว่าช่องเงินสดมากถึง 10 เท่า

ธีรพจน์ ศิริไพโรจน์ และคณะ [5] ได้มีการใช้แบบจำลองเสมือนจริงระดับจุลภาคในการวิเคราะห์แผนการติดตั้งระบบช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ ณ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางลาดกระบัง และทับช้าง บนทางพิเศษ หมายเลข 7 และ 9 ตามลำดับ ซึ่งอัตราการให้บริการ (Service rate) และ ความยาวแถวคอยถูกนำมาใช้ในการปรับแก้แบบจำลอง ซึ่งในการวิเคราะห์จะพิจารณาความล่าช้า ณ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งถ้ามีค่ามากกว่า 112 วินาที จะเป็นระดับการให้บริการ F โดยในการวิจัย ได้มีการแบ่งรูปแบบของการเก็บค่าผ่านทางออกเป็น ระบบเงินสด เพิ่มระบบ M-Pass (ETC) ระบบ Single Lane Free Flow (SLFF) และมีการประยุกต์ใช้ระบบ Multi-lane Free Flow (MLFF) โดยได้มีการวิเคราะห์พบว่าเมื่อมีการประยุกต์ใช้ MLFF ในปีอนาคต ส่งผลให้เกิดความล่าช้าน้อยกว่า 30 วินาที และความยาวแถวคอยหน้าด่านมีระยะทางน้อยกว่า 100 เมตร

## 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง (Toll Booth) บนทางพิเศษสายหลักที่เหมาะสมกับปริมาณรถบรรทุกประเภทต่างๆ ที่เข้าชำระค่าบริการด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางระบบเปิด โดยเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งมีความยาวแถวคอย (Queue Length) และค่าเวลาล่าช้า (Delay Time) เป็นเกณฑ์ในแบ่งค่าความเหมาะสม โดยเป็นการศึกษาในแบบจำลองสภาพจราจรเป็นส่วนใหญ่ และมีขั้นตอนในการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 6





รูปที่ 6 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การรวบรวมข้อมูลทฤษฎี

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัย การศึกษาถึงอัตราการให้บริการสูงสุดสำหรับรถบรรทุกในแต่ละประเภท ณ ช่องเก็บค่าผ่านทางในระบบเปิด [6] โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการให้บริการสูงสุดของช่องเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทางสำหรับรถบรรทุก ในด้านเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทางทับข้าง (ระบบเปิด) [6]

ประเภทรถบรรทุก	อัตราการให้บริการสูงสุด (คัน/ชั่วโมง)
รถบรรทุก 6 ล้อ	360
รถบรรทุก 10 ล้อ	300
รถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ	250

นอกจากนี้ยังรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับขนาดรถบรรทุก เพื่อใช้สร้างแบบจำลอง โดยอ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60 พ.ศ.2552 ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ.2552 กำหนด เลือกใช้ค่าช่วงความยาวของรถบรรทุกตามประเภท โดยแบ่งรถบรรทุก ออกเป็น 3 ประเภท คือ รถบรรทุก 6 ล้อ มีความยาว 6-8 เมตร รถบรรทุก 10 ล้อ มีความยาว 10-15 เมตร และ รถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ มีความยาว 16-20 เมตร

### 3.2 การเปรียบเทียบ (Calibration) องค์ประกอบด้านต่างๆของ แบบจำลองสภาพจราจร

การเปรียบเทียบค่าที่เกี่ยวข้องในแบบจำลอง คือ เวลาในการให้บริการ (Time Service Rate), และเวลาตอบสนองของผู้ขับขี่ (Reaction time)

โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Reaction Time at Stop และ Reaction Time at Traffic Light ซึ่งปรับเทียบโดยการ นำข้อมูลทฤษฎีที่มีอัตราการให้บริการสูงสุดและขนาดรถแต่ละประเภท ป้อนในโปรแกรมแบบจำลอง เพื่อทำการปรับค่าตัวแปรข้างต้นให้ได้ค่าใกล้เคียงกับอัตราการให้บริการสูงสุดที่อ้างอิง

### 3.3 การสร้างแบบจำลองจราจร บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจร (AIMSUN)

1) นำเข้าภาพถ่ายทางอากาศของด่านเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทาง ในพื้นที่ ด่านเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทางทับข้าง ถูกใช้เป็นกรณีศึกษา ป้อนเข้าสู่โปรแกรมเพื่อใช้จำลองลักษณะทางกายภาพบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ภาพถ่ายทางอากาศของด่านเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทาง

2) ทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายของด่านเก็บค่าธรรมเนียนผ่านทาง โดยใช้ฟังก์ชันต่างๆ ของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร AIMSUN ให้ใกล้เคียงกับข้อมูลตามภาพถ่ายดาวเทียมที่ป้อนเข้าโปรแกรมจากข้อ 1) เช่น จำนวนและขนาดของช่องจราจร ตำแหน่งและรูปแบบของช่องเก็บค่าผ่านทาง เป็นต้น รูปที่ 8 แสดงตัวอย่าง ด่านเก็บค่าผ่านทางในแบบจำลอง



รูปที่ 8 แบบจำลองจากโปรแกรมจำลองสภาพจราจรของด่านฯ

3) นำข้อมูลองค์ประกอบและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ อัตราการให้บริการสูงสุด, ขนาดรถแต่ละประเภท, เวลาในการให้บริการ, เวลาตอบสนองของผู้ขับขี่ และปริมาณจราจรทั้งหมดป้อนเข้าสู่แบบจำลอง

### 3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราการระบายรถบรรทุกที่ได้จากแบบจำลองกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการสำรวจ โดยใช้หลักเกณฑ์ของ Department for Transport UK

Highways Agency's Design Manual for Roads & Bridges (DMRB) ของประเทศอังกฤษ [7] สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองระดับจุลภาค กำหนดให้ใช้ค่า GEH ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบ ดังนี้

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

M คือ ปริมาณการจราจรที่ได้จากแบบจำลอง

C คือ ปริมาณการจราจรของการสำรวจจริง

หากค่า GEH ร้อยละ 85 มีค่าน้อยกว่า 5 ถือได้ว่าข้อมูลที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีความคลาดเคลื่อนน้อย ระหว่าง 5.0 - 10.0 ควรได้รับการรับรองผลการสำรวจ หากค่า GEH มากกว่า 10.0 ข้อมูลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบแบบจำลอง โดยจะใช้ อัตราการระบายรถบรรทุกสูงสุดบริเวณด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางเป็น ตัวชี้วัด จากการประมวลผลโปรแกรมจำลองสภาพจราจร 3 ครั้ง โดยมีผลจากการตรวจสอบ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ระบบเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง	ประเภทรถบรรทุก	อัตราการให้บริการสูงสุด (คัน/ชั่วโมง)		GEH
		ข้อมูลจากสนาม	ข้อมูลจากแบบจำลองเฉลี่ย 3 ครั้ง	
ระบบเปิด	6 ล้อ	360	367	0.367
	10 ล้อ	300	302	0.115
	> 10 ล้อ	250	245	0.318

เห็นได้ว่าค่า GEH มีค่าน้อยกว่า 5 ทั้งหมด ซึ่งถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีความคลาดเคลื่อนน้อย จึงสรุปได้ว่าผลที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมจำลองสภาพจราจรแล้วหาค่าเฉลี่ย 3 ครั้ง มีความถูกต้องและเหมาะสมสามารถนำไปใช้เพื่อการวิเคราะห์ผลต่อไป

## 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

### 4.1 ผลจากการปรับเทียบองค์ประกอบต่าง ๆ ของด้านฯ

1) จากการปรับเทียบค่าเวลาการให้บริการของด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางในแบบจำลอง ผลของการปรับเทียบในด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางระบบเปิด มีค่าเวลาในการให้บริการของด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เวลาในการให้บริการของด้านฯ ระบบเปิด

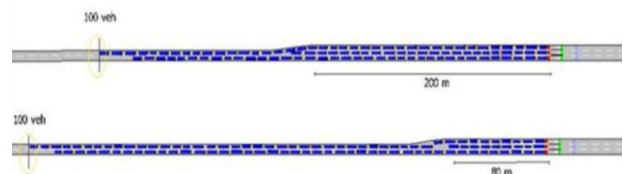
ประเภทรถบรรทุก	เวลาการให้บริการขณะหยุด (วินาที)	อัตราการให้บริการสูงสุด (คัน/ชั่วโมง)	
		จากแบบจำลอง	ค่าอ้างอิง
6 ล้อ	2.80	338	360
10 ล้อ	2.80	286	300
> 10 ล้อ	3.40	244	250

2) จากการปรับเทียบค่าเวลาการตอบสนองของผู้ขับขี่ด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง พบว่ายังไม่ตรงกับอัตราการให้บริการรถบรรทุกสูงสุดที่ต้องการ จึงทำการการปรับค่าเวลาการตอบสนองของผู้ขับขี่ เพื่อให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากยิ่งขึ้น มีผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลค่าเวลาการตอบสนองด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางระบบเปิด

ประเภทรถบรรทุก	เวลาการให้บริการขณะหยุด (วินาที)	Reaction Time at stop (วินาที)	Reaction Time at Traffic (วินาที)	อัตราการให้บริการสูงสุด (คัน/ชั่วโมง)
6 ล้อ	2.80	0.80	1.05	350
10 ล้อ	2.80	1.00	1.10	300
> 10 ล้อ	3.40	1.30	1.35	250

3) จากการปรับเทียบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ทำการ ทดสอบเพื่อตรวจสอบปัจจัยที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาความเหมาะสม ของจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางต่อปริมาณรถบรรทุก พบว่าตัวแปรความยาวแถวคอย (Queue Length) อาจไม่ใช่ตัวแปรที่เหมาะสมมากนัก เนื่องจากเมื่อลักษณะทางกายภาพของด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่แตกต่างกัน อาจส่งผลให้ความยาวแถวคอยแตกต่างกันไปด้วย ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 8 กายภาพหน้าด่านไม่เหมือนกัน ส่งผลให้ความยาวแถวคอยไม่เท่ากัน ทั้งๆที่ปริมาณจราจร และความล่าช้าเท่ากัน สำหรับค่าความล่าช้า (Delay Time) แม้ลักษณะทางกายภาพของด้านชำระค่าธรรมเนียมผ่านทางต่างกัน แต่ใช้เวลาการระบายรถเท่ากันสะท้อนว่า ความล่าช้ามีค่าเท่ากันไปด้วย งานวิจัยนี้จึงได้เลือกตัวแปรด้านเวลาอย่างค่าความล่าช้า (Delay Time Criteria) มาใช้ในการวิเคราะห์



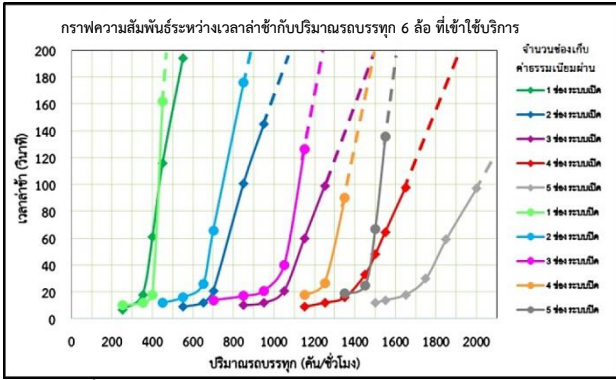
รูปที่ 8 เปรียบเทียบลักษณะของกายภาพด้านฯ ส่งผลถึงความยาวแถวคอย โดยที่ความล่าช้าที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากัน

### 4.2 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลอง

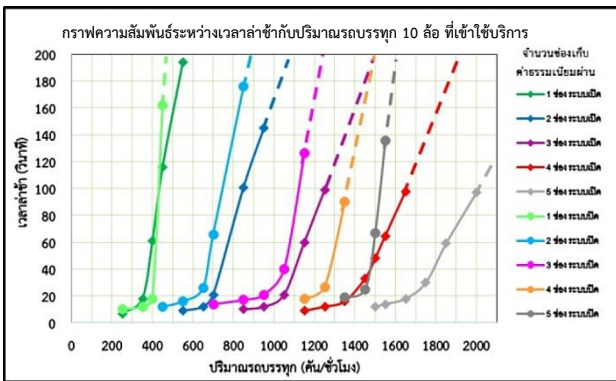
งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองด้านเก็บค่าผ่านทางขึ้น เพื่อทำการทดสอบแบบจำลอง ด้านชำระค่าผ่านทางในการวิเคราะห์ผลที่ได้ตามวัตถุประสงค์ของการ โครงการวิจัยนี้

#### 4.2.1 การประมวลผลแบบจำลองแยกตามประเภทของรถบรรทุก

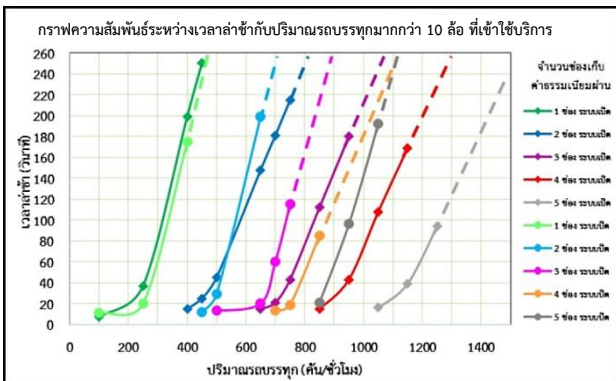
ผู้วิจัยได้ทำการทดลองแบบจำลองโดยการทดสอบผล สัดส่วนรถบรรทุกทั้ง 3 ขนาด ซึ่งทำการทดสอบกำหนดให้รถบรรทุกมี 3 ขนาด คือ รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 10 ล้อ และ รถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ ให้มีสัดส่วนของรถบรรทุกแต่ละประเภทเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์ โดยจากการ ผลการทดสอบที่ได้ ซึ่งมีรายละเอียดดัง แสดงในรูปที่ 9 - 11



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาล่าช้ากับปริมาณรถบรรทุก 6 ล้อ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาล่าช้ากับปริมาณรถบรรทุก 10 ล้อ



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาล่าช้ากับปริมาณรถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ

จากกราฟความสัมพันธ์ในข้างต้น เป็นการประมวลผลจากแบบจำลอง โดยแยกแสดงผลตามประเภทของรถบรรทุกและปริมาณของรถบรรทุก และเนื่องด้วยข้อจำกัดด้านการแสดงผลจากกราฟ เพื่อที่จะสะท้อนสัดส่วนของรถบรรทุก ทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้น เพื่อให้สามารถวิเคราะห์สัดส่วนที่มีรถบรรทุกทั้ง 3 ประเภทรวมกัน ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ตารางในการแสดงผลข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

#### 4.2.2 การประมวลผลแบบจำลองด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางระบบเปิด

จากการประมวลผลแบบจำลองตามค่าสัดส่วน และปริมาณของรถบรรทุกที่กำหนด ในด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางระบบเปิด ผลการทดสอบที่แสดงความเหมาะสมระหว่างจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางกับสัดส่วนของรถบรรทุก โดยใช้ค่าเวลาล่าช้าที่เกิดขึ้นเป็นตัวบ่งชี้ มีรายละเอียดดังตารางที่ 6

โดยการแสดงข้อมูลในรูปแบบของตาราง จะทำการไล่ระดับสีของข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรม โดยใช้เกณฑ์เวลาล่าช้า (Delay Time) ที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร ที่ 80 วินาทีในระบอบการให้บริการ E จากบทวิจัยของ Lin & Su (1994) [2] มาช่วยเป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง ดังนี้

**โทสนีเขียวถึงเขียวอ่อน** หมายถึง ค่าเวลาล่าช้า (Delay Time) ที่มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่เกิน 80 วินาที, พิจารณาว่ามีความเหมาะสม

**โทสนีเหลืองถึงส้มอ่อน** หมายถึง ค่าเวลาล่าช้า (Delay Time) ที่มีค่าประมาณสองเท่าของเวลาล่าช้าที่ใช้เป็นเกณฑ์ (ระหว่าง 81 วินาทีถึง 160 วินาที) ซึ่งเป็นเวลาล่าช้าที่เหมาะสมปานกลาง

**โทสนีส้มเข้มถึงแดง** หมายถึง ค่าเวลาล่าช้า (Delay Time) ที่มีค่ามากกว่าสองเท่า จนถึงประมาณสามเท่าของเวลาล่าช้าที่ใช้เป็นเกณฑ์ (มากกว่า 161 วินาทีขึ้นไป) ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่อาจไม่เหมาะสมมากนัก

การที่จะใช้ตารางแสดงผลการประมวลผลนั้น ผู้ที่สนใจศึกษาต้องทราบถึงปริมาณและสัดส่วนของรถบรรทุกที่เข้ามาใช้บริการด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง และนำมาเปรียบเทียบกับเวลาความล่าช้าที่เกิดขึ้นเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่เหมาะสม

#### 4.2.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ผลการวิเคราะห์

เมื่อทราบข้อมูลปริมาณจราจรของรถบรรทุกที่เข้าใช้บริการด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางจำนวน 850 คัน/ชั่วโมง และสัดส่วนรถบรรทุก 6 ล้อ = 60 % รถบรรทุก 10 ล้อ = 30 % และ รถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ = 10 % ซึ่งในปัจจุบันเปิดให้บริการช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางสำหรับรถบรรทุกอยู่ 2 ช่อง จึงนำข้อมูลดังกล่าว มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากงานวิจัย แสดงตัวอย่างการใช้งานในรูปที่ 10

สัดส่วนรถบรรทุกแยกประเภท (%)	1. ช่องเก็บค่าธรรมเนียม			2. ช่องเก็บค่าธรรมเนียม			3. ช่องเก็บค่าธรรมเนียม					
	ปริมาณ (คัน/ชั่วโมง)			ปริมาณ (คัน/ชั่วโมง)			ปริมาณ (คัน/ชั่วโมง)					
6 ล้อ 10 ล้อ > 10	250	350	450	550	650	700	850	950	1050	1150	1250	
0 0 100	37	151	199	250	91	148	181	174	212	151	182	
0 100 0	8	90	153	190	240	13	64	103	118	60	116	141
40 40 20	8	81	134	183	239	13	53	91	116	59	114	141
40 50 10	8	68	129	172	234	12	48	81	112	40	103	141
40 60 0	8	54	114	162	231	10	21	79	110	24	81	136
60 20 20	8	51	118	170	235	11	43	80	111	24	90	130
60 30 10	8	31	97	147	221	10	17	69	146	12	15	77
60 40 0	8	31	97	147	221	10	17	69	146	12	15	71
80 10 10	8	19	94	139	220	10	15	34	139	187	12	15
80 20 0	7	13	79	137	215	9	13	22	124	159	11	13
100 0 0	7	11	61	116	194	9	12	16	104	145	10	12

รูปที่ 10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ด้านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางระบบเปิด





[5] อีรพจน์ ศิริไพโรจน์, เอกชัย สุมาลี และ สุวิชาณ สุระบาล (2559) งานศึกษาด้านจราจรเพื่อจัดทำแผนแม่บทด้านการพัฒนาระบบจัดเก็บค่าธรรมเนียมบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ* ปีที่ 11 ฉบับที่ 1

[6] นพคุณ บุญกระพือ, นิตยา มหาชินโรส และพฤกษชาติ เผือกพิพัฒน์ (2563) การศึกษาอัตราค่าให้บริการสูงสุด สำหรับช่องเก็บค่าผ่านทางรถบรรทุก ในระบบระบบเปิด และระบบปิด. *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี*

[7] The Highway Agency (1996). Design Manual for Roads and Bridges (DMRB), Vol. 12, *Department of Transport, UK*