รหัสโครงการ SUT7-704-55-12-36

รายงานการวิจัย

การประเมินผลกระทบด้านการจราจรของการออกแบบช่องเก็บค่าผ่านทางระบบอัตโนมัติของประเทศไทย

(The Traffic Evaluation of Electronic Toll Collection System Design in Thailand)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-704-55-12-36

รายงานการวิจัย

การประเมินผลกระทบด้านการจราจรของการออกแบบช่องเก็บค่าผ่านทางระบบอัตโนมัติของประเทศไทย

(The Traffic Evaluation of Electronic Toll Collection System Design in Thailand)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์กาญจน์กรอง สุอังคะ

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายสนณรงค์ สุอังคะ

นางสาวรุ่งอรุณ บุญถ่าน

รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2556

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2555 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ว่าการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์เจ้าหน้าที่ในการอำนวยความสะดวกในการสำรวจข้อมูลภาคสนาม รวมทั้งคณะทำงานของโครงการวิจัยนี้ทุกคนที่ช่วยให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ประโยชน์ของผลงานวิจัยจะเกิดขึ้นมิได้ หากผู้ที่เกี่ยวข้องมิได้นำไปสู่การปฏิบัติ คณะผู้วิจัยจึงขอมอบคุณความดี หรือประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากผลงานวิจัยนี้ แด่ผู้ที่มีใจรักและต้องการพัฒนาระบบการคมนาคมขนส่งของประเทศให้มีความประสิทธิภาคและยั่งยืนสืบไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้บริการทางพิเศษ ในการตัดสินใจเลือกชำระเงินค่าผ่านทางด้วยช่องเก็บเงินอัตโนมัติ (ETC) รวมถึงศึกษาการกำหนดจำนวนช่องเก็บเงิน และการจัดวางตำแหน่งของช่องเก็บเงิน ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจากการกำหนดสถานการณ์ต่างๆ จาก 3 ตัวแปรหลัก ได้แก่ ตัวแปรสัดส่วนการใช้ระบบ ETC ตัวแปรการจัดตำแหน่งด่านเก็บเงิน และตัวแปรปริมาณจราจร รวมสถานการณ์จำลองทั้งสิ้น 126 สถานการณ์ จากผลการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2556 มีผู้ใช้ระบบ ETC เป็นสัดส่วนร้อยละ 22 ของผู้ใช้ระบบทางด่วนทั้งหมด และจากการเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินแบบอัตโนมัติ จำนวน 1 ช่อง จะทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางมีการลดลงภายใต้ปริมาณรถที่ใช้ระบบ ETC ไม่เกิน 1,200 คันต่อชั่วโมง และการเพิ่มช่องเก็บเงินอัตโนมัติ จำนวน 2 ช่อง จะทำให้รองรับปริมาณจราจรของรถที่ใช้ ระบบ ETC ในช่วง1,200 ถึง 1,800 คันต่อชั่วโมง นอกจากนี้ในส่วนของการกำหนดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติพบว่าการเพิ่มจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติเพียง 1 ช่อง เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งของช่อง ETC อยู่ด้านขวา จะทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางต่ำสุด และเมื่อมีการเพิ่มช่อง ETC เป็น 2 ช่อง นั้น การกำหนดให้ช่อง ETC อยู่ช่องขวาสุด 1 ช่องและช่องกลาง 1 ช่อง จะทำให้มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางผ่านด่านเก็บเงินมีค่าน้อยกว่าการกำหนดตำแหน่งรูปแบบอื่น ผลการศึกษานี้ยังแสดงถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้แบบจำลองจราจรระดับจุลภาคเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการออกแบบช่องเก็บค่าผ่านทางกับพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการศึกษาไปใช้วิเคราะห์กับพื้นที่ใกล้เคียงและมีสัดส่วนปริมาณจราจรใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางต่อไป

คำสำคัญ: ช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ, ความล่าช้าเฉลี่ยแถวคอย, การจัดรูปแบบช่องเก็บค่าผ่านทาง

ABSTRACT

This research explored behaviors of toll way users that impact their decision to use the Electronic Toll Collection System (ETC). It also went on to explore and evaluated the efficiency of toll plaza in terms of number of ETC booths in toll plaza and its lane location. The three main parameters selected for the scenarios analyzed were (1) the varying ration of ETC enabled users (2) the varying locations of the dedicated ETC lane and (3) total vehicle volumes at the toll plaza. There were a total of 126 scenarios analyzed. Researched data indicated that in B.E.2556, the percentage of ETC user from the total toll user is 22%. It was found that the delay at the payment booth was reduced by increasing the ETC booth by 1 more lane under the condition that the volume of ETC users passing through the plaza less than 1,200 vehicles/hour. Meanwhile, increasing the ETC lanes by 2 lanes can accommodate an increased traffic volume to around 1,200 to 1,800 vehicles/hour. Other than that, in terms of the location of ETC lane, it was found that if for one ETC lane-plazas, installing the ETC lane at the far right is the best alternative. For toll plazas with 2 ETC lanes, the best layout is to have 1 lane in the middle and 1 lane at the far right. This layout shows the least delay when compared to other layouts. Furthermore, the results from this research showed that microscopic traffic models have potential for further applications and use in designing toll plaza lanes. Other than that, the results can also be used to analyze the system of the nearby area with similar traffic volume and can be used for further design improvements.

Key words: The Electronic Toll Collection System (ETC), Average Queuing Delay, Toll Plaza Configuration

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แนวคิดระบบวิศวกรรมจราจร	4
2.2 ระบบเก็บค่าผ่านทาง	7
2.3 ทฤษฎีแถวคอย	10
2.4 รูปแบบแถวคอยของระบบเก็บค่าผ่านทาง	16
2.5 กระบวนการจำลองแบบปัญหา	17
2.6 การจำลองสภาพการจราจร	18
2.7 โปรแกรม Aimsun NG	22
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	27
3.1 พื้นที่ศึกษา	27
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	29
3.3 การพัฒนาแบบจำลอง	31
3.4 การตรวจสอบและปรับเทียบแบบจำลอง	34
3.5 การจำลองสถานการณ์	38

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการศึกษา 43
4.1 ผลการศึกษาจากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 1,000 คันต่อชั่วโมง 43
4.2 ผลการศึกษาจากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 2,000 คันต่อชั่วโมง 45
4.3 ผลการศึกษาจากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 3,000 คันต่อชั่วโมง 47
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา 50
5.1 พฤติกรรมของผู้ใช้ทางด่วน ณ ด่านเก็บเงินบางขุนเทียน ขาออกในปัจจุบัน 50
5.2 การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 50
5.3 การประเมินผลการเพิ่มจำนวนและการกำหนดตำแหน่งของด่านเก็บเงินอัตโนมัติ 51
บรรณานุกรม 54
ประวัติผู้วิจัย 56

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปแบบของระบบแถวคอย 15
ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในด้านการจราจรและขนส่งของโปรแกรมต่างๆ 21
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนประเภทรถที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางในช่วงเวลาเร่งด่วนของวันที่ 13-15 มกราคม 2556 31
ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการให้บริการช่องเก็บเงินระบบ Manual แต่ละช่องเก็บค่าผ่านทาง 32
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบผลการปรับแก้แบบจำลองโดยกำหนดค่าระยะห่างระหว่างรถ 0.7 วินาทีและค่าระยะเวลาตอบสนอง 1.2 วินาที ตามลำดับ 37
ตารางที่ 3.4 แสดงการกำหนดสถานการณ์การจัดตำแหน่งช่องเก็บเงิน 40
ตารางที่ 3.5 รูปแบบสถานการณ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการจัดช่องเก็บค่าผ่านทาง 41

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 พื้นที่ศึกษา ด่านเก็บเงินบางขุนเทียน ทางหลวงพิเศษหมายเลข 37 2
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ความเร็ว-ปริมาณจราจร (ข) ปริมาณจราจร-ความหนาแน่น และ (ค) ความเร็ว-ความหนาแน่น 7
รูปที่ 2.2 บริเวณพื้นที่ด่านเก็บค่าผ่านทาง 8
รูปที่ 2.3 ระบบเก็บค่าผ่านทางด้วยเงินสด 9
รูปที่ 2.4 ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ 10
รูปที่ 2.5 ระบบที่มีหนึ่งแถวคอย หนึ่งหน่วยให้บริการ 13
รูปที่ 2.6 ระบบที่มีหน่วยให้บริการหลายช่องแบบขนาน แต่มีแถวคอยเดียว 13
รูปที่ 2.7 ระบบที่มีหน่วยให้บริการมากกว่าหนึ่ง และมีแถวคอยหลายแถว 13
รูปที่ 2.8 ระบบที่มีหนึ่งแถวคอยหลายขั้นตอนรับบริการแบบอนุกรม 14
รูปที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาด่านเก็บเงินบางขุนเทียน ทางหลวงพิเศษหมายเลข 37 28
รูปที่ 3.2 สภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บเงินบางขุนเทียนทางออก 3 28
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งและจำนวนของช่องเก็บค่าผ่านทางแต่ละประเภทในปัจจุบัน 29
รูปที่ 3.4 ปริมาณจราจรรายวันที่ผ่านด่านเก็บเงินบางขุนเทียนทางออก 3 ช่วงวันที่ 13-19 มกราคม 2556 30
รูปที่ 3.5 ปริมาณจราจรรายชั่วโมงที่ผ่านด่านเก็บเงินบางขุนเทียนทางออก 3 ช่วงวันที่ 13-19 มกราคม 2556 30
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความล่าช้าในการเดินทางกับสัดส่วนผู้ใช้งานระบบ ETC ในช่วงปริมาณจราจร 1,000 คันต่อชั่วโมง 43
รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง กรณีมีปริมาณจราจร 1,000 คันต่อชั่วโมง 44
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความล่าช้าในการเดินทางกับสัดส่วนผู้ใช้งานระบบ ETC ในช่วงปริมาณจราจร 2,000 คันต่อชั่วโมง 45
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง กรณีมีปริมาณจราจร 2,000 คันต่อชั่วโมง 46

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบความล่าช้าในการเดินทางกับสัดส่วนผู้ใช้งานระบบ ETC ในช่วงปริมาณจราจร 3,000 คันต่อชั่วโมง 47

รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง กรณีมีปริมาณจราจร 2,000 คันต่อชั่วโมง 48

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาพการจราจรติดขัดในกรุงเทพมหานครนั้น เป็นปัญหาหลักที่ประชาชนล้วนต้องการให้ภาครัฐดำเนินการแก้ไข ซึ่งรัฐบาลได้ให้ความสำคัญในการพัฒนาระบบขนส่งมวลชน อาทิ รถไฟฟ้ามหานคร รถไฟฟ้า BTS และรถโดยสาร BRT แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการและครอบคลุมพื้นที่ในการเดินทางของประชาชนผู้อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งทำให้การเดินทางจากเมืองรอบนอกยังใช้การเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนตัวเป็นรูปแบบการเดินทางหลัก โดยการเดินทางนั้นจะครอบคลุมทั้งโครงข่ายถนนของกรุงเทพมหานคร ถนนวงแหวนรอบนอก และโครงข่ายทางด่วนของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ปัญหาการจราจรที่แออัดของรถบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางทั้งขาเข้า และขาออกทางพิเศษ เพื่อรอชำระเงินและรับเงินทอนค่าผ่านทาง เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดแถวคอยยาวจนกระทบกับการจราจรบนถนนที่เชื่อมกับทางพิเศษนั้น หน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรงได้พยายามนำเทคโนโลยีของการจัดเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection System) มาใช้แทนการจัดเก็บค่าผ่านทางด้วยพนักงาน (Manual Toll Collection System) อีกทั้งมีการเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินให้มากขึ้น แต่ก็ยังไม่สามารถลดปัญหาการติดขัดบริเวณหน้าด่านเก็บเงินได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

การกำหนดจำนวนช่องเก็บเงิน และการจัดวางตำแหน่งของช่องเก็บเงินทั้ง 2 ระบบ ให้มีความเหมาะสม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จำเป็นต้องได้รับการศึกษาทั้งในด้านพฤติกรรมของผู้ใช้บริการทางพิเศษ ในการตัดสินใจเลือกชำระเงินค่าผ่านทางด้วยช่องเก็บเงินอัตโนมัติ เพื่อคาดการณ์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนการให้บริการ ทั้งในด้านของผลกระทบทางการจราจร ความยาวแถวคอยที่ลดลง ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการลดการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถที่เข้าใช้ทาง การลดมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์บริเวณหน้าด่าน ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ ต้องการชี้ให้เห็นถึงผลกระทบที่จะเปลี่ยนแปลงไปจากการปรับเปลี่ยนลักษณะการให้บริการของ การเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงิน และการจัดวางตำแหน่งของช่องเก็บเงิน ให้มีความสอดคล้องกับสภาพ และพฤติกรรมของผู้ใช้บริการทางพิเศษ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้บริการทางพิเศษ ในการตัดสินใจเลือกชำระเงินค่าผ่านทางด้วยช่องเก็บเงินอัตโนมัติ (ETC)

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงสภาพการจราจรบริเวณหน้าช่องเก็บเงินค่าผ่านทาง เพื่อศึกษาความยาวแถวคอย ที่แปรผันตามจำนวนและตำแหน่งช่องเก็บเงินค่าผ่านทางที่ออกแบบ ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเรขาคณิตของทาง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการศึกษาการกำหนดจำนวนช่องเก็บเงิน และการจัดวางตำแหน่งของช่องเก็บเงินให้มีความเหมาะสม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเลือกศึกษาด่านเก็บเงินที่มีปัญหาสภาพจราจรติดขัดในปัจจุบัน จึงกำหนดให้ด่านเก็บเงิน บางขุนเทียน ขาออก ของทางด่วนพิเศษหมายเลข 37 ช่วงบางพลี-สุขสวัสดิ์ (รูปที่ 1) เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นเส้นทางสำคัญในการกระจายสินค้าไปยังภาคใต้ของประเทศ และยังคงเกิดสภาพการจราจรติดขัดขึ้น แม้ว่าจะมีการติดตั้งช่องเก็บเงินค่าผ่านทางอัตโนมัติ ร่วมกับช่องเก็บเงินโดยพนักงาน รวมทั้งข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ในการเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินให้สอดคล้องกับสภาพจราจรในอนาคต

รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา ด่านเก็บเงินบางขุนเทียน ทางหลวงพิเศษหมายเลข 37

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมทางหลวง และการทางพิเศษ สามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ มาประยุกต์ใช้เพื่อจัดตำแหน่งและจำนวนของจุดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อลดความยาวของแถวรถที่รอจ่ายเงินบริเวณหน้าจุดเก็บเงินของทางหลวงพิเศษ

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยสามารถจัดแบ่งกระบวนการศึกษาได้ 7 ขั้นตอนได้แก่

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปัญหาเรื่องแถวคอยของการให้บริการช่องชำระเงินค่าผ่านทาง ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.5.2 ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของบริเวณหน้าด่านเก็บเงินค่าผ่านทาง และคุณลักษณะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการ

1.5.3 ศึกษาพฤติกรรม การแจกแจง ลักษณะของผู้เข้าใช้บริการ ประเภทของรถ สัดส่วน และลักษณะของยานพาหนะ ที่ใช้บริการในปัจจุบัน

1.5.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้วิเคราะห์ความสามารถในการรองรับปริมาณผู้ใช้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทาง ที่แปรผันตามการออกแบบจำนวนช่องชำระเงินค่าผ่านทาง และการกำหนดตำแหน่งของชนิดตู้ที่ให้บริการ ทั้งในระบบ Manual และ ระบบ ETC

1.5.5 พัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer Model) ให้สามารถวิเคราะห์ผลได้สอดคล้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.5.6 วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการจราจร ของการปรับเปลี่ยนช่องชำระเงินค่าผ่านทางจากระบบ Manual อย่างเดียว เป็นการใช้ระบบ ETC ร่วมกับ ระบบ Manual และกำหนดเป็นจำนวนช่องให้บริการและผังการวางตำแหน่งของช่องให้บริการที่มีประสิทธิภาพ โดยเน้นที่การลดระยะเวลารอคอย เพื่อให้แถวคอยสั้นที่สุด

1.5.7 สรุปผลลัพธ์และเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อเผยแพร่ไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและตีพิมพ์วารสารทางวิชาการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาประเด็นต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบด้านการจราจรของการออกแบบช่องเก็บค่าผ่านทางระบบอัตโนมัติของประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาถึงแนวคิดระบบวิศวกรรมจราจร ระบบเก็บค่าผ่านทาง ทฤษฎีแถวคอย รูปแบบแถวคอยของระบบเก็บค่าผ่านทาง กระบวนใช้แบบจำลองแก้ปัญหา การจำลองสภาพการจราจร โปรแกรม Aimsun NG และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดการศึกษาในแต่ละหัวข้อดังนี้

2.1 แนวคิดระบบวิศวกรรมจราจร (Traffic System Concepts)

ในการศึกษาและวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกระแสจราจรนั้น จำเป็นต้องเข้าใจลักษณะพื้นฐานของสภาพการจราจร ซึ่งสามารถทำได้โดยกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมที่สามารถใช้อธิบายลักษณะพื้นฐานของการเคลื่อนของกลุ่มยวดยานเหล่านั้น ตัวแปรสำคัญที่นิยมใช้บ่งบอกลักษณะของกระแสจราจรได้แก่ ปริมาณจราจรหรืออัตราการไหล (Traffic volume or Flow) ความเร็ว (Speed) และเวลาในการเดินทาง (Travel time) ความหนาแน่น (Density) และการครอบครองผิวจราจร (Occupancy) ระยะห่าง (Spacing) และช่วงห่าง (Headway)

โดยตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ในระดับมหภาค (Macroscopic parameters) ได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการไหลความเร็ว และความหนาแน่น สำหรับตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ในระดับจุลภาค (Microscopic parameters) ได้แก่ ความเร็วของยวดยานแต่ละคัน ระยะห่าง และช่วงห่าง (Gerlough & Huber, 1976)

- ปริมาณจราจรหรืออัตราการไหล (Traffic volume or Flow) หมายถึง จำนวนรถที่ผ่านถนนช่วงใดช่วงหนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็น คัน/ชม. ใช้สัญลักษณ์คือ q

- ระยะช่วงห่างรถยนต์ (Headway) หมายถึง ค่าระยะเวลาหรือระยะทางระหว่างรถ 2 คัน ที่เคลื่อนที่ไปในช่องทางเดียวกัน การกำหนดค่า Headway กระทำได้ 2 อย่าง คือ

ก.ใช้วิธีนับเวลา (Time Headway) ใช้วัดเวลาของรถ 2 คัน โดยนับเวลาเมื่อส่วนหน้าของรถคันแรกผ่านจุดที่กำหนดจนถึงเมื่อส่วนหน้าของรถคันต่อมาผ่านจุดๆนั้น ใช้สัญลักษณ์คือ h_t

ข.ใช้วิธีนับระยะทาง (Space Headway) คือระยะทางระหว่างส่วนหน้าของรถคันแรกกับส่วนหน้าของรถคันที่แล่นตามมา ใช้สัญลักษณ์คือ h_d

- ความหนาแน่นของการจราจร (Density) หมายถึง การนับจำนวนยานพาหนะต่อความยาวของถนนช่วงใดช่วงหนึ่ง มีหน่วยเป็น คัน/ช่องจราจร/กม. ใช้สัญลักษณ์คือ k

- ความเร็ว (Speed) คือ อัตราการเคลื่อนที่ในหน่วยระยะทางต่อเวลา หรือคือส่วนกลับของเวลาที่ยวดยานใช้ในการเคลื่อนที่ในระยะทางที่กำหนด คูณด้วยระยะทางนั้น ในกระแสจราจรยวดยานแต่ละคันจะวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน การอธิบายคุณสมบัติความเร็วของกระแสจราจรจึงใช้ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วของยวดยานในกระแสจราจรในการอธิบายคุณสมบัติดังกล่าว จำเป็นต้องใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยเป็นตัวแทนความเร็วของยวดยานทั้งหมดในกระแสจราจร สำหรับอธิบายลักษณะของกระแสจราจรนั้น โดยความเร็วเฉลี่ยสามารถคำนวณหาได้ 2 วิธี และให้ค่าที่แตกต่างกัน ได้แก่

- Time mean speed (TMS) คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วของยวดยานทั้งหมดที่วิ่งผ่านตำแหน่งใดๆ บนถนนหรือช่องจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้สัญลักษณ์คือ U_t
- Space mean speed (SMS) คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วของยวดยานทั้งหมดที่ครอบครองช่วงถนนที่พิจารณาในช่วงเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้สัญลักษณ์คือ U_s

- เวลาในการเดินทาง (Travel Time) คือ เวลาทั้งหมดที่ยวดยานใช้ในการเดินทางในช่วงถนนหรือระยะทางที่กำหนด ขณะที่ เวลารถวิ่ง (Running time) คือ เวลาทั้งหมดเฉพาะช่วงที่รถวิ่งที่ใช้ในการเดินทางในช่วงถนนหรือระยะทางที่กำหนด ความแตกต่างกันระหว่างเวลาทั้งสองประเภทนี้คือ กรณีเวลารถวิ่ง จะไม่นำความล่าช้าที่เกิดจากการหยุดรถ (Stopped delays) มาพิจารณาเป็นเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ขณะที่เวลาในการเดินทาง จะนำความล่าช้าดังกล่าวมาพิจารณาร่วมด้วย ดังนั้น ความเร็วเดินทางเฉลี่ย จะอ้างอิงกับเวลาในการเดินทางเฉลี่ย และความเร็วรถวิ่งเฉลี่ย จะอ้างอิงกับเวลารถวิ่งเฉลี่ย

- เวลาเฉลี่ยเวลาในการเดินทาง (Average Travel Time) คือ ค่าผลรวมของเวลาการเดินทางของรถแต่ละคันหารด้วยจำนวนรถ

- ความล่าช้าในการเดินทาง (Travel Time Delay) คือ เวลาทั้งหมดที่สูญเสียไปของการเดินทางโดยรถยนต์ ที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของผู้ขับขี่ ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าจากการหยุดรถ (Stopped delays) ในช่วงถนนหรือระยะทางที่กำหนด ของรถแต่ละคัน โดยคำนวณได้จาก ความ

แตกต่างระหว่างเวลาในการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงกับเวลาในการเดินทางในสภาพกระแสการจราจรที่ไม่แออัด มีหน่วยเป็น วินาที/คัน

- ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง (Average Travel Time Delay) คือ ค่าผลรวมของความล่าช้าในการเดินทางของรถแต่ละคันหารด้วยจำนวนรถ ในช่วงถนนหรือระยะทางที่กำหนด มีหน่วยเป็นวินาที

- การไหลแบบคอขวด (Bottleneck) เป็นช่วงของถนนที่มีลักษณะการบีบอัดความจุปริมาณจราจรซึ่งมักเกิดจากช่วงถนนที่มีการลดจำนวนช่องจราจร เช่น บริเวณที่เป็นสะพาน หรืออุโมงค์

- ช่องจราจรปรับเปลี่ยนทิศทาง (Reverse Lane) คือ ช่องจราจรที่สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางได้ ส่วนมากเป็นช่องจราจรที่ติดกับช่องจราจรที่สวนทิศทางกัน มักไว้ใช้กับการแก้ปัญหาจราจรในช่วงโมงเร่งด่วนโดยปรับทิศทางช่องจราจรไปตามทิศทางที่มีปริมาณจราจรมากกว่าเพื่อช่วยเพิ่มความจุของถนน ในการระบายรถในชั่วโมงเร่งด่วน

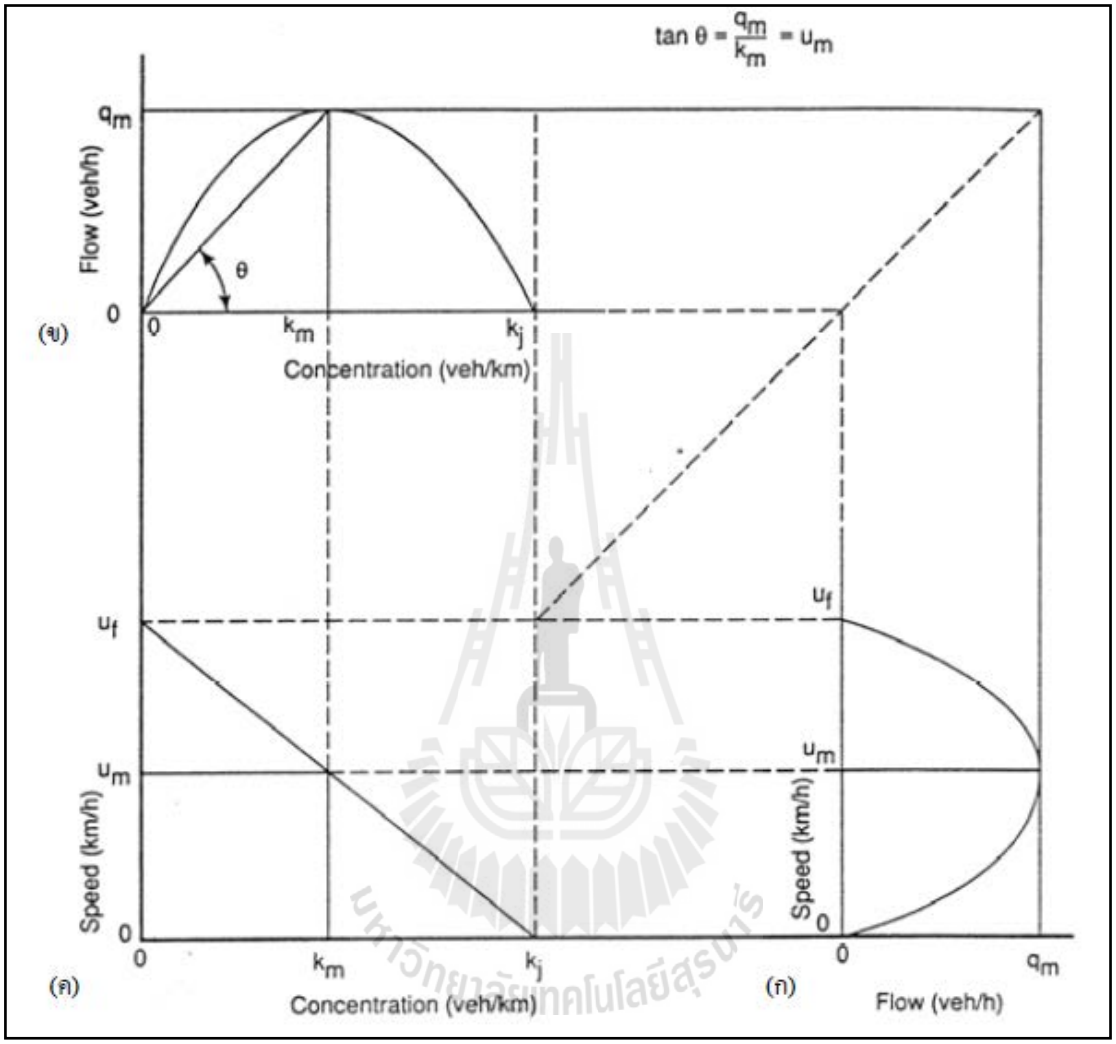
ความสัมพันธ์พื้นฐานของกระแสจราจร ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในการจราจรคือ ปริมาณจราจร (Volume) ความเร็ว (Speed) ความหนาแน่น (Density) โดยมีสมการคือ $q = uk$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและปริมาณจราจร (Volume) ภายใต้สภาพการไหลที่ไม่มีการขัดจังหวะจากปัจจัยภายนอก อันได้แก่ ทางแยก ป้ายจราจร สัญญาณไฟจราจร ที่มาควบคุมการไหลของการจราจร ซึ่งจะพบว่าความเร็วมีค่าลดลงเมื่อปริมาณจราจรหรือการไหลที่ค่าเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์นี้จะเป็นจริงไปจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งปริมาณจราจรหรือการไหลมีค่ามากที่สุด หลังจากนั้นทั้งความเร็วและการไหลจะลดลงเหลือเพียงความหนาแน่นเท่านั้นที่ยังคงเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์นี้จะแตกต่างกันสำหรับถนนต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น โดยทั่วไปเมื่อปริมาณจราจรหรือการไหลเพิ่มขึ้นความหนาแน่นก็จะเพิ่มไปด้วยจนกระทั่งถึงจุดความหนาแน่นวิกฤติ (Critical Density) หรือการไหลสูงสุด หลังจากจุดนี้ไปแล้วปริมาณจราจรหรือการไหลจะลดลงถึงแม้ว่าความหนาแน่นจะยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปอีก จุดที่ไม่มีการไหลของการจราจรต่อไปแล้วจะเป็นจุดแสดงความหนาแน่นสูงสุดซึ่งเรียกว่าความหนาแน่นแออัด (Jam density) ความชันของเส้นตรงที่ลากเชื่อมจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดใด ๆ บนกราฟเส้นโค้ง ความเร็วเฉลี่ยจากช่วงห่าง (Space mean speed) ที่ปริมาณของการจราจร ณ จุดนั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น ตามปกติความเร็วจะลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเร็วของการจราจรเข้าใกล้ศูนย์ที่ความหนาแน่นแออัดมาถึง ทั้งนี้

ความสัมพันธ์ของปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่นของกระแสจราจร สามารถแสดงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)ความเร็ว-ปริมาณจราจร (ข) ปริมาณจราจร-ความหนาแน่น และ (ค) ความเร็ว-ความหนาแน่น

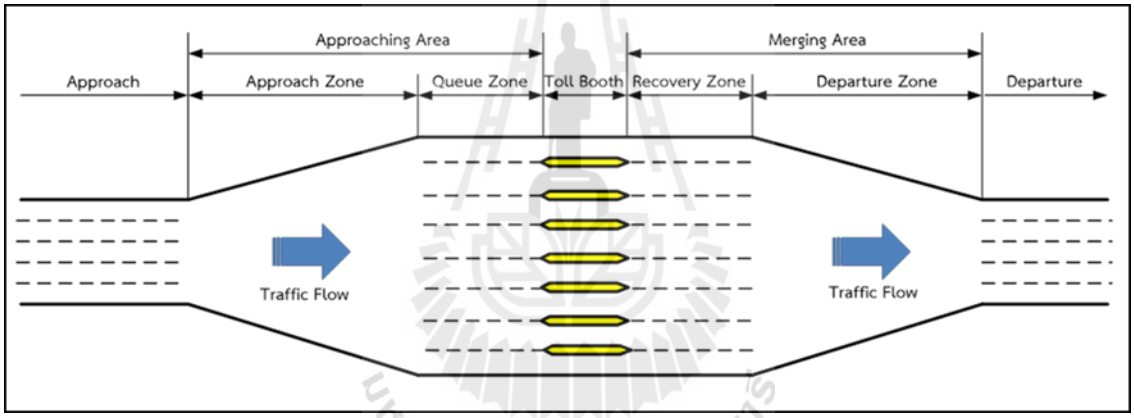
ที่มา: ดัดแปลงจาก May, 1990

2.2 ระบบเก็บค่าผ่านทาง

ด่านเก็บค่าผ่านทาง คือ พื้นที่สำหรับเก็บค่าธรรมเนียมในการผ่านทางสำหรับถนนที่ต้องการเก็บค่าธรรมเนียมจากผู้ใช้ทาง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นถนนที่มีการควบคุมทางเข้า-ออก มีมาตรฐานการออกแบบชั้นทางพิเศษ และมีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ใช้ทางเพื่อให้ผู้ใช้ทางสามารถเดินทาง

ได้สะดวกและปลอดภัย ทั้งนี้ลักษณะของด่านเก็บค่าผ่านทางยังมีหลายประเภท ตามลักษณะการให้บริการที่แตกต่างกัน โดยเวลาในการให้บริการยังมีความแตกต่างกัน เนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยทางด้านพนักงานเก็บค่าผ่านทาง ปัจจัยทางด้านสภาพอากาศ ปัจจัยทางด้านการออกแบบด้านเรขาคณิต ทั้งนี้เวลาการให้บริการยังมีผลกระทบต่อแถวคอยของรถที่มาใช้บริการ (Schaufler, 1997) ซึ่งจะทำให้เกิดเวลาในการเดินทางที่ยาวขึ้น หากมีการปรับปรุงเวลาการให้บริการที่เร็วขึ้นจะช่วยให้เวลาในการรอคอยในแถวคอยน้อยลง ส่งผลดีต่อระบบเศรษฐกิจ สภาพแวดล้อม และระบบกายภาพ

ในบริเวณพื้นที่เก็บค่าผ่านทางอาจจะสามารถใช้พื้นที่เก็บค่าผ่านทางทั้งสองทิศทาง หรือเป็นพื้นที่สำหรับเก็บค่าผ่านทางในทิศทางเดียวได้ โดยพื้นที่เก็บค่าผ่านทางประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ดังรูปที่ 2.2 ประกอบด้วย



รูปที่ 2.2 บริเวณพื้นที่ด่านเก็บค่าผ่านทาง

1) Approaching Area คือ ส่วนของพื้นที่ก่อนเข้าด่านเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งเป็นพื้นที่ขยายจำนวนช่องจราจรให้เพิ่มขึ้นจากจำนวนช่องจราจรปรกติก่อนเข้าด่านเก็บค่าผ่านทางไปสู่จำนวนช่องจราจรที่เท่ากับจำนวนช่องเก็บค่าผ่าน ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ 2 ส่วนคือ

- Approach Zone คือบริเวณช่วงขยายช่องจราจรเพื่อนำไปสู่ช่องเก็บค่าผ่านทางโดยไปเชื่อมกับ Queue Zone ดังรูป 2.2
- Queue Zone คือบริเวณช่องจราจรที่ขนานไปกับช่องเก็บค่าผ่านทางเพื่อใช้เป็นแถวคอยสำหรับจัดระเบียบรถรถก่อนเข้าช่องเก็บค่าผ่านทาง ดังรูป 2.2

2) Toll booth คือ พื้นที่สำหรับเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งประเภทของช่องเก็บค่าผ่านทางแบ่งเป็นหลายประเภทตามรูปการชำระค่าผ่านทาง โดยในประเทศไทยมีใช้ 2 ประเภท คือ

- ระบบเก็บค่าผ่านทางด้วยเงินสด (Manual Toll Collection) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางโดยใช้พนักงานในการเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด ดังรูปที่ 2.3
- ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางที่ใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์บริหารจัดการเก็บค่าผ่านทาง โดยมีอุปกรณ์ที่ติดมากับรถสำหรับใช้เป็นตัวส่งข้อมูลกับด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยที่บริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางจะมีอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่ออ่านข้อมูลจากรถ เพื่อตัดจำนวนเงินที่ผู้ใช้ทางต้องจ่ายเงินเข้าไปในระบบก่อนแล้ว โดยที่ผู้ใช้ทางไม่ต้องหยุดรถที่ช่องเก็บค่าผ่านทาง ดังรูปที่ 2.4

3) Merging Area คือ ส่วนของพื้นที่หลังช่องเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งเป็นบริเวณที่ลดจำนวนช่องจราจรจากจำนวนช่องจราจรที่เท่ากับจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางกลับไปสู่จำนวนช่องจราจรปรกติ ประกอบด้วยพื้นที่ 2 ส่วนคือ

- Recovery Zone เป็นบริเวณพื้นที่หลังด่านเก็บค่าผ่านทางซึ่งมีช่องจราจรขนานไปกับช่องเก็บค่าผ่านทางเพื่อให้รถสามารถใช้ความเร่งเพื่อปรับระดับความเร็วก่อนที่รถจะไปรวมกันที่ช่วง Departure Zone ดังรูป 2.2
- Departure Zone คือบริเวณช่วงของถนนที่ลดจำนวนช่องจราจรให้เท่ากับจำนวนช่องจราจรปรกติเพื่อนำเข้าสู่ถนนปรกติ ดังรูป 2.2

รูปที่ 2.3 ระบบเก็บค่าผ่านทางด้วยเงินสด (Manual Toll Collection)

รูปที่ 2.4 ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection)

2.3 ทฤษฎีแถวคอย

ทฤษฎีแถวคอยจะมีแบบจำลองเชิงปริมาณที่มีลักษณะแตกต่างกันหลายแบบขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะของผู้เข้ามารับบริการ ลักษณะของหน่วยบริการ และลักษณะของแถวคอย นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น พฤติกรรมของผู้ที่เข้ามารับบริการที่อยู่ในระบบแถวคอย เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาแถวคอย ผู้ศึกษาจะต้องแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างระบบแถวคอยให้มีความชัดเจน เพื่อที่จะสามารถทำความเข้าใจแถวคอยนั้นๆได้อย่างถูกต้อง (Gross & Harris, 1998)

2.3.1. ลักษณะของผู้มารับบริการ

ผู้มารับบริการที่เข้าสู่ระบบ จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งเราสามารถพิจารณาในประเด็นต่อไปนี้

- **จำนวนประชากร (Population)** หมายถึง ผู้ที่มีโอกาสเข้ามาใช้บริการในระบบแถวคอย ซึ่งเราจะพบว่าบางระบบจำนวนประชากรมีโอกาสที่จะเข้าสู่ระบบเป็นจำนวนมาก เช่น ธนาคาร ปั๊มน้ำมัน โรงพยาบาล เป็นต้น เราจะเรียกว่า จำนวนประชากรไม่จำกัด บางระบบจำนวนประชากรที่มีโอกาสเข้าสู่ระบบมีจำนวนน้อย เช่น จำนวนเครื่องจักรของโรงงานที่ต้องซ่อมมีจำนวน 10 เครื่อง เป็นต้น เราจะเรียกว่า จำนวนประชากรจำกัด ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบแถวคอยต้องสามารถระบุถึงจำนวนประชากรได้ว่า มีลักษณะจำกัดหรือไม่จำกัด
- **ลักษณะการเข้ามารับบริการ (Arrival Characteristics)** เราสามารถแบ่งลักษณะในการเข้ามารับบริการออกเป็น 2 ลักษณะที่สำคัญ คือ
    - การเข้ามารับบริการแบบคงที่ หมายถึง การเข้ามารับบริการในอัตราที่สม่ำเสมอ เช่น ในระบบสายการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น
    - การเข้ามารับบริการแบบสุ่ม หมายถึง การเข้ามารับบริการมีลักษณะที่ไม่แน่นอนไม่สม่ำเสมอ ไม่สามารถทราบล่วงหน้า และการเข้ามารับบริการในแต่ละรายจะมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยปกติแล้วลักษณะการเข้ามารับบริการส่วนใหญ่จะเป็นแบบสุ่ม โดยที่อัตราการเข้ามารับบริการจะมีการแจกแจงแบบปัวซอง
- **พฤติกรรมของผู้มารับบริการ (Behavior)** บางระบบผู้เข้ามารับบริการจะมีความอดทนในการรอ เพื่อที่จะได้รับบริการ ในขณะที่บางระบบผู้เข้ามารับบริการอาจจะไม่รอรับบริการหรืออาจเปลี่ยนไปใช้หน่วยบริการอื่นแทน บางกรณีผู้มารับบริการมีระดับความสำคัญที่สูงเข้ามารับบริการ ซึ่งอาจใช้สิทธิพิเศษที่จะไม่เข้าสู่ระบบแถวคอยได้ ทำให้ได้รับบริการก่อน เป็นต้น โดยปกติแบบจำลองแถวคอยส่วนใหญ่จะมีสมมติฐานที่ผู้เข้ามารับบริการจะรอจนกว่าจะได้รับบริการ

2.3.2. ลักษณะหน่วยบริการ

มีประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาจะเกี่ยวข้องกับอัตราการให้บริการแก่ผู้มารับบริการ (Service Rate) ซึ่งการให้บริการของหน่วยบริการจะมีการให้บริการ 2 ลักษณะ คือ

- อัตราการให้บริการแบบคงที่ หมายถึง การให้บริการในแต่ละรายจะใช้เวลาที่เท่าๆกัน เช่น การบรรจุน้ำดื่มลงขวดด้วยเครื่องจักร ซึ่งแต่ละขวดจะใช้เวลา 5 วินาที ดังนั้น อัตราการให้บริการจะเท่ากับ 12 ขวดต่อนาที
- อัตราการให้บริการแบบสุ่ม ซึ่งเป็นการให้บริการในแต่ละรายใช้เวลาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าแต่ละราย การรวบรวมข้อมูลของการให้บริการมักจะอยู่ใน

รูปของเวลาที่ใช้ในการบริการ (Service Time) ของแต่ละราย แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยส่วนใหญ่ลักษณะหน่วยบริการจะเป็นเวลาที่ใช้ในการบริการแบบสุ่ม และมีการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียล

2.3.3 ลักษณะของแถวคอย

เมื่อผู้ใช้บริการ เข้ามายังระบบ ถ้าขณะนั้นผู้ให้บริการว่าง ผู้ใช้บริการจะเข้ารับบริการได้ทันทีโดยไม่ต้องคอย กรณีนี้จะไม่เกิดคิวหรือแถวคอยขึ้น แต่ถ้าหากผู้ให้บริการไม่ว่างในขณะนั้น ผู้ใช้บริการจะต้องคอยซึ่งอาจจะคอยเป็นคนแรกหรือคอยต่อจากผู้อื่นที่กำลังคอยอยู่ เราสามารถพิจารณาลักษณะของระบบแถวคอยได้ จากองค์ประกอบหลัก 6 ประการ คือ

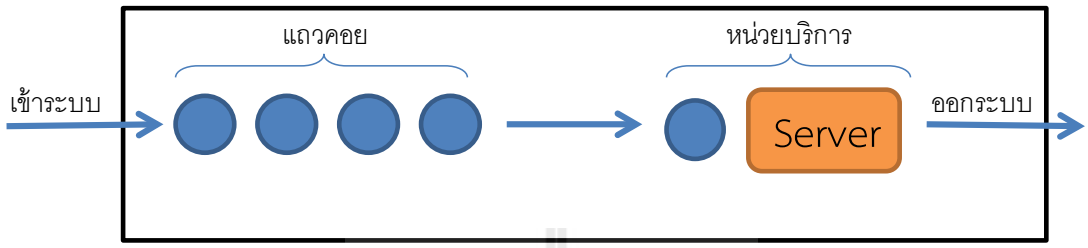
1. รูปแบบการเข้ามาของผู้ใช้บริการ (Arrival pattern of customer) หมายถึง รูปแบบการเข้ามาหรือกระบวนการเข้า ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยเวลา (mean arrival rate) หรืออธิบายด้วยระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามาของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ย (mean inter-arrival time) การเข้ามาอาจมีลักษณะแน่นอน (deterministic) หรือไม่แน่นอนที่เรียกว่าแบบสุ่ม (random) ซึ่งสามารถกำหนดได้ด้วยการแจกแจงความน่าจะเป็น นอกจากนี้ จำนวนประชากรของผู้ใช้บริการบางระบบอาจมีขนาดจำกัด (finite) บางระบบมีขนาดไม่จำกัด (infinite) ซึ่งมีผลต่างกันต่ออัตราการเข้าระบบ

2. การให้บริการ (Service process) อธิบายได้ด้วยอัตราให้บริการโดยเฉลี่ย (mean service rate) ซึ่งหมายถึง จำนวนผู้ได้รับบริการแล้วเสร็จโดยเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือเวลาบริการโดยเฉลี่ยต่อหนึ่งผู้ใช้บริการ (mean service time)

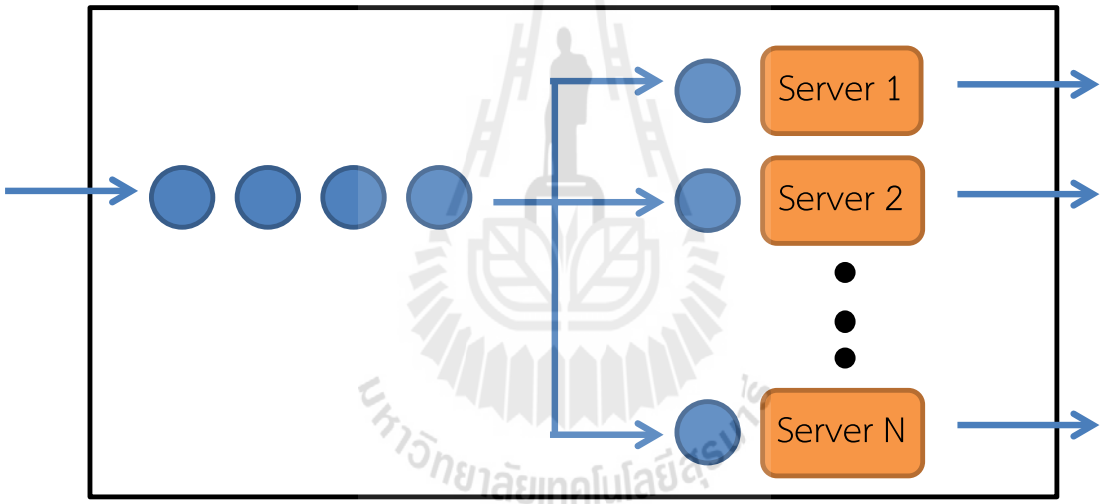
3. ระเบียบการให้บริการ (Service discipline) หมายถึง กฎเกณฑ์ที่ใช้ในการให้บริการว่าจะให้บริการแก่ผู้มารับบริการรายใดก่อน เช่น มาก่อนรับบริการก่อน (First Come First Serve, FCFS) มาทีหลังรับบริการก่อน (Last Come First Serve, LCFS) ผู้มารับบริการที่มีความจำเป็นได้รับบริการก่อน โดยรูปแบบการบริการที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากที่สุดเป็นแบบมาก่อนรับก่อน (FCFS) และจะเป็นรูปแบบการบริการที่ใช้ตลอดโครงการวิจัยนี้นี้

4. ขีดความสามารถของระบบในการให้บริการ (System capacity) หมายถึง จำนวนผู้ใช้บริการซึ่งรวมทั้งจำนวนผู้กำลังรับบริการและผู้ที่กำลังคอยที่ระบบจะรองรับได้ ณ เวลาหนึ่งๆ บางระบบจะไม่มีแถวคอย บางระบบมีความยาวแถวคอยจำกัด และบางระบบจะมีความยาวแถวคอยไม่จำกัด

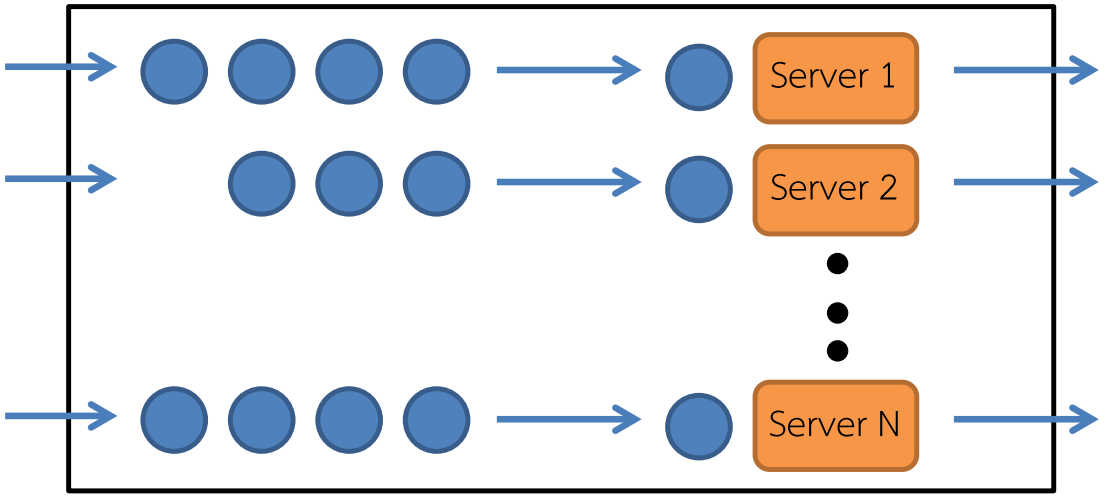
5. จำนวนผู้ให้บริการคู่ขนาน (Number of parallel servers) บางระบบจะมีผู้ให้บริการเพียงหนึ่งเดียว ดังรูปที่ 2.5 หรือบางระบบอาจมีหนึ่งแถวคอยแต่มีจำนวนผู้ให้บริการมากกว่า 1 หน่วย ดังรูปที่ 2.6 หรือมีหลายแถวคอยหลายหน่วยให้บริการ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.5 ระบบที่มีหนึ่งแถวคอย-หนึ่งหน่วยบริการ

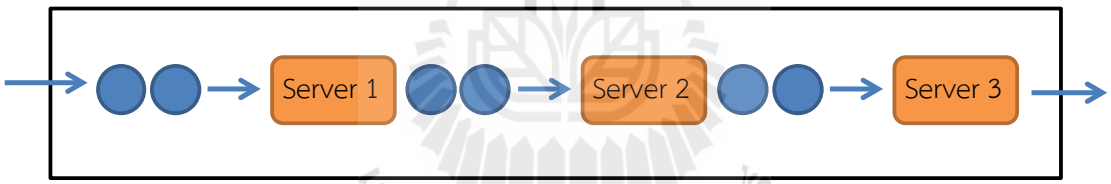


รูปที่ 2.6 ระบบที่มีหน่วยบริการหลายช่องแบบขนาน แต่มีแถวคอยแถวเดียว



รูปที่ 2.7 ระบบที่มีหน่วยให้บริการมากกว่าหนึ่ง และมีแถวคอยหลายแถว

6. จำนวนขั้นตอนการให้บริการ (Number of service stage) ระบบแถวคอยบางระบบมีเพียงขั้นตอนบริการเพียงขั้นตอนเดียว บางระบบจะประกอบด้วยหลายขั้นตอน รูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างระบบแถวคอยที่มีหน่วยบริการแบบอนุกรม การเข้ารับบริการมีหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน



รูปที่ 2.8 ระบบที่มีหนึ่งแถวคอยหลายขั้นตอนรับบริการแบบอนุกรม

ด้วยองค์ประกอบหลัง 6 องค์ประกอบข้างต้น ทำให้เกิดระบบแถวคอยที่แตกต่างกันได้มากมาย การพัฒนาแบบจำลองของระบบแถวคอยจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับระบบจริงมากที่สุด

2.3.4 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบจำลองแถวคอย

ในการกำหนดองค์ประกอบของระบบแถวคอย มีรูปแบบทั่วไปดังนี้

(A / B / C) : (X / Y / Z)

โดยที่

A บอกถึงการแจกแจงของการเข้ามา ด้วยการกำหนดการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามา (inter arrival-time distribution)

B บอกถึงการแจกแจงของการบริการ ด้วยการกำหนดการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาบริการ (service time distribution)

C บอกถึงจำนวนผู้ให้บริการคู่ขนาน (number of parallel servers) หรือจำนวนช่องบริการคู่ขนาน (number of parallel service channels)

X บอกถึงกฎระเบียบของคิว (queue discipline) ในการให้บริการ

Y บอกถึงขีดความสามารถของระบบในการรองรับผู้ใช้บริการ คือจำนวนผู้ใช้บริการสูงสุดที่ระบบจะรับไว้ได้

Z บอกถึงขนาดของประชากรผู้ใช้บริการ

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปแบบของระบบแถวคอย (มานพ วราภักดิ์, 2550)

ลักษณะ	สัญลักษณ์	ความหมาย
การแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาห่างระหว่างเข้า (A)	M	แบบเลขชี้กำลัง (เอกซ์โพเนนเชียล)
	D	คงที่ (deterministic)
	E_k	เออแลงก์ k เฟส (k-phase Erlang) k = 1,2,…
	H_k	ไฮเพอร์เอกโพเนนเชียล k เฟส
	G	ทั่วไป ไม่จำกัดรูปแบบการแจกแจง
การแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาบริการ (B)	M	แบบเลขชี้กำลัง
	D	คงที่
	E_k	เออแลงก์ k เฟส
	H_k	ไฮเพอร์เอกซโพเนนเชียล k เฟส
	G	ทั่วไป ไม่จำกัดรูปแบบการแจกแจง
จำนวนผู้ให้บริการคู่ขนาน (C)	1,2,...,c,…,∞	
กฎระเบียบคิว (X)	FCFS	มาก่อนได้รับบริการก่อน
	LCFS	มาทีหลังได้รับบริการก่อน

	SIRO	ลำดับการให้บริการเป็นแบบสุ่ม
	PR	มีสิทธิ์พิเศษ
	GD	กฎระเบียบทั่วไป (General discipline)
ขีดความสามารถของระบบ (Y)	1,2,..,m,…,∞	
ขนาดของประชากรผู้ใช้บริการ (Z)	1,2,..,K,…,∞	

สัญลักษณ์มาตรฐานบางตัวที่ใช้บอกลักษณะต่างๆ ขององค์ประกอบตามรูปแบบ A/B/C : X/Y/Z สรุปไว้ในตารางที่ 2.1 และระบบคิวที่กำหนดจะเป็นระบบมีหนึ่งแถวคอย นอกจากจะกำหนดเป็นอย่างอื่น ตัวอย่างเช่น ระบบแถวคอย (M/M/2) : (FCFS/∞/∞) หมายถึง ระบบคิวที่ช่วงเวลาห่างระหว่างผู้เข้ามา และเวลาบริการต่างมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบชี้กำลัง (exponential distribution) มีหนึ่งแถวคอย โดยมีผู้ให้บริการ 2 หน่วย หรือ 2 ช่องบริการแบบคู่ขนาน กฎเกณฑ์การรับบริการเป็นแบบมาก่อนได้รับบริการก่อน ขีดความสามารถของระบบและขนาดของประชากรผู้ใช้บริการต่างมีขนาดไม่จำกัด

2.4 รูปแบบแถวคอยของระบบเก็บค่าผ่านทาง

โดยทั่วไปรูปแบบแถวคอยที่ด่านเก็บค่าผ่านทางจะเป็นรูปแบบที่มีผู้ให้บริการมากกว่าหนึ่งและมีแถวคอยหลายแถว ให้บริการแบบคู่ขนานกัน โดยอัตราการให้บริการจะขึ้นอยู่กับประเภทของด่านเก็บเงิน และประเภทของผู้ใช้บริการ เช่น ความแตกต่างของประเภทรถที่เข้าด่าน โดยรถยนต์ กับรถบรรทุกจะมีใช้เวลาในการเข้าใช้บริการที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่ารถบรรทุกจะใช้เวลามากกว่าเนื่องจากมีอัตราเร่ง และขนาดของรถที่คล่องตัวน้อยกว่ารถยนต์ทั่วไป แต่เนื่องจากการวิเคราะห์แถวคอยในรูปแบบ ที่มีผู้ให้บริการมากกว่าหนึ่ง และมีแถวคอยหลายแถว มีการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากซับซ้อน และมีตัวแปรต่าง ๆ มากมาย จึงไม่เป็นที่นิยมในการศึกษามากนัก การวิจัยส่วนใหญ่จึงใช้แบบจำลองในการศึกษาความยาวแถวคอยบริเวณทางเข้าและทางออกเพียงหนึ่งทาง หากพิจารณาแล้วลักษณะของที่รถที่เข้าสู่ช่องชำระเงินจะมีทางออกเพียงทางเดียว คือมีจำนวนหน่วยบริการเพียงหน่วยเดียว แต่ในความเป็นจริงของบริเวณหน้าด่านชำระเงินจะมีจำนวนช่องทางเข้าสู่ช่องชำระเงินหลายช่องให้เลือกตัดสินใจ ก่อนเข้าสู่ระบบแถวคอย ดังนั้นในงานวิจัยส่วนใหญ่จึงทำการศึกษาวิเคราะห์ ในกรณีที่เป็นแบบ M/M/1 และ M/M/C โดยตั้งสมมติฐานตามเงื่อนไขของระบบแถวคอยว่า อัตราการเข้าใช้บริการเป็นแบบ Poisson โดยเวลาการให้บริการจะขึ้นอยู่กับประเภทของด่านเก็บ

เงิน สำหรับรูปแบบด่านเก็บเงินแบบ Manual จะมีเวลาการให้บริการที่แตกต่างไปขึ้นอยู่กับแต่ละผู้ใช้บริการ และพนักงานเก็บเงิน สำหรับรูปแบบด่านเก็บเงินแบบ ETC จะมีเวลาการให้บริการแบบคงที่

ปัจจัยสำคัญ 2 ปัจจัยที่มีผลต่อเวลารวมของรถที่ใช้บริการในการรอเข้าด่านเก็บเงินคือ แถวคอยบริเวณ Approaching Area ก่อนเข้าด่านเก็บเงิน เนื่องจากลักษณะการไหลของกระแสจราจรบริเวณด่านเก็บเงินรถจะเคลื่อนตัวช้าลงหรือหยุดเพื่อรอเข้าด่านเก็บเงิน และการติดขัดบริเวณ Merging Area หลังด่านเก็บเงินเนื่องจากการรวมกันของกระแสจราจรในแต่ละช่องจราจร การชะลอตัวหรือหยุดเนื่องจากปริมาณจราจรหลังด่านเก็บค่าผ่านทางเกินความจุของถนน ทำให้รถไม่สามารถไหลอย่างอิสระได้ โดยพฤติกรรมของผู้ใช้บริการจะเลือกช่องจราจรความยาวแถวคอยน้อยที่สุดในแต่ละประเภทด่านเก็บเงินที่ต้องการใช้บริการ เพื่อให้เกิดเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด

2.5 กระบวนการจำลองแบบปัญหา

แม้ว่า การจำลองแบบปัญหาไม่จำเป็นต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาเสมอไป แต่การใช้แบบจำลองปัญหาในปัจจุบันมักใช้กับปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน จึงต้องอาศัยคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณหาข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์ คัดเลือกหาวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม การจำลองสถานการณ์โดยอาศัยตัวแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้น ตัวแบบต้องทำงานได้เสมือนระบบงานจริง ขั้นตอนสำหรับดำเนินการจำลองแบบปัญหาโดยใช้คอมพิวเตอร์ มีดังต่อไปนี้

1. การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน (Problem Formulation and System Definition) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการจำลองแบบปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆและวิธีการวัดผลของระบบงาน
2. การสร้างแบบจำลอง (Model Formulation) จากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษา เขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา
3. การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation) วิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองและจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ใน รูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้
4. การแปรรูปแบบจำลอง (Model Translation) แปลงแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5. การทดสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลอง ที่ได้นั้น สามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้
6. การออกแบบการทดลอง (Strategic Planning) เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ
7. การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical Planning) เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองเป็นแต่เพียงการบอกเงื่อนไขของการทดลอง ส่วนขั้นตอนนี้เป็นการบอกว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวกี่ครั้งจึงจะได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม กล่าวคือ ได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้ในราคาที่เหมาะสม
8. การดำเนินการทดลอง (Experimentation) เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆที่ต้องการและความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง
9. การตีความผลการทดลอง (Interpretation) จากผลการทดลอง ตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร
10. การนำไปใช้งาน (Implementation) จากผลการทดลอง เลือกวิธีการทีจะแก้ปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบงานจริง
11. การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน (Documentation) เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงดัดแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ

2.6 การจำลองสภาพการจราจร

ปัญหาการจราจรคับคั่งเป็นปัญหาใหญ่ที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจ สังคมและสภาพแวดล้อม การแก้ปัญหาการจราจรที่แท้จริงนั้นควรจะเริ่มจากการศึกษาสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นอย่างถ่องแท้และครอบคลุมพื้นที่ที่ประสบปัญหา แต่เนื่องจากข้อจำกัดในด้านของขนาด และความสลับซับซ้อนของโครงข่ายการจราจร ซึ่งเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่และมีองค์ประกอบมากมายจึง

เป็นการยากที่จะทำการวิเคราะห์ลักษณะทางด้านการจราจรให้มีความถูกต้องที่สุด แต่เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบันที่สามารถใช้คอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนช่วยในการจัดการกับสภาพการจราจรโดยการจำลองสภาพการจราจร (Traffic Simulation) ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนของลักษณะสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงบนท้องถนนหนึ่ง ๆ ได้หรืออาจจะทำการประยุกต์แบบจำลองในสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อประเมินทางเลือกซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาด้านต่าง ๆ ต่อไปได้ ทั้งนี้ในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่ได้มีการพัฒนาแบบจำลองด้านจราจรขึ้น ไม่ว่าจะทำการจำลองในระดับจุลภาค (Micro-Simulation) กึ่งจุลภาคกับมหาภาค (Meso-Simulation) และในระดับมหาภาค (Macro-Simulation) ที่ขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการนำไปใช้งานที่มีรูปแบบค่อนข้างหลากหลาย

แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคเป็นการจำลองโดยการใช้งานคอมพิวเตอร์ที่แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของยวดยานแต่ละคันในระบบโครงข่ายถนนซึ่งมีพื้นฐานการจำลองมาจากทฤษฎีการเคลื่อนตัวตามกันของรถ (Car Following) การเปลี่ยนช่องทาง (Lane Changing) และระยะระหว่างรถที่ยอมรับได้ (Gap Acceptance) มีความสามารถจำลองระบบทางแยกที่มีความซับซ้อน โครงข่ายที่มีความคับคั่งทางด้านจราจรและการนำระบบความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ได้อีกด้วย ทั้งนี้การจำลองการจราจรในระดับจุลภาคมีข้อดี คือ สามารถเลียนแบบพฤติกรรมที่แท้จริงของผู้ขับขี่และสมรรถนะของระบบได้สูง สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ง่ายและสะดวกในการประเมินผลกระทบจากโครงการใหม่ ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6.1 แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค

แบบจำลองจราจรระดับจุลภาคเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวรถแต่ละคันที่วิ่งบนโครงข่ายถนน โดยกำหนดกฎนิยามของพฤติกรรมการขับขี่ของรถ และประสิทธิภาพของรถแต่ละประเภท แบบจำลองจราจรระดับจุลภาคสามารถปฏิบัติการได้โดยการตั้งค่ารูปแบบโครงข่ายถนน การใส่ข้อมูลของรถที่เสมือนจริง การกำหนดแนวเส้นการเคลื่อนตัวของรถผ่านโครงข่ายถนน และทำการสรุป วิเคราะห์ผลของรถทั้งหมด เพื่อวัดประสิทธิภาพนโยบายต่างที่วางแผนไว้

2.6.2 ข้อดีของแบบจำลองจราจรระดับจุลภาค

- สามารถวิเคราะห์ปัญหาจราจรที่ซับซ้อนได้ เช่น การวิเคราะห์ระบบจราจรอัจฉริยะ (ITS) การวิเคราะห์ทางแยก การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวแบบshockwave ผลกระทบจราจรต่อการเกิดอุบัติการณ์
- สามารถศึกษาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโครงข่าย หรือสิ่งอำนวยความสะดวกบนโครงข่าย เช่นป้ายข้อความจราจรปรับเปลี่ยนได้ (VMS)
- สามารถพัฒนาแบบจำลองระบบใหม่ๆได้ และวิเคราะห์ประสิทธิที่มีความเหมาะสม
- สามารถวิเคราะห์ผลกระทบด้านจราจรจากการออกแบบด้านเรขาคณิต หรือการควบคุมจราจร เช่น การออกแบบวงเวียน การออกแบบสัญญาณไฟจราจร การออกแบบทางเดินเท้า
- สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแถวคอยซึ่งเกิดจากการปรับปรุงสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น การเพิ่มทางเชื่อม การติดตั้ง ramp metering
- สามารถจำลองสภาพจราจรแบบ real time
- แบบจำลองเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวรถแต่ละคัน ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดีกว่าการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของรถแบบกลุ่ม
- เป็นการจำลองพฤติกรรมคนขับรถ และโครงข่ายถนนที่มีประสิทธิภาพเสมือนจริงที่สุด
- สามารถนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้มาจัดลำดับเพื่อวัดประสิทธิภาพในแต่ละทางเลือกได้
- สามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลจราจรได้ง่าย
- สามารถวิเคราะห์ข้อมูล ที่มีลักษณะรูปแบบการเข้าของปริมาณจราจร และรูปแบบการให้บริการที่ซับซ้อนจนไม่สามารถคำนวณทางคณิตศาสตร์

2.6.3 ข้อจำกัดและข้อเสียของแบบจำลองจราจรระดับจุลภาค

- ต้องใช้เวลามากในการสร้างแบบจำลองให้เสมือนจริงที่มีความซับซ้อนให้เสมือนจริงมากที่สุด
- ต้องการข้อมูลมากในการสร้างแบบจำลองที่เสมือนจริงมากที่สุด
- การใส่ข้อมูลที่ผิดพลาดเล็กน้อยอาจนำไปสู่ผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนมาก
- มีความยากในการสร้างแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์แน่นอน จึงต้องทำการทดลองซ้ำๆหลายครั้งเพื่อวิเคราะห์ค่าสถิติในการอ้างอิงผลการวิเคราะห์
- เนื่องจากแบบจำลองเป็นการสุ่มการกำเนิด ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันในการทดสอบแต่ละครั้ง

ในปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองทางด้านการจราจรในระดับจุลภาคให้เลือกใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีสมรรถนะในการจำลองเหตุการณ์ได้แตกต่างกัน การเลือกใช้งานก็จำเป็นที่จะต้องทำการประเมินถึงความเหมาะสม สามารถพัฒนาแบบจำลองได้ในระดับที่น่าเชื่อถือมีความยืดหยุ่นและให้ความถูกต้องเที่ยงตรงมากที่สุด ซึ่งโปรแกรมที่นิยมใช้งานกัน เช่น Aimsun NG CONTRAM CARFLO CORSIM HUTSIM INTEGRATION PARAMICS และ VISSIM เป็นต้น

จากตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมต่าง ๆ ในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศกับการจราจร ของโปรแกรมต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าแบบจำลองแต่นั้นมีความสามารถในการจำลองหลากหลายแตกต่างกันไป การคำนึงถึงความสามารถของโปรแกรมใช้งานและเป้าหมายของการศึกษาจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ตัดสินใจเลือกใช้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพในการจำลองสภาวะการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลตามเป้าหมายได้ (ITS, 2000)

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในด้านการจราจรและขนส่งของโปรแกรมต่างๆ

การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศกับการขนส่ง (Transport Telematics Function)	**Aimsun NG**	**CONTRAM**	**CORFLO**	**CORSIM**	**HUTSIM**	**INTREGRATION**	**PARAMICS**	**VISSIM**
การยับยั้งการจราจร (Traffic calming)	-	-	-	-	X	X	X	X
พฤติกรรมผู้ขับขี่ (Driver behavior)	X	-	-	X	-	X	X	-
สภาวะเครือข่าย (Network conditions)	X	-	-	-	X	-	X	-
ค่าการจราจรติดขัด (Congestion pricing)	-	-	-	-	X	-	X	-
อุบัติการณ์i (Incidents)	X	-	X	X	X	X	X	X
รถจักรยานยนต์ (Motorcycles)	-	-	-	-	-	-	-	-
การสะสมของแถวคอย (Queue spill back)	X	-	-	X	X	X	X	X
การควบคุมทางเข้า ออกทางด่วน (Ramp metering)	X	-	-	X	X	X	X	X
ระบบสัญญาณไฟจราจรสัมพัทธ์ (Co-ordinated traffic signals)	X	X	-	X	X	X	X	X

ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบปรับได้ (Adaptive traffic signals)	X	X	-	X	X	X	X	X
อุปกรณ์ทางด้านการจราจร (Traffic devices)	X	-	-	-	-	X	X	-
การทำนายรูปแบบการไหลของเครือข่าย (Network flow pattern predictions)	-	-	-	-	X	X	X	X
ปฏิกิริยาต่อกันระหว่างยานพาหนะ (Vehicle interaction)	X	-	-	X	-	X	X	-
การสร้างเครือข่ายแบบกราฟิก	X	X	-	-	X	-	-	X
การนำเสนอผลลัพธ์แบบกราฟิก	X	X	-	X	X	X	X	X

การคัดเลือกแบบจำลองจะต้องคำนึงถึงเป้าหมายในสิ่งที่ต้องการศึกษา ซึ่งในการศึกษานี้มุ่งประเด็นด้านการประเมินแนวทางการจัดการระบบช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษเพื่อจัดการกับสภาวะการจราจรคับคั่งในช่วงเวลาเร่งด่วนโดยการจำลองมาตรการการจัดการเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เมื่อพิจารณาความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในด้านการจราจรและขนส่งร่วมกับความสามารถในการเลียนแบบพฤติกรรมการจราจรของแบบจำลองดังตารางที่ 2.2 พบว่า Aimsun NG เป็นโปรแกรมที่มีความเหมาะสมที่สุด ที่เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการจำลองสถานการณ์ในการศึกษานี้

2.7 โปรแกรม Aimsun NG

โปรแกรม Aimsun NG พัฒนาโดย J. Barcelo และ J.L. Ferrer ที่ the PolytechnicUniversity of Catalunya ในเมือง Barcelona ปัจจุบันมีการพัฒนาต่อเนื่องและดูแลในเชิงการค้าโดย TSS – Transport Simulation Systems โปรแกรม Aimsun NG เป็นชุดเครื่องมือที่ใช้ในการวางแผนการขนส่งการจำลองการจราจรในระดับจุลภาค และการวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรและความต้องการทางการจราจร (*AIMSUN's Microsimulator User's Manual Version 5.1*, 2006)

Aimsun NG เป็นโปรแกรมซึ่งมีสถาปัตยกรรมซึ่งอนุญาตให้ทำการเพิ่มเติมส่วนประกอบได้อย่างไม่จำกัดจำนวน ทั้งส่วนที่ทำการผลิตโดย TSS และส่วนที่พัฒนาโดยผู้ใช้ ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการเข้าถึงตัวแกนของโปรแกรม Aimsun NG และทำการปรับแต่งความสามารถของตัวโปรแกรมได้เหมือนกับที่กระทำโดย TSS

2.7.1 องค์ประกอบหลักตามลักษณะการใช้งานของโปรแกรม Aimsun NG

สามารถแบ่งองค์ประกอบลักตามลักษณะการใช้งานของ Aimsun NG ได้ 4 ส่วน ดังนี้

1) Aimsun Simulator

Aimsun Simulator สามารถจำลองสภาพการจราจรในเครือข่ายถนนได้หลายรูปแบบ เช่น ถนนในเมือง ทางด่วน (freeways) ทางหลวง (highways) ถนนวงแหวน และถนนที่มีการรวมกันของรูปแบบข้างต้น และระบบสามารถแบ่งแยกชนิดของยานพาหนะและผู้ขับขี่ได้ โดยพฤติกรรมของยานพาหนะทุกๆ คันในเครือข่ายถนนนั้นจะถูกจำลองอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาในการจำลองแบบโดยอ้างอิงกับแบบจำลองพฤติกรรมของผู้ขับขี่หลายแบบ (แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกัน แบบจำลองการเปลี่ยนช่องทางจราจร แบบจำลองการยอมรับช่องว่าง)

Aimsun Simulator มีความสามารถในการจำลองการเกิดอุบัติเหตุ การจำลองระบบควบคุมการจราจรแบบปรับได้ เช่น SCATS, VS-PLUS, C-Regular และระบบที่ให้ความสำคัญกับระบบขนส่งสาธารณะ การใช้เครื่องมือทางการจราจร เช่น สัญญาณไฟจราจร เครื่องตรวจจับ ป้ายปรับเปลี่ยนข้อความ (VMS - Variable Message Signs) เป็นต้น การประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปล่อยมลภาวะและการใช้พลังงาน การให้รายละเอียดของผลลัพธ์ในเชิงสถิติ เช่น อัตราการไหล ความเร็ว ระยะเวลาในการเดินทาง เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) Aimsun Modeller

Aimsun NG ถูกออกแบบมาเพื่อให้นำไปใช้กับสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างเหมาะสม โดยสามารถนำเข้าและจัดการกับข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS, Geographic Information System) จากแหล่งข้อมูลหลาย ๆ แห่งได้ เช่น ESRI Tele Atlas และ NAVTEQ เป็นต้น โดยโปรแกรมจะทำการอ่านข้อมูลแคด (CAD: Computer-Aided Design) และบิตแมพ (bitmap) เข้ามาจากแหล่งข้อมูล ทำให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขและนำเสนอโครงการได้อย่างสะดวก Aimsun สามารถทำการแปลข้อมูลจากโปรแกรมอื่น ๆ ได้ เช่นจาก EMME/2 CONTRAM CUBE และ SATURN เป็นต้น ทั้งนี้ Aimsun NG ยังสามารถบรรจุข้อมูลการตรวจจับ ทั้งในรูปแบบออฟไลน์จากฐานข้อมูลที่มีอยู่หรือออนไลน์ในเวลาจริง (real time) เพื่อใช้กับ simulator planner หรือ โมดูล visualization

3) Aimsun Planner

Aimsun Planner เป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความต้องการทางการจราจร โดยมีจุดประสงค์หลัก 2 ข้อคือ

• เพื่อสนับสนุนกระบวนการทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับการคำนวณเมตริกการเดินทางต้นทาง-ปลายทาง (Origin-Destination Matrix) ซึ่งเป็นที่ต้องการโดยวิเคราะห์ความต้องการทางการจราจรเพื่อการวางแผนการขนส่ง

• ทำให้มีแพล็ตฟอร์มการคำนวณสำหรับการจัดการของเมตริกการเดินทางต้นทาง-ปลายทางเพื่อสร้างข้อมูลเข้าสู่การจำลองในระดับจุลภาค

4) Aimsun Server

Aimsun Server เป็น Aimsun รุ่นที่ไม่มีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI: Graphical User Interface) และสามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเครือข่าย สำหรับเมื่อมีความต้องการในการประมวลผลที่เร็วกว่าเวลาจริง เช่น เมื่ออยู่ในศูนย์ควบคุมกลางเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแผนการการจัดการการจราจรก่อนที่จะมีการนำไปใช้จริง

โดยองค์ประกอบที่จะนำมาใช้อย่างมากในงานวิจัยนี้นี้ คือ Simulator เพื่อใช้ในการจำลองแบบ โดยโปรแกรม Aimsun NG มีข้อดี คือ สามารถจำลองเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ได้ สามารถจำลองรูปแบบของเครือข่ายได้หลากหลาย จำนวนยานพาหนะที่สามารถจำลองได้นั้นมีจำนวนมาก สามารถใช้ในการวางแผนการจัดการการจราจรได้ สามารถจำลองโครงข่ายการจราจรที่มีความหนาแน่นและการเกิดอุบัติเหตุได้ แต่ข้อจำกัดของ Simulator คือ ในส่วนของข้อมูลสำหรับระบบช่วยเหลือในการนำทางและการให้สัญญาณสำหรับป้ายปรับเปลี่ยนข้อความ จะต้องมาจากระบบภายนอกเท่านั้น

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Poon & Dia (2005) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองจราจรระดับจุลภาคเพื่อประเมินประสิทธิภาพด่านเก็บค่าผ่านทางทางโดยใช้โปรแกรม AINSUN ที่ด่านเก็บเงิน Brisbane และ Gateway Bridge ซึ่งเป็นด่านเก็บเงินที่มีระบบเก็บเงินแบบ ETC 3 ช่อง ระบบ Manual 4 ช่อง และระบบผสม 2 ช่อง แบบจำลองนี้ได้ทำการทดสอบและดูผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนจำนวนช่องเก็บเงิน การเพิ่มขึ้นของจำนวนรถบรรทุกหนัก การเพิ่มขึ้นของจำนวนปริมาณจราจรที่ปี 2011 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

เพิ่มประสิทธิภาพในการบริการด่านเก็บเงิน โดยวัดประสิทธิภาพของความล่าช้า และการเข้าระบบ ผลการวิเคราะห์ในแต่ละทางเลือกพบว่าการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนรถบรรทุกหนักจะมีผลกระทบเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพของระบบ ในปี 2011 ซึ่งมีปัญหาการจราจรติดขัด และเกิดความล่าช้าที่ด่านเก็บเงินมากที่สุด พบว่าทางเลือกในการแก้ปัญหาที่ 3 คือการเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินแบบ ETC 4 ช่อง จะสามารถช่วยลดปัญหาการจราจรได้ดีที่สุด

Al-Deek (2001) ได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของความล่าช้าบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยใช้แบบจำลอง TPSIM ซึ่งเป็นแบบจำลองแบ Stochastic-oriented discrete-event โดยทำวิเคราะห์เหตุการณ์ที่แตกต่างกัน 84 เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์ที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับ ตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ สัดส่วนการใช้ ETC ตำแหน่งช่องเก็บเงิน และสัดส่วนปริมาณจราจร ในส่วนของปัจจัยที่ใช้วัดผลการวิเคราะห์มี 3 ปัจจัย คือ การเข้าใช้ด่านเก็บเงิน ความล่าช้าเฉลี่ยของแถวคอย และความล่าช้าโดยรวมที่ด่านเก็บเงิน โดยผลการวิเคราะห์พบว่าหากสัดส่วนการใช้ ETC เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จะส่งผลให้ความล่าช้าโดยรวมที่ด่านเก็บเงินลดลงร้อยละ 50 และส่งผลให้เวลาในการรอคอยที่แถวคอยของรถแต่ละคันจะลดลง 90 วินาที นอกจากนี้ยังพบว่าการเคลื่อนย้ายตำแหน่งช่อง ETC ช่องเดียวไปตำแหน่งซ้ายสุดของด่านเก็บเงินจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อความล่าช้าที่แถวคอยอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ การเคลื่อนย้ายตำแหน่งช่อง ETC 2 ช่องจากช่องกลางของด่านเก็บเงินไปตำแหน่งซ้ายสุดของด่านเก็บเงิน จะทำให้ความล่าช้าเพิ่มขึ้น ร้อยละ30 แต่หากเคลื่อนย้ายตำแหน่งช่อง ETC 3 ช่องจากช่องกลางของด่านเก็บเงินไปตำแหน่งซ้ายสุดของด่านเก็บเงินจะส่งผลให้ลดความล่าช้าลงร้อยละ 5

Van Dijk, Hermans, Teunisse และ Schuurman (1999) ได้ทำการรวบรวมการศึกษาแถวคอยและแบบจำลอง เพื่อใช้ในการออกแบบด่านเก็บเงิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำนวน และประเภทของด่านเก็บเงินในรูปแบบการเก็บเงินแบบรูปแบบเดียว และการเก็บเงินผสมผสาน โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งระบบเก็บค่าผ่านทาง รูปแบบการเข้าใช้บริการด่านเก็บเงิน เวลาการให้บริการ โดยวัดประสิทธิภาพของตำแหน่งด่านเก็บเงิน โดยใช้ตัวแปรด้านเวลาในการรอใช้บริการ ความยาวแถวคอย และประสิทธิภาพการทำงานด่านเก็บเงิน โดยกำหนดรูปแบบการเข้าช่องเก็บเงิน 3 รูปแบบ โดย รูปแบบแรกคือกำหนดให้ด่านเก็บเงินสามารถชำระค่าผ่านทางรูปแบบเดียว และแยกช่องจราจรตามรูปแบบการจ่ายเงิน ซึ่งข้อดีของรูปแบบนี้คือสามารถวิเคราะห์ระบบแถวคอยได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือช่องจราจรไม่สามารถให้บริการได้เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งบางช่องจราจรอาจเกิดปัญหารถเกินความจุ ในขณะที่บางช่องจราจรมีรถวิ่งน้อย รูปแบบที่สองคือการจัดให้ด่านเก็บเงินรองรับการจ่ายเงินทุกประเภท ทั้งนี้

รถทุกคันจะต้องอยู่ในแถวคอยเดียวกัน ข้อดีของรูปแบบนี้ คือ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของด่านเก็บเงิน แต่ข้อเสีย คือ เกิดแถวคอยที่ยาวมาก เนื่องจากมีแถวคอยเดียวทั้งนี้ขึ้นกับตัวแปรเวลาในการให้บริการแต่ละด่าน รูปแบบที่สามเป็นการผสมผสานระหว่างสองรูปแบบคือกำหนดให้ช่องเก็บเงินมีรูปแบบการจ่ายเงินหลักไว้ โดยสามารถเปลี่ยนรูปแบบการจ่ายเงินได้ หากช่องเก็บเงินอีกรูปแบบมีการให้บริการเกินความจุ ทั้งนี้จะต้องแยกช่องจราจรตามรูปแบบการจ่ายเงิน โดยข้อดีรูปแบบนี้คือจะเกิดความสมดุลการประสิทธิภาพการทำงานแต่ละช่องเก็บเงิน ลดความแปรปรวนของเวลาให้บริการให้น้อยลง ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระบบเก็บเงินจากรูปแบบเดียวให้เป็นระบบผสมผสานใน 1 ช่องเก็บเงิน จะทำให้ความต้องการจำนวนช่องเก็บเงินน้อยลง

Chao (2000) ได้อธิบายถึงประเด็นการออกแบบด่านเก็บเงินบนทางหลวง โดยผู้เขียนได้วิเคราะห์การออกแบบหลาย ๆ ด้านเพื่อค้นหารูปแบบที่ดีที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดในการวางตำแหน่งของช่องเก็บเงิน โดยผลการทดลอง Chaoได้อธิบายถึง ความล่าช้าเฉลี่ย เวลารอคอยเฉลี่ยของรถในการเข้าช่องเก็บเงิน ว่าไม่ได้รับผลกระทบจากการวางตำแหน่งของช่องเก็บเงินที่มีรูปแบบการเก็บเงินที่ต่างกัน

Ito (2005) ได้ทำการพัฒนากระบวนการสร้าง Simulation model ด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยใช้โปรแกรม ARENE 6.0 เพื่อวิเคราะห์เวลาในการเดินทางบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยทำการแบ่งกรณีศึกษา 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 เป็นการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ Manual อย่างเดียว 4 ตู้ กรณีที่ 2 เป็นการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ Manual 3 ตู้ แบบ ETC 1 ตู้ กรณีที่ 3 เป็นการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ Manual 3 ตู้ แบบผสมผสานซึ่งใช้ได้ทั้งระบบ ETC และระบบ Manual 1 ตู้ จากการทดสอบแบบจำลอง ในสถานการณ์ที่มีปริมาณรถเฉลี่ย 500 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร พบว่า กรณีที่ 2 รถที่ใช้ช่อง ETC จะใช้เวลาในการเดินทางผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางน้อยกว่ากรณีที่ 1 และ 3 แต่รถที่ช่อง Manual ในกรณีที่ 2 จะใช้เวลาในการเดินทางผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางมากกว่ากรณีที่ 1 และ 3 โดยรถที่ใช้ช่อง Manual ในกรณีที่ 1 จะใช้เวลาในการเดินทางผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางเท่ากับกรณีที่ 3 และเมื่อปริมาณรถเพิ่มขึ้นเป็น 1,000 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร พบว่าการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จะทำให้ใช้เวลาในการเดินทางเพิ่มมากขึ้นกว่ากรณีติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ Manual อย่างเดียว และกรณีติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสาน นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบเวลาในการเดินผ่านด่านเก็บเงินในกรณี 2 และกรณีที่ 3 ในปริมาณรถเข้าด่านที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่า เมื่อปริมาณจราจรมากกว่า 800 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร จะส่งผลให้เวลาในการเดินทางในกรณีติดตั้งตู้ ETC จะมากกว่ากรณี ติดตั้งตู้แบบผสมผสาน

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

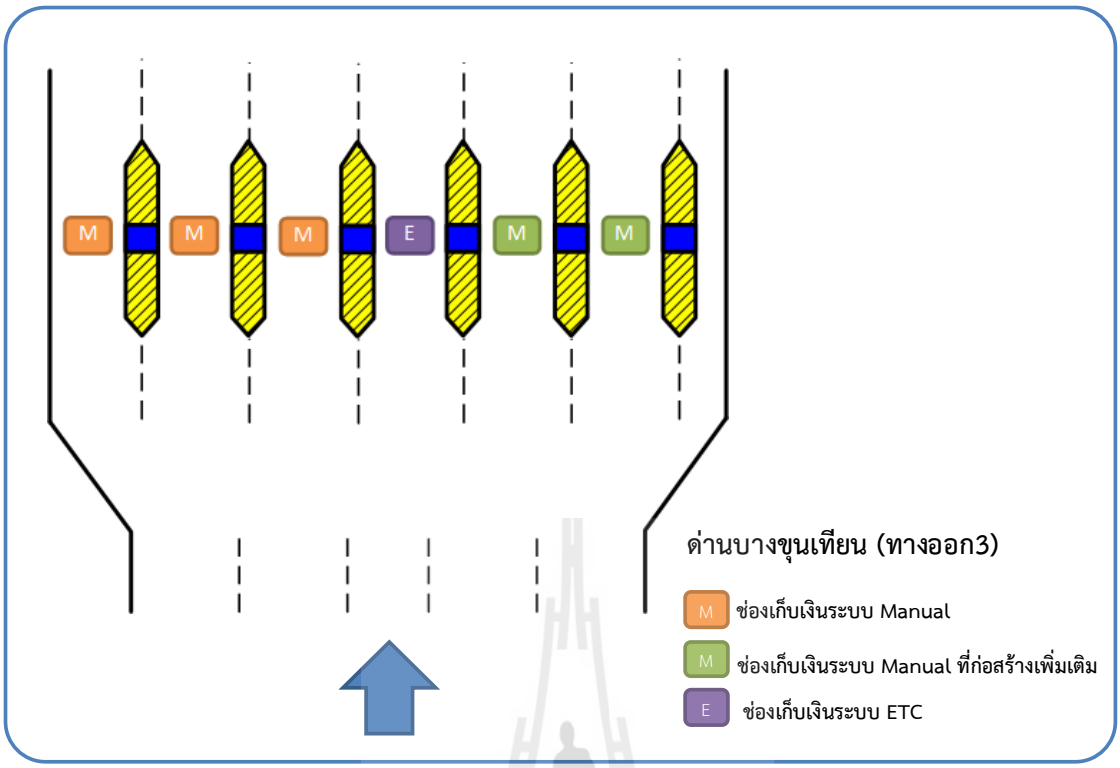
การศึกษานี้ได้ทำการจำลองสถานการณ์การจัดช่องเก็บค่าผ่านทางให้มีความเหมาะสมกับสภาพการจราจร ดังนั้นวิธีดำเนินงานสำหรับการศึกษานี้จึงประกอบด้วย การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Aimsun การรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้สำหรับสร้างโครงข่ายในแบบจำลอง การจัดสัดส่วนของประเภทรถ การสร้างปริมาณการเดินทาง การกำหนดการให้บริการช่องเก็บค่าผ่านทาง หลังจากนั้นทำการปรับแก้และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อให้ได้แบบจำลองที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ในส่วนสุดท้ายเป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองในการจัดช่องเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งได้ออกแบบสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นทางเลือกในการประเมินผล

3.1 พื้นที่ศึกษา

การวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงความเหมาะสมของการกำหนดจำนวนช่องเก็บเงิน และการจัดวางตำแหน่งของช่องเก็บเงินในแต่ละประเภท ให้มีความเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเลือกศึกษาด่านเก็บเงินที่มีปัญหาสภาพจราจรติดขัดในปัจจุบัน จึงกำหนดให้ด่านเก็บเงิน บางขุนเทียน ทางออก 3 ของทางด่วนพิเศษหมายเลข 37 ช่วงบางพลี-สุขสวัสดิ์ (รูปที่ 3.1) เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นเส้นทางสำคัญในการกระจายสินค้าไปยังภาคใต้ของประเทศ และยังคงเกิดสภาพการจราจรติดขัดขึ้น โดยมีปริมาณจราจรเฉลี่ย 18,000 คันต่อวัน โดยเฉพาะในช่วงเวลา 08:00-11:00 น. ซึ่งเป็นช่วงชั่วโมงเร่งด่วนที่มีจำนวนรถเข้ามาใช้บริการจำนวนมาก เฉลี่ยประมาณ 1,800 คัน/ชม. จนเกินความจุที่ด่านเก็บเงินรองรับได้ ทำให้เกิดปัญหาการติดขัดบริเวณหน้าด่านไม่สามารถระบายรถได้ทัน ดังรูปที่ 3.2 แม้ว่าจะมีการติดตั้งช่องเก็บเงินค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) ร่วมกับช่องเก็บเงินโดยพนักงาน (Manual) และได้มีการแก้ไขปัญหาการจราจรดังกล่าว โดยการเพิ่มช่องเก็บเงินแบบ Manual จำนวน 2 ช่อง ทำให้มีช่องเก็บเงินทั้งสิ้น 6 ช่อง แบ่งเป็นระบบ Manual จำนวน 5 ช่อง และช่อง ETC จำนวน 1 ช่อง ดังรูปที่ 3.3 แต่ยังมีปัญหาสภาพการจราจรติดขัดบริเวณหน้าด่านอยู่ โดยเฉพาะในเวลาเร่งด่วน รวมทั้งข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ในการเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินให้สอดคล้องกับสภาพจราจรในอนาคต จึงเป็นที่มาในการศึกษาเพื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบการติดตั้งช่องเก็บค่าผ่านทางที่มีความเหมาะสม เพื่อให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางน้อยที่สุดในการผ่านช่องเก็บค่าผ่านทาง

รูปที่ 3.1 พื้นที่ศึกษา ด่านเก็บเงินบางขุนเทียน ทางหลวงพิเศษหมายเลข 37

รูปที่ 3.2 สภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บเงินบางขุนเทียนทางออก 3



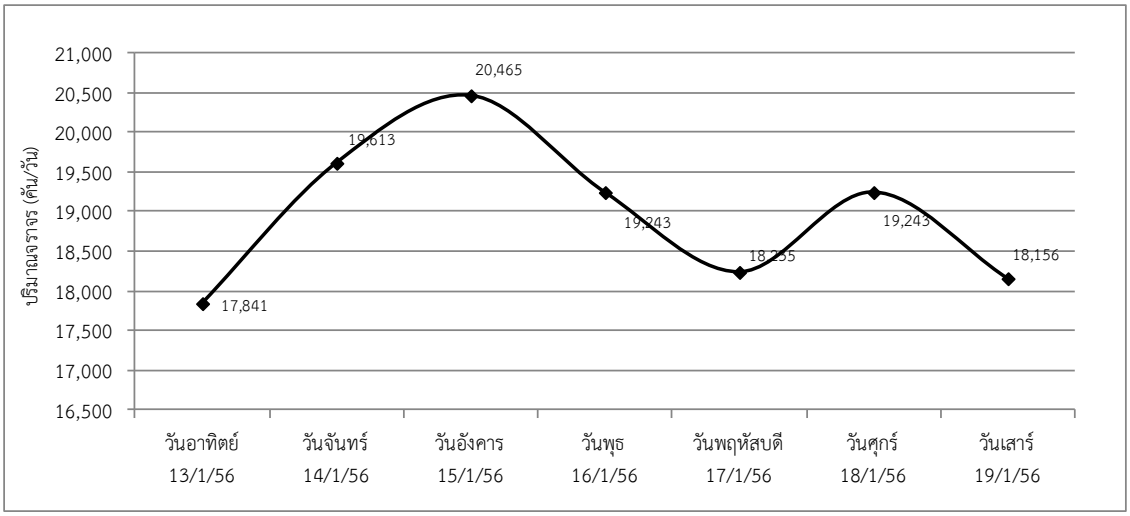
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งและจำนวนของช่องเก็บค่าผ่านทางแต่ละประเภทในปัจจุบัน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 การเก็บข้อมูลปริมาณการเดินทาง

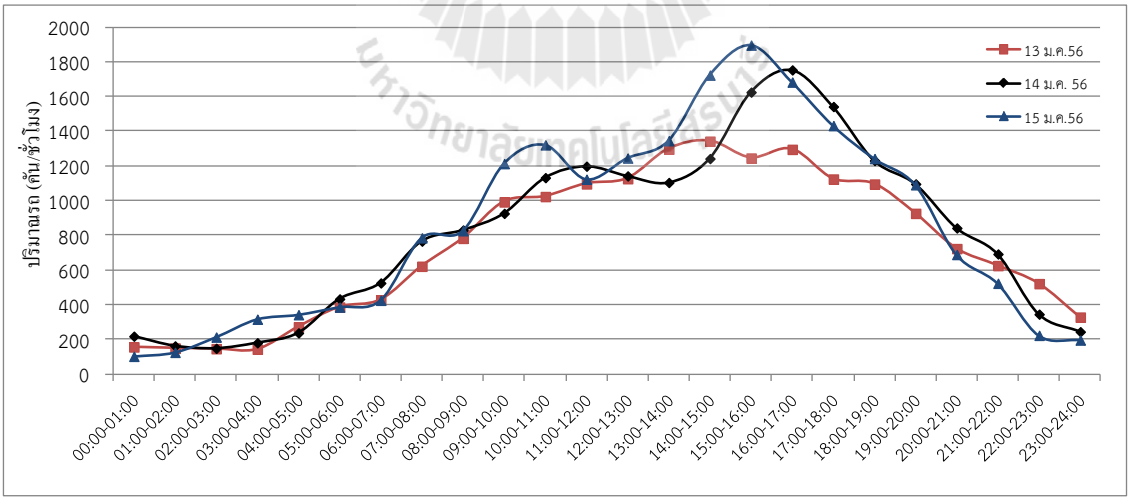
ในการศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณรถที่ผ่านด่านเก็บเงินบางขุนเทียนทางออก 3 ในรอบสัปดาห์ ช่วงวันที่ 13-19 มกราคม 2556 ดังรูปที่ 3.4 ที่ได้ความอนุเคราะห์ข้อมูลจากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย เพื่อทำการคัดเลือกปริมาณจราจรในรอบสัปดาห์ ในการวิเคราะห์ปรับปรุงช่องเก็บค่าผ่านทาง

จากรูปที่ 3.4 ในการศึกษานี้ได้ทำการคัดเลือกปริมาณจราจรที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทาง ในช่วงวันที่ 13-15 มกราคม 2556 เพื่อเป็นตัวแทนในวันธรรมดา วันหยุด และวันที่มีปริมาณจราจรสูงสุด โดยเลือกช่วงเวลา 15:00-18:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงสุด ดังรูปที่ 3.5 เพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง



รูปที่ 3.4 ปริมาณจราจรรายวันที่ผ่านด่านเก็บเงินบางขุนเทียนทางออก 3
ในช่วงวันที่ 13-19 มกราคม 2556

ในการศึกษานี้ได้ทำการแบ่งประเภทรถเป็น 3 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุก และรถใช้ระบบ ETC โดยมีสัดส่วนรถที่ผ่านด่านเก็บเงินดังตารางที่ 3.1 ซึ่งพบว่าในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนจะมีรถเข้าใช้บริการเฉลี่ย 1,665 คัน/ชม. แบ่งเป็นรถประเภทรถยนต์ส่วนบุคคล ประมาณ 54 % รถบรรทุกประมาณ 24 % รถใช้ระบบ ETC ประมาณ 22 %



รูปที่ 3.5 ปริมาณจราจรรายชั่วโมงที่ผ่านด่านเก็บเงินบางขุนเทียนทางออก 3
ในช่วงวันที่ 13-15 มกราคม 2556

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนประเภทรถที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางในช่วงเวลาเร่งด่วน ของวันที่ 13-15 มกราคม 2556

ประเภทรถ		13 ม.ค. 56			14 ม.ค. 56			15 ม.ค. 56		
		15:00-16:00 น.	16:00-17:00 น.	17:00-18:00 น.	15:00-16:00 น.	16:00-17:00 น.	17:00-18:00 น.	15:00-16:00 น.	16:00-17:00 น.	17:00-18:00 น.
ปริมาณรถรวม (คัน/ชม.)		1,245	1,295	1,124	1,896	1,683	1,432	1,625	1,753	1,542
สัดส่วนรถแต่ละประเภท	ระบบ Manual	61.50%	66.03%	62.61%	41.01%	43.36%	51.78%	54.24%	53.50%	50.93%
	รถบรรทุก	22.67%	17.31%	7.08%	42.86%	38.74%	31.61%	22.97%	21.03%	14.81%
	รถ ETC	15.83%	16.67%	30.31%	16.14%	17.89%	16.61%	22.79%	25.47%	34.26%

3.2.2 การเก็บข้อมูลอัตราการให้บริการช่องเก็บค่าผ่านทาง

ในการศึกษานี้ได้ทำการสำรวจเวลาให้บริการของช่องเก็บเงิน ด้วยการสุ่มนับเวลาการให้บริการของรถแต่ละคันที่ผ่านช่องเก็บค่าผ่านที่ชำระค่าผ่านทางระบบ Manual แต่ละช่อง ในวันที่ 15 มกราคม 2556 ดังตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราการให้บริการช่องเก็บเงินระบบ Manual ได้ค่า เฉลี่ยการให้บริการของช่องเก็บค่าผ่านทางระบบ Manual เท่ากับ 14.22 วินาที/คัน โดยมีค่า Standard deviation เท่ากับ 2.233 วินาทีต่อคัน

3.3 การพัฒนาแบบจำลอง

ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกแบบจำลองจราจรโดยใช้โปรแกรม Aimsun ดังได้กล่าวถึงรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 ทั้งนี้การพัฒนาแบบจำลองจราจรโดยใช้โปรแกรม Aimsun เพื่อใช้ในการจำลองสภาพจราจรของพื้นที่ศึกษามีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 การสร้างโครงข่ายแบบจำลอง

เป็นกระบวนการสร้างแบบจำลองลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทาง เพื่อให้ใกล้เคียงสภาพการจริงมากที่สุด ประกอบด้วยข้อมูลลักษณะเรขาคณิตของพื้นที่ศึกษา เช่นข้อมูล ช่องจำนวนช่องจราจร ลักษณะช่องทาง ความกว้าง ความยาวในแต่ละช่องทาง ฯลฯ ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลจากการทางพิเศษ หลังจากนั้นนำเข้าแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อใช้ในการกำหนดตำแหน่งต่างๆ ในรูปแผนที่ทับซ้อน (Overlay) เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายในส่วน Modeler ของโปรแกรม Aimsun ต่อไป รูปที่ 3.6 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Aimsun หลังจากทำการใส่ข้อมูลกายภาพและสภาพจราจรของพื้นที่ศึกษาเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการให้บริการช่องเก็บเงินระบบ Manual แต่ละช่องเก็บค่าผ่านทาง

No.	ตู้ No.1	ตู้ No.2	ตู้ No.3	ตู้ No.5	ตู้ No.6
1	14.3	15.2	13.5	14.8	12
2	11.5	18.3	12.6	13.1	18.6
3	12.6	15	12.2	13	11.7
4	23.4	21	12.7	13.5	13.3
5	22.5	16.4	13.2	14	16.2
6	14.5	13.6	13.2	13.7	14.6
7	12.2	14.6	14.1	13.1	15.5
8	11.7	15.2	13.7	12.5	14.4
9	12.2	14.6	14.9	15.5	14.1
10	12.5	16.2	14.8	14.2	13.2
11	15.4	14.5	14.9	13.5	13.5
12	15.4	11.2	18.8	13.1	15.3
13	13.1	15.5	13.5	13.5	15.2
14	12.3	12.5	13.1	13.5	11.6
15	14.7	13.8	11.9	14.2	14.6
16	14	11.4	13.4	13.3	14.7
17	14.4	13.3	15.5	11.8	12.5
18	20.7	12.4	12.6	13.8	15.5
19	14.1	16.1	11.2	12.3	13.4
20	17	14	11.6	14.8	16.7
21	17	12.2	13.1	13.5	17.9
22	11.3	15.8	11.7	15	11.4
23	17.5	11.3	14.4	12.5	12.3
24	11.6	12	13.8	13.7	13.8
25	16.1	16.5	14.8	13.7	20.4
26	13.8	12.4	12.8	11.5	12.6
27	13.8	13.6	12.5	12.3	11.9
28	13.4	13.3	14.3	15.5	14.1
29	13.9	14.7	16.6	14.4	18.1
30	17.9	15.6	12.2	20.8	15.4
Avg.	14.827	14.407	13.587	13.803	14.483
St.Dev.	3.103	2.158	1.587	1.650	2.239
Max.	23.4	21	18.8	20.8	20.4
Min.	11.3	11.2	11.2	11.5	11.4
Avg.=14.22 sec. St.Dev.=2.233 Max=23.4 sec Min=11.2 sec.					

รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทาง ด้วยโปรแกรม Aimsun

3.3.2 การกำหนดปริมาณการเดินทาง

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดปริมาณการเดินทางจากโซนต้นทางไปยังโซนปลายทางรวมไปถึงสัดส่วนของรถแต่ละประเภท

3.3.3 การกำหนดอัตราการให้บริการช่องเก็บค่าผ่านทาง

ในการสร้างแบบจำลอง ได้กำหนดให้เครื่องมือ Ramp metering แทนแบบจำลองด่านเก็บเงิน เนื่องจากมีลักษณะการทำงานใกล้เคียงมากที่สุด โดยกำหนดให้เวลาให้บริการของช่องเก็บค่าผ่านทางระบบ Manual แต่ละช่อง เท่ากับ 14.22 วินาทีต่อคัน และค่า Standard deviation เท่ากับ 2.233 วินาทีต่อคัน ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลในหัวข้อที่ 3.3.2 ในส่วนของช่องเก็บเก็บค่าผ่านทางระบบ ETC กำหนดให้ไม่มีเครื่องมือ Ramp metering เนื่องจากในสภาพจริงรถที่ใช้ระบบ ETC ไม่จำเป็นต้องหยุดบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางแต่ได้กำหนดความเร็วไว้ที่ด่านให้วิ่งไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากรถต้องชะลอความเร็วเมื่อเข้าด่านเก็บค่าผ่านทาง

3.4 การตรวจสอบและปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง (Calibration) โดยใช้ข้อมูลการจราจรที่ได้สำรวจไว้ และการทดสอบความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของแบบจำลองที่ได้ทำการปรับแก้แล้ว (Validation) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถสะท้อนสภาพการจราจรที่แท้จริงของพื้นที่ศึกษาแต่ละพื้นที่ให้ใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์หรือประเมินประสิทธิภาพแนวทางแก้ไขปัญหาจราจรด้วยแบบจำลองมีระดับความถูกต้องน่าเชื่อถือสูง การปรับเทียบแบบจำลองทำโดยการประมวลผลแบบจำลองซ้ำ ๆ ด้วยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแบบจำลองที่ปรับเปลี่ยน จนได้ค่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลการจำลองสภาพจราจรได้ใกล้เคียงกับสภาพจราจรจริงมากที่สุด ซึ่งการปรับเทียบนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากโปรแกรมจำลองสภาพจราจรเองไม่สามารถครอบคลุมทุกปัจจัยที่มีผลต่อสภาพจราจรได้ครบถ้วน โดยเฉพาะปัจจัยที่เป็นปัจจัยเฉพาะของแต่ละพื้นที่ ดังนั้นเป้าหมายของการปรับเทียบ คือการหาค่าของกลุ่มพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองที่ได้ ผลลัพธ์การจำลองสภาพจราจรที่ดีที่สุด

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการปรับเทียบแบบจำลอง ได้แก่

1) การกำหนดระดับความถูกต้องของการปรับเทียบ
2) การเลือกพารามิเตอร์สำหรับปรับเทียบที่เหมาะสม
3) การเลือกค่าของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสภาพจราจร อันได้แก่ ความจุของถนน การเลือกเส้นทาง
4) ปรับเทียบแบบจำลองโดยรวม โดยปรับเทียบสภาพจราจรต่าง ๆ เช่น เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า และความยาวแถวคอย

3.4.1 การปรับแก้แบบจำลอง

เมื่อทำการพัฒนาแบบจำลองเสร็จสิ้นขั้นตอนต่อไปจะต้องทำการปรับแก้แบบจำลองให้มีความสอดคล้องใกล้เคียงกับสภาพการจราจรที่เป็นจริงมากที่สุด การปรับแก้แบบจำลองเป็นขั้นตอนที่อาศัยความสามารถในการปรับแก้แบบจำลองให้มีความเหมาะสมโดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ โดยผู้ใช้งานทั้งนี้เนื่องจากค่าที่โปรแกรมกำหนดมาอาจไม่สอดคล้องกับสภาพจริง การปรับแก้นั้นจะต้องปรับแก้องค์ประกอบ 3 ประเภทได้แก่

1) แบบจำลองการเคลื่อนตัวตามกันของรถ (Car Following Model)
2) แบบจำลองการเปลี่ยนช่องทางจราจร (Lane Changing Model)
3) แบบจำลองการยอมรับระยะระหว่างรถ (Gap Acceptance Model)

ทั้งนี้การปรับแก้ดังกล่าวค่อนข้างมีความยุ่งยาก ทางเลือกหนึ่งคือ การคัดเลือกตัวแปรที่มักจะใช้เป็นตัวแปรหลักในการปรับแก้ อาทิ พฤติกรรมความก้าวร้าวของผู้ขับขี่ (Driver Aggression) ความตระหนักของผู้ขับขี่ (Driver Awareness) ความเร่งและความหน่วงของยานพาหนะ ความเร็วยานพาหนะ ระยะห่างระหว่างรถ (Headway) และระยะเวลาตอบสนอง (Reaction Time) แต่อย่างไรก็ดีตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดที่ควรใช้ในการปรับแก้แบบจำลองได้แก่ ระยะห่างระหว่างรถและระยะเวลาตอบสนอง (Prabnasak, Yue, & Australia, 2001)

การปรับแก้แบบจำลองมีขั้นตอนอันประกอบด้วยการปรับแก้กระบวนการรันแบบจำลอง การตรวจสอบลักษณะโครงข่ายร่วมกับการสังเกตพฤติกรรมการขับขี่สภาพแวดล้อมทั่วไปของแบบจำลอง ซึ่งดำเนินการในส่วนของ Modeler หลังจากที่ได้ทำการปรับแก้ในขั้นต้นแล้ว กระบวนการปรับแก้โดยใช้การทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลอง ประกอบด้วยการรันแบบจำลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งต้นและเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ค่าระยะห่างระหว่างรถและระยะเวลาตอบสนอง เพื่อให้ได้ผลถูกต้องตามหลักสถิติ ทั้งนี้ในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์นั้นผู้ใช้สามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรหลักในแบบจำลองพื้นฐานได้เช่นกัน โดยเปลี่ยนแบบจำลองการเคลื่อนตัวของรถแบบจำลองการเปลี่ยนช่องทาง แบบจำลองการยอมรับระยะห่างระหว่างรถในโปรแกรม เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด สำหรับการศึกษาครั้งนี้ถือว่าตัวแปรทางด้านการจราจรมีความละเอียดสูงและมีหลายตัวแปรซึ่งต้องอาศัยเวลาในการปรับเปลี่ยนแบบจำลองดังกล่าว จึงเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญเพียง 2 ตัวได้แก่ ค่าระยะห่างระหว่างรถและระยะเวลาตอบสนอง (Gardes, May, Dahlgren, & Skabardonis, 2002)

ค่าเดิมที่โปรแกรมกำหนดสำหรับค่าระยะห่างระหว่างรถและระยะเวลาตอบสนอง ถูกกำหนดไว้ที่ 1.0 วินาที แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาบนทางด่วน I-405 ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ให้ค่าระยะห่างระหว่างรถเท่ากับ 1.65 วินาทีและค่าระยะเวลาตอบสนอง 0.42 วินาทีนอกจากนี้ (Gardes, et al., 2002) พบว่าที่ San Francisco บนทางด่วน I-80 ให้ค่าระยะห่างระหว่างรถเท่ากับ 0.68 วินาทีและค่าระยะเวลาตอบสนอง 0.60 วินาที สำหรับการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าทั้งสองเป็นค่าที่ได้ศึกษาในต่างประเทศอาจมีความไม่เหมาะสมกับพฤติกรรมการขับขี่ที่แท้จริงของประเทศไทย ทั้งนี้ (Junsuwan, 2001) ได้มีการศึกษาในด้านการประเมินระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบเป็นพื้นที่ในกรุงเทพมหานครด้วยการจำลองคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการศึกษาในพื้นที่ย่านธุรกิจพบว่าให้ค่าระยะห่างระหว่างรถเท่ากับ 1.3 วินาที และระยะเวลาตอบสนองมีค่า 1.3 วินาที ทว่าในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาบนระบบทางพิเศษซึ่งพฤติกรรมต่าง ๆ ย่อมมีความแตกต่างระบบโครงข่ายถนนด้านล่างจึงได้ทำการศึกษาค่าทั้งสองอีกครั้งโดยอาศัยช่วงที่มีการศึกษาไว้แล้วดังที่ได้กล่าวมา

3.4.2 การตรวจสอบความถูกต้อง (Model Validation)

ก่อนที่จะมีการนำแบบจำลองที่ได้นำไปประยุกต์ใช้ จำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอีกครั้งถึงความสามารถของแบบจำลองในการแสดงผล ไม่ว่าจะในกระบวนการรันโปรแกรมควรที่จะมีการตรวจสอบหาความผิดพลาดจากการกำหนดค่าต่าง ๆ (Coding Error) และตรวจดูการเคลื่อนตัวของยวดยาน การทำงานของระบบโดยรวมว่าสมเหตุสมผลหรือไม่ อาทิเช่นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการจำลองโครงข่ายในระดับจุลภาค (Microscopic) การวิเคราะห์ค่าปริมาณรถที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางโดยทำการเปรียบเทียบผลกับข้อมูลจริงจากภาคสนาม โดยใช้หลักการทดสอบทางสถิติ (Gardes, et al., 2002)

จากการพัฒนาแบบจำลองโดยการกำหนดลักษณะทางกายภาพระบบทางพิเศษพร้อมกับการปรับเปลี่ยนลักษณะการควบคุมช่องทางต่าง ๆ เพื่อให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ได้มีการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางด้านจราจรเพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากที่สุด โดยในกระบวนการปรับแก้แบบจำลองได้มีการปรับเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างรถและระยะเวลาตอบสนองในการประมวลผล ร่วมกับการเปลี่ยนค่าตั้งต้น โดยผลที่ได้นำมาวิเคราะห์คือค่าปริมาณรถที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทาง

โดยกำหนดค่าระยะห่างระหว่างรถในช่วง 0.4 ถึง 1.2 วินาที และค่าระยะเวลาตอบสนองในช่วง 0.4 ถึง 2.1 วินาที ทำการประมวลผลโดยทำการทดสอบค่าปริมาณรถที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยผลที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม ทั้งนี้ผลกระบวนการปรับแก้แบบจำลองโดยกำหนดค่าระยะห่างระหว่างรถและค่าระยะเวลาตอบสนองที่มีความเหมาะสมมีค่า 0.7 และ 1.2 วินาที ตามลำดับ ดังในตารางที่ 3.3 ซึ่งแสดงค่าเปรียบเทียบปริมาณรถที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางจากแบบจำลอง และค่าที่สำรวจได้จากภาคสนาม ช่วงเร่งด่วนเย็นเวลา 16.00-17.00 น. ของวันที่ 13-15 มกราคม 2556 โดยการพิจารณาค่า GEH (Quadstone, 2003) ซึ่งเป็นค่าทางสถิติที่พัฒนามาจากสถิติไคสแคร์ (Chi-squared) เพื่อใช้การเปรียบเทียบค่าในกระบวนการปรับแก้แบบจำลอง (Quadstone, 2003) ดังสมการที่ 1 ซึ่งค่านี้ได้ผ่านการประเมินผลเปรียบเทียบและความสอดคล้องกับข้อมูลในภาคสนาม สามารถสรุปผลสภาวะการจราจรที่ได้จากการประเมินผลด้วยแบบจำลอง และสามารถสรุปผลด้านการจราจรในพื้นที่ส่วนย่อยภายใต้ระดับปริมาณจราจรที่ทำการศึกษา

$$GEH = \sqrt{\frac{(Simulated - Observed)^2}{0.5*(Simulated + Observed)}} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ GEH < 5 ผ่านการพิจารณา

5<GEH<10 ต้องตรวจสอบใหม่

10<GEH ไม่ผ่านการพิจารณา

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบผลการปรับแก้แบบจำลองโดยกำหนดค่าระยะห่างระหว่างรถ 0.7 วินาทีและค่าระยะเวลาตอบสนอง 1.2 วินาที ตามลำดับ

วันที่	ช่องจราจร	แบบจำลอง	สำรวจจริง	GEH
13-ม.ค.-56	ช่อง 1 (Manual)	196	218	1.529
	ช่อง 2 (Manual)	212	192	1.407
	ช่อง 3 (Manual)	256	232	1.536
	ช่อง 4 (ETC)	1,290	1,262	0.784
	ช่อง 5 (Manual)	292	243	2.996
	ช่อง 6 (Manual)	248	278	1.850

วันที่	ช่องจราจร	แบบจำลอง	สำรวจจริง	GEH
14-ม.ค.-56	ช่อง 1 (Manual)	182	215	2.342
	ช่อง 2 (Manual)	197	234	2.520
	ช่อง 3 (Manual)	248	326	4.604
	ช่อง 4 (ETC)	963	1,069	3.326
	ช่อง 5 (Manual)	236	296	3.679
	ช่อง 6 (Manual)	221	181	2.821

วันที่	ช่องจราจร	แบบจำลอง	สำรวจจริง	GEH
15-ม.ค.-56	ช่อง 1 (Manual)	203	182	1.514
	ช่อง 2 (Manual)	198	172	1.912
	ช่อง 3 (Manual)	246	269	1.433
	ช่อง 4 (ETC)	913	1,042	4.126
	ช่อง 5 (Manual)	235	283	2.983
	ช่อง 6 (Manual)	228	273	2.843

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง กับข้อมูลจริงภาคสนาม ดังตารางที่ 3.3 ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองที่ออกแบบขึ้นจากการศึกษาครั้งนี้มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (GEH <5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Aimsun สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริการด่านเก็บค่าผ่านทางได้

3.5 การจำลองสถานการณ์

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำแบบจำลองที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และบริหารด่านเก็บเงิน ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้การจำลองสถานการณ์ในการจัดรูปแบบด่านเก็บเงินที่แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้รถใช้เวลาในการชำระค่าผ่านทางน้อยที่สุด

ทั้งนี้แบบจำลองยังสามารถช่วยในการประเมินการออกแบบและคาดการณ์ประสิทธิภาพของด่านด่านเก็บเงินในอนาคตเมื่อมีปริมาณจราจร และสัดส่วนประเภทรถเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถช่วยให้หน่วยงานที่รับผิดชอบสามารถวางแผนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จุดประสงค์หลักของการพัฒนาแบบจำลองนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจัดรูปแบบด่านเก็บเงินที่เหมาะสมของพื้นที่กรณีศึกษา คือ ด่านเก็บค่าผ่านทางบางขุนเทียน ทางออก 3 ที่มีตู้เก็บเงินจำนวน 6 ตู้ มีช่องให้บริการแรกด้านซ้ายมือเป็นตู้สำหรับรถบรรทุกโดยการสมมติสถานการณ์ที่มีความแตกต่างกันไปของปริมาณจราจรที่ผ่านด่าน และสัดส่วนของผู้ใช้ระบบ ETC เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดรูปแบบด่านเก็บเงินว่ารูปแบบใดมีความเหมาะสมที่สุด

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองแบบ Multi-level factorial design โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 3 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรสัดส่วนการใช้ ETC ตัวแปรการจัดตำแหน่งด่านเก็บเงิน และตัวแปรปริมาณจราจร โดยตัวแปรที่ใช้วัดประสิทธิภาพ ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ตัวแปรความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางที่เกิดจากแถวคอย (Average Queuing Delay) เป็นตัวแปรเปรียบเทียบแทน การวิเคราะห์ความยาวแถวคอยบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง เนื่องจากสามารถวิเคราะห์แยกผลกระทบของรถแต่ละประเภทที่ต้องเสียเวลาจากการรอคอยเพื่อเข้าสู่ด่านเก็บค่าผ่านทางได้ ในขณะที่การวัดความยาวแถวคอยสามาถวัดความยาวแถวคอยได้เพียงความยาวแถวคอยของรถทุกประเภทที่เข้าสู่ด่านเก็บค่าผ่านทางเนื่องจากรถทุกประเภทต้องใช้ช่องจราจรร่วมกันในการเข้าสู่ด่านเก็บค่าผ่านทาง ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์แยกความยาวแถคอยของรถแต่ละประเภทได้ อีกทั้งเป็นการยากในการวัดความยาวแถวคอยบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางเนื่องจากความยาวแถวคอยบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางมีการเปลี่ยนแปลงทุกเวลาเนื่องจากมีรถเข้าสู่ด่านเก็บค่าผ่านทางตลอดเวลา นอกจากนี้ในงานวิจัยต่างๆที่วิเคราะห์

ประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าผ่านทาง เช่น งานวิจัยของ (Al-Deek & Mohamed, 2000; Ito & Hiramoto, 2006; Klodzinski & Al-Deek, 2002) ส่วนใหญ่ได้ใช้ตัวแปรความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางที่เกิดจากแถวคอย (Average Queuing Delay) ในการวิเคราะห์ผลกระทบจากแถวคอยหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้ตัวแปร ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางที่เกิดจากแถวคอย (Average Queuing Delay) ในการวิเคราะห์ผลกระทบจากแถวคอยหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยตัวแปรความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางที่เกิดจากแถวคอย (Average Queuing Delay) เป็นเวลาที่เฉลี่ยที่รถแต่ละคันใช้ในการรอเข้าคิวแถวคอยต่อระยะทาง 1 กม.หน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง จนกระทั่งรถสามารถผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางไปได้ ซึ่งมีหน่วยเป็น วินาที ในการทดลองครั้งนี้ได้มุ่งเน้นในช่วงสภาพจราจรสูงสุด คือ ช่วงเวลา 15:00-18:00 น. โดยในแต่ละตัวแปรจะแบ่งระดับตัวแปรย่อย ดังนี้

1) ตัวแปรสัดส่วนการใช้ ETC จะทำการทดลองโดยแบ่งสัดส่วนเป็น 7 ระดับ คือ สัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% และ 80%
2) ตัวแปรปริมาณจราจรที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทาง แบ่งเป็น 3 ระดับคือ
    - ปริมาณจราจร 1,000 คันต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นตัวแทนแสดงถึงสภาพจราจรในกรณีไม่มีปัญหาการติดขัดบริเวณหน้าด่านเก็บเงิน
    - ปริมาณจราจร 2,000 คันต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นตัวแทนแสดงถึงสภาพจราจรในปัจจุบันที่เริ่มมีความล่าช้าในการเดินทางเนื่องจากเกิดการติดขัดจากจากแถวคอยในการเข้าใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทาง
    - ปริมาณจราจร 3,000 คันต่อชั่วโมง แสดงถึงสภาพจราจรสูงสุดที่การทางพิเศษแห่งประเทศไทยได้ทำการคาดการณ์ไว้ เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มทุนในการก่อสร้างโครงการ
3) ตัวแปรการจัดตำแหน่งตู้เก็บเงินแบ่งรูปแบบติดตั้ง 6 รูปแบบตามลักษณะข้อจำกัดทางกายภาพที่สามารถออกแบบได้ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงการกำหนดสถานการณ์การจัดตำแหน่งด่านเก็บเงิน

จำนวนตู้ ETC	ชื่อสถานการณ์	ตำแหน่งตู้เก็บเงิน					
		1	2	3	4	5	6
1ตู้	1E-4	M	M	M	E	M	M
	1E-5	M	M	M	M	E	M
	1E-6	M	M	M	M	M	E
2ตู้	2E-3&4	M	M	E	E	M	M
	2E-3&6	M	M	E	M	M	E
	2E-5&6	M	M	M	M	E	E

M คือ ช่องเก็บเงินแบบ Manual

E คือ ช่องเก็บเงินแบบ ETC

เมื่อทำการรวมตัวแปรทั้งสามตัวแปรจะต้องทำการทดลองสถานการณ์ทั้งสิ้น 7 x 6 x 3 = 126 สถานการณ์ ดังตารางที่ 3.5 ซึ่งในแต่ละสถานการณ์จะมีค่าตัวแปรแต่ละสถานการณ์แตกต่างกันไป เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการจัดช่องเก็บเงินเมื่อมีปริมาณจราจร และสัดส่วนการใช้ ETC แตกต่างกันไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.5 รูปแบบสถานการณ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการจัดช่องเก็บค่าผ่านทาง

สถานการณ์ที่	ตำแหน่งช่องเก็บเงิน	ETC	Manual	ปริมาณรถ
1	1E-4	0.2	0.8	1,000
2	1E-4	0.3	0.7	1,000
3	1E-4	0.4	0.6	1,000
4	1E-4	0.5	0.5	1,000
5	1E-4	0.6	0.4	1,000
6	1E-4	0.7	0.3	1,000
7	1E-4	0.8	0.2	1,000
8	1E-4	0.2	0.8	2,000
9	1E-4	0.3	0.7	2,000
10	1E-4	0.4	0.6	2,000
11	1E-4	0.5	0.5	2,000
12	1E-4	0.6	0.4	2,000
13	1E-4	0.7	0.3	2,000
14	1E-4	0.8	0.2	2,000
15	1E-4	0.2	0.8	3,000
16	E-4	0.3	0.7	3,000
17	1E-4	0.4	0.6	3,000
18	1E-4	0.5	0.5	3,000
19	1E-4	0.6	0.4	3,000
20	1E-4	0.7	0.3	3,000
21	1E-4	0.8	0.2	3,000
22	1E-5	0.2	0.8	1,000
23	1E-5	0.3	0.7	1,000
24	1E-5	0.4	0.6	1,000
25	1E-5	0.5	0.5	1,000
26	1E-5	0.6	0.4	1,000
27	1E-5	0.7	0.3	1,000
28	1E-5	0.8	0.2	1,000
29	1E-5	0.2	0.8	2,000
30	1E-5	0.3	0.7	2,000

สถานการณ์ที่	ตำแหน่งช่องเก็บเงิน	ETC	Manual	ปริมาณรถ
64	2E-3&4	0.2	0.8	1,000
65	2E-3&4	0.3	0.7	1,000
66	2E-3&4	0.4	0.6	1,000
67	2E-3&4	0.5	0.5	1,000
68	2E-3&4	0.6	0.4	1,000
69	2E-3&4	0.7	0.3	1,000
70	2E-3&4	0.8	0.2	1,000
71	2E-3&4	0.2	0.8	2,000
72	2E-3&4	0.3	0.7	2,000
73	2E-3&4	0.4	0.6	2,000
74	2E-3&4	0.5	0.5	2,000
75	2E-3&4	0.6	0.4	2,000
76	2E-3&4	0.7	0.3	2,000
77	2E-3&4	0.8	0.2	2,000
78	2E-3&4	0.2	0.8	3,000
79	2E-3&4	0.3	0.7	3,000
80	2E-3&4	0.4	0.6	3,000
81	2E-3&4	0.5	0.5	3,000
82	2E-3&4	0.6	0.4	3,000
83	2E-3&4	0.7	0.3	3,000
84	2E-3&4	0.8	0.2	3,000
85	2E-5&6	0.2	0.8	1,000
86	2E-5&6	0.3	0.7	1,000
87	2E-5&6	0.4	0.6	1,000
88	2E-5&6	0.5	0.5	1,000
89	2E-5&6	0.6	0.4	1,000
90	2E-5&6	0.7	0.3	1,000
91	2E-5&6	0.8	0.2	1,000
92	2E-5&6	0.2	0.8	2,000
93	2E-5&6	0.3	0.7	2,000

ตารางที่ 3.5 รูปแบบสถานการณ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการจัดช่องเก็บค่าผ่านทาง (ต่อ)

สถานการณ์ที่	ตำแหน่งช่องเก็บเงิน	ETC	Manual	ปริมาณรถ
31	1E-5	0.4	0.6	2,000
32	1E-5	0.5	0.5	2,000
33	1E-5	0.6	0.4	2,000
34	1E-5	0.7	0.3	2,000
35	1E-5	0.8	0.2	2,000
36	1E-5	0.2	0.8	3,000
58	1E-6	0.3	0.7	3,000
59	1E-6	0.4	0.6	3,000
60	1E-6	0.5	0.5	3,000
61	1E-6	0.6	0.4	3,000
62	1E-6	0.7	0.3	3,000
63	1E-6	0.8	0.2	3,000

สถานการณ์ที่	ตำแหน่งช่องเก็บเงิน	ETC	Manual	ปริมาณรถ
94	2E-5&6	0.4	0.6	2,000
95	2E-5&6	0.5	0.5	2,000
96	2E-5&6	0.6	0.4	2,000
97	2E-5&6	0.7	0.3	2,000
98	2E-5&6	0.8	0.2	2,000
99	2E-5&6	0.2	0.8	3,000
121	2E-3&6	0.3	0.7	3,000
122	2E-3&6	0.4	0.6	3,000
123	2E-3&6	0.5	0.5	3,000
124	2E-3&6	0.6	0.4	3,000
125	2E-3&6	0.7	0.3	3,000
126	2E-3&6	0.8	0.2	3,000

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Al-Deek, H., & Mohamed, A. (2000). SIMULATION AND EVALUATION OF THE ORLANDO-ORANGE COUNTY EXPRESSWAY AUTHORITY (OOCEA) ELECTRONIC TOLL COLLECTION PLAZAS USING TPSIM (COPYRIGHT).

Gardes, Y., May, A. D., Dahlgren, J., & Skabardonis, A. (2002). *Freeway calibration and application of the Paramics model.* Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

Ito, T., & Hiramoto, T. (2006). A general simulator approach to ETC toll traffic congestion. *Journal of Intelligent Manufacturing, 17*(5), 597-607.

Junsuwan, S. (2001). Assessment of Area Traffic Control System in Bangkok by the Microscopic Simulation Model. *Thesis for the Degree of Master, Faculty of Engineering*(Chulalongkorn University).

Klodzinski, J., & Al-Deek, H. M. (2002). Transferability of a stochastic toll plaza computer model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1811*(1), 40-49.

Prabnasak, J., Yue, W. L., & Australia, S. (2001). Using aaSIDRA and PARAMICS in Evaluation of a Traffic Signal Coordination Development in Khon Kaen City, Thailand.

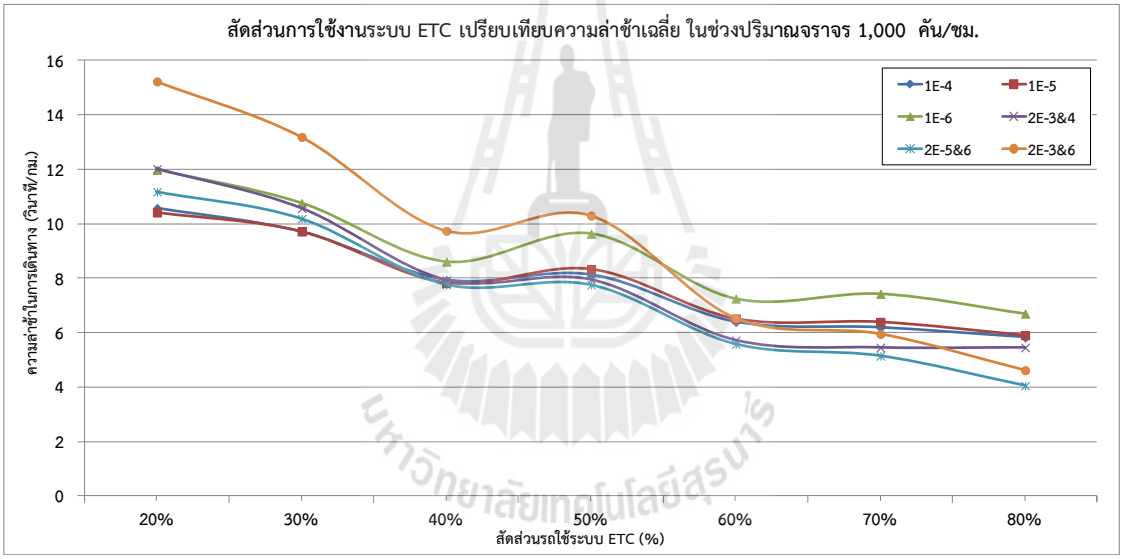
Quadstone, L. (2003). *PARAMICS V4.2 Modelling for Traffic Problems V4.* Edinburgh.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษา

เนื้อหาในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อประเมินความสามารถในการจัดช่องเก็บค่าผ่านทางในรูปแบบต่างๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ในท้ายบทที่ 3 โดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จะแสดงในรูปของความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง โดยได้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 ส่วน ตามสภาพจราจรที่กำหนดสถานการณ์ขึ้น ได้แก่ สภาพปริมาณจราจรที่ 1,000 คันต่อชั่วโมง 2,000 คันต่อชั่วโมง และ3,000 คันต่อชั่วโมง

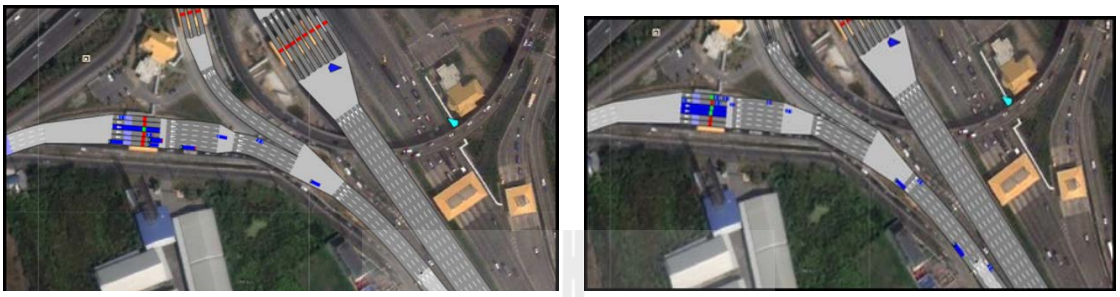
4.1 ผลการศึกษาจากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 1,000 คันต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความล่าช้าในการเดินทาง กับสัดส่วนผู้ใช้งานระบบ ETC ในช่วงปริมาณจราจร 1,000 คันต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.1 แสดงความความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางผ่านด่านเก็บเงิน เปรียบเทียบกับแต่ละรูปแบบของการติดตั้งด่านเก็บเงิน และสัดส่วนการใช้ระบบ ETC ในสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรผ่านด่านเก็บค่าผ่านทาง 1,000 คันต่อชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์รูปแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งตู้เก็บเงินในสถานการณ์ต่าง ๆ จากรูปที่ 4.1 พบว่าในในกรณีที่มีสภาพจราจรอยู่ในช่วง 1,000 คันต่อชั่วโมง ด่านเก็บค่าผ่านทางยังสามารถให้บริการได้ดีภายใต้ความจุที่สามารถรองรับได้ทั้งในช่องแบบ Manual และช่อง ETC ทำให้มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4-16 วินาทีต่อกิโลเมตร

โดยลักษณะกราฟจะมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางแปรผกผันกับสัดส่วนการใช้ ETC ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อมีสัดส่วนการใช้ ETC มากขึ้นจะช่วยให้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางเข้าสู่ด่านเก็บเงินมีค่าลดลงในทุกรูปแบบการติดตั้งด่านเก็บเงิน ตัวอย่างสภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บเงิน แสดงดังรูปที่ 4.2



1.) รูปแบบช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ 1E-4 2.) รูปแบบช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ 2E-3&4

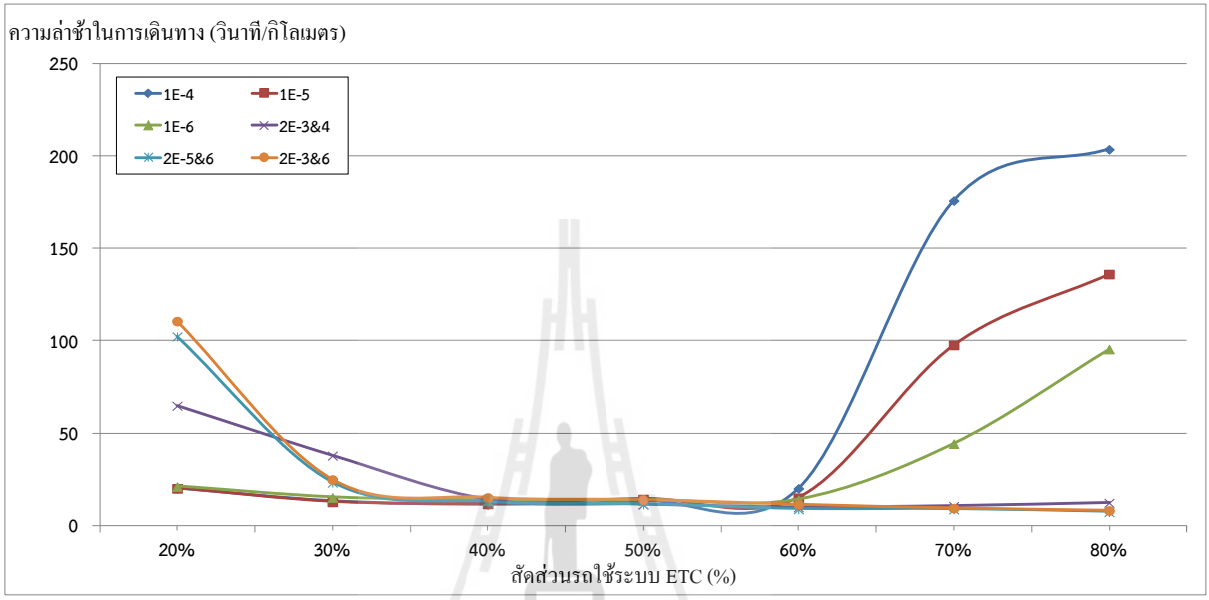
รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางในรูปแบบการจัดช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ 1E-4 และ แบบ 2E-3&4 กรณีมีปริมาณจราจร 1,000 คันต่อชั่วโมง

เมื่อวิเคราะห์ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางเปรียบเทียบในกรณีที่สัดส่วนการใช้ระบบ ETC น้อยกว่า 30% พบว่ารูปแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทาง คือ รูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 1ตู้ เนื่องจากทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางน้อยกว่าการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ ซึ่งเป็นผลมาจากสัดส่วนของผู้ไม่ใช้ระบบ ETC ยังมีค่ามากในขณะที่มีช่อง Manual น้อยลงจากการเพิ่มช่อง ETC เป็น 2 ตู้ เป็นผลทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่อง Manual มากขึ้น จากการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 2 ตู้ นอกจากนี้ยังพบว่าตำแหน่งของช่อง ETC ที่มีความเหมาะสมในการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางที่ทำให้สามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง คือรูปแบบ 1E-4 และ 1E-5 เนื่องจากลักษณะกายภาพที่สามารถแยกช่องเดินรถระหว่างรถบรรทุกและรถส่วนตัวได้ดีกว่าทำให้เกิดการติดขัดในการเข้าช่องเก็บเงินน้อยลง

เมื่อวิเคราะห์ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางเปรียบเทียบในกรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มากกว่า 70% พบว่า จะทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางลดลง โดยความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางจากการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 1 ตู้ จะมีค่ามากกว่า การกรณีติดตั้งตู้ตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ เนื่องจากมีสัดส่วนของรถใช้ระบบ ETC มากขึ้น ในขณะที่มีช่อง ETC เพียง 1 ตู้เป็นผลทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่อง ETC มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ตำแหน่งที่มี

ความเหมาะสมในการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางคือ รูปแบบ 2E-5&6 เนื่องจากทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางน้อยที่สุดและสามารถระบายรถในการเข้าช่องเก็บเงินได้ดีกว่า

4.2 ผลการศึกษาจากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 2,000 คันต่อชั่วโมง

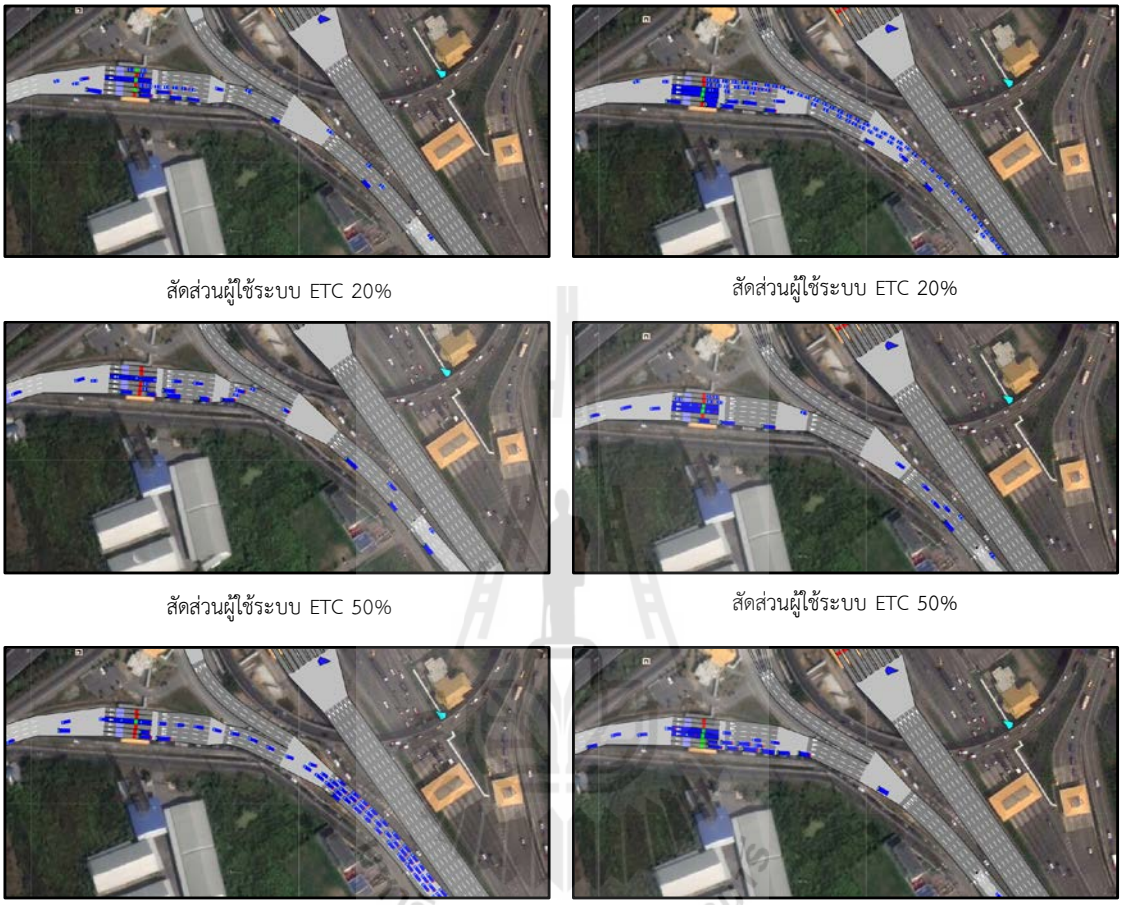


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความล่าช้าในการเดินทาง กับสัดส่วนผู้ใช้งานระบบ ETC ในช่วงปริมาณจราจร 2,000 คัน/ชม.

รูปที่ 4.3 แสดงความความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางผ่านด่านเก็บเงินของรูปแบบของการติดตั้งด่านเก็บเงินที่แตกต่างกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการใช้ระบบ ETC ในสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 2,000 คันต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสภาพการจราจรในปัจจุบัน จากผลการศึกษา พบว่าในในกรณีที่สภาพจราจรอยู่ในช่วง 2,000 คันต่อชั่วโมง การจราจร ณ ด่านเก็บค่าผ่านทางเริ่มมีสภาพติดขัดมากขึ้น โดยความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางอยู่ในช่วง 6-210 วินาทีต่อกิโลเมตร สภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางแสดงดังรูปที่ 4.4

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบในกรณีที่มีสัดส่วนการใช้ระบบ ETC น้อยกว่า 30% พบว่ารูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ ทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางมากกว่าการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC เพียง 1 ตู้ เนื่องจากสัดส่วนของผู้ใช้ระบบ Manual ยังมีค่ามากในขณะที่มีช่อง Manual น้อยลงจากการเพิ่มช่อง ETC เป็น 2 ตู้ เป็นผลทำให้ช่อง Manual ให้บริการเกินความจุที่สามารถรองรับได้ ทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่อง Manual มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์

ตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางที่ทำให้สามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง พบว่ารูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 1 ตู้ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางอย่างมีนัยสำคัญ



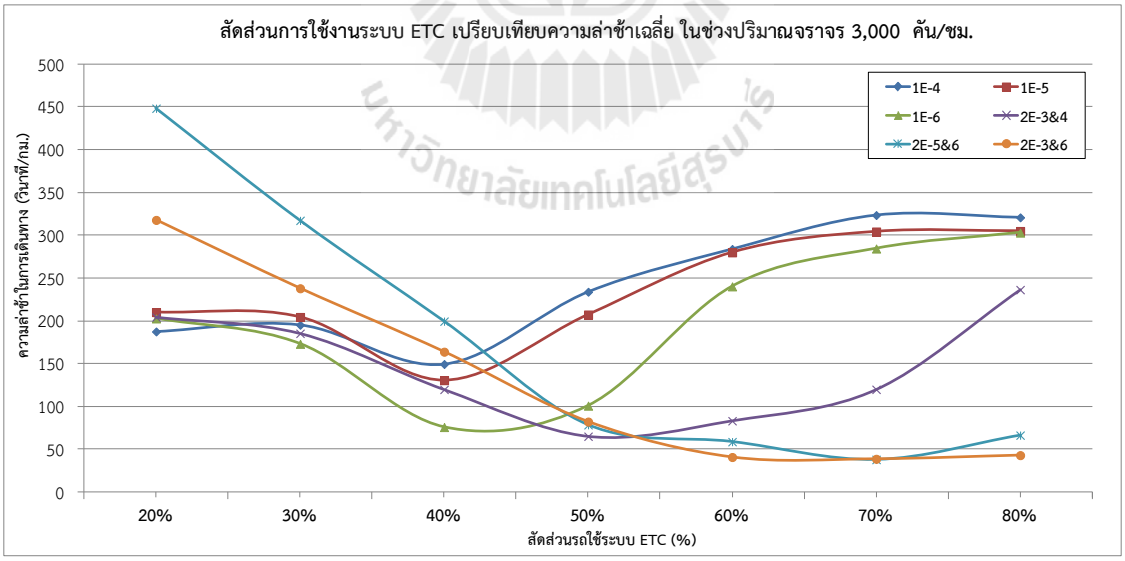
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางในรูปแบบการจัดช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ 1E-4 และ แบบ 2E-3&4 กรณีมีปริมาณจราจร 2,000 คัน/ชม.

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบในกรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC อยู่ในช่วง 40-60% พบว่ารูปแบบกรณีติดตั้งตู้ตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางที่ลดลง ใกล้เคียงกับกรณีติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 1 ตู้ เนื่องจากสัดส่วนของผู้ใช้ระบบ Manual มีค่าลดลง เป็นผลทำให้ช่อง Manual สามารถรองรับการให้บริการได้ดีขึ้นทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่อง Manual น้อยลง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์รูปแบบตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางที่ทำให้สามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง พบว่ารูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ 1

ตู้และรูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ 2 ตู้ ในแต่ละตำแหน่ง ทำให้ความล้าช้าเฉลี่ยในการเดินทางไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

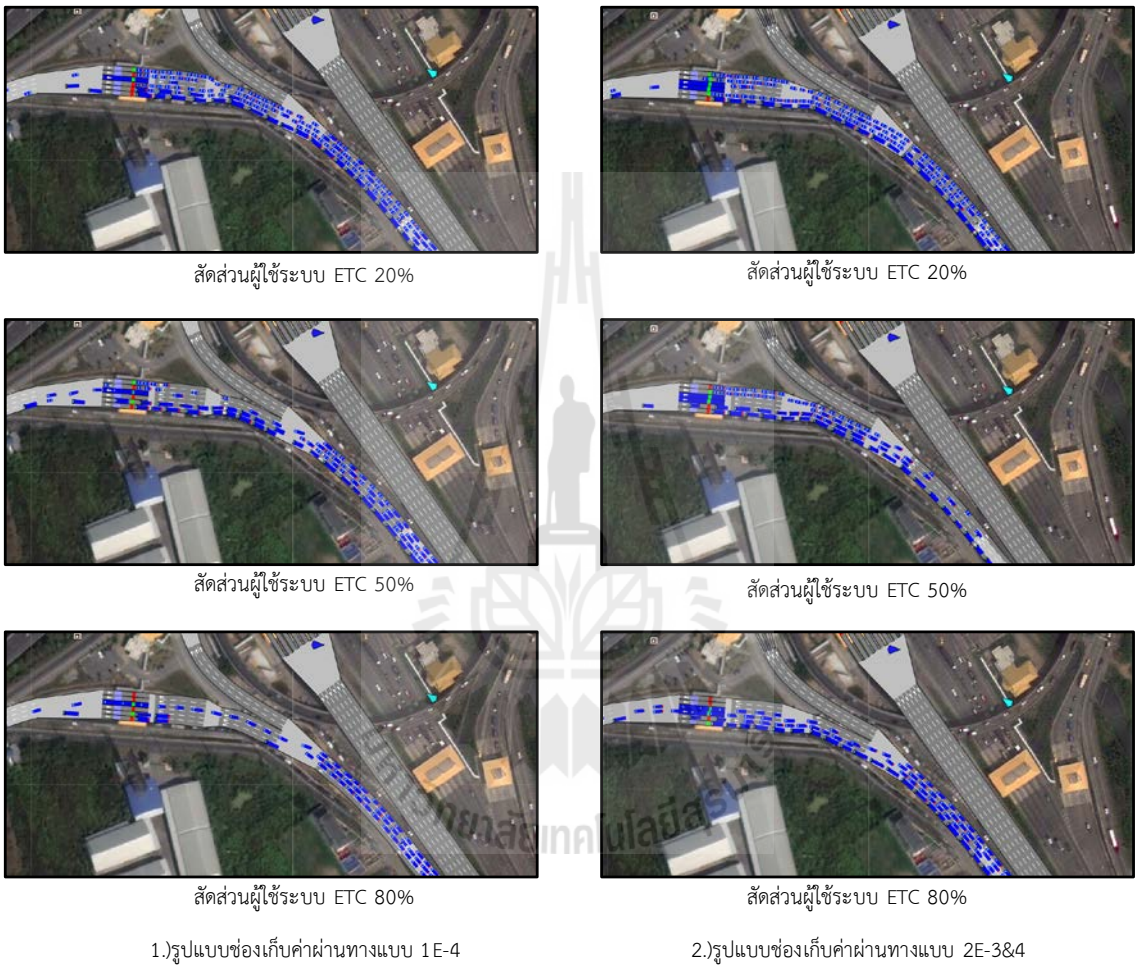
เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบในกรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มากกว่า 70% จะทำให้รูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 2 ตู้ มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางลดลงจนเกือบคงที่ เนื่องจากสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มีค่ามากขึ้นและสัดส่วนผู้ใช้ระบบ Manual มีค่าลดลง ทำให้ช่อง Manual สามารถรองรับการให้บริการได้ดีขึ้น ในขณะที่ ช่อง ETC สามารถรองรับให้บริการที่เพิ่มมากขึ้นภายใต้ความจุที่สามารถรับได้ จากการเพิ่มตู้ ETC 2 ตู้ ทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางลดลง ในขณะที่รูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 1 ตู้ มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางมากขึ้น เนื่องจากสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC ที่มีค่ามากขึ้น ขณะที่มีช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ ETC เพียง 1 ตู้ เป็นผลทำให้ช่อง ETC ให้บริการเกินความจุที่สามารถรองรับได้ ทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่อง ETC มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์รูปแบบที่มีความเหมาะสมในการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางที่ทำให้สามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง พบว่าตำแหน่งการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ 2 ตู้ในแต่ละตำแหน่ง ทำให้ความล้าช้าเฉลี่ยในการเดินทางไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.3 ผลการศึกษาจากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 3,000 คันต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบความล่าช้าในการเดินทาง กับสัดส่วนผู้ใช้งานระบบ ETC ในช่วงปริมาณจราจร 3,000 คัน/ชม.

รูปที่ 4.5 แสดงความความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางผ่านด่านเก็บเงิน เปรียบเทียบกับแต่ละรูปแบบของการติดตั้งด่านเก็บเงิน และสัดส่วนการใช้ระบบ ETC ในสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 3,000 คันต่อชั่วโมง จากรูปที่ 4.5 พบว่าการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางมีสภาพติดขัดมากขึ้น จากสภาพจราจรที่เพิ่มมากขึ้นจนเกินความจุที่ด่านเก็บค่าผ่านทางสามารถรองรับได้ ทำให้มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางอยู่ในช่วง 45-450 วินาทีต่อกิโลเมตร ตัวอย่างสภาพจราจรแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางในรูปแบบการจัดช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ 1E-4 และ แบบ 2E-3&4 กรณีมีปริมาณจราจร 3,000 คัน/ชม.

ในกรณีที่มีสัดส่วนการใช้ระบบ ETC น้อยกว่า 30% รูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ จะมีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางมากกว่า รูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC เพียง 1 ตู้ เนื่องจากสัดส่วนผู้ใช้ระบบ Manual มีค่ามาก ในขณะที่มีช่อง Manual น้อยลงจากการเพิ่มช่อง ETC เป็น 2 ตู้ เป็นผลทำให้ช่อง Manual ให้บริการเกินความจุที่สามารถรองรับได้ ทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่อง Manual มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบที่มีความเหมาะสมใน

การจัดตู้เก็บค่าผ่านทางที่ทำให้สามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง คือ รูปแบบ 1E-4 เนื่องจากลักษณะกายภาพที่สามารถแยกช่องเดินรถระหว่างรถบรรทุกและรถส่วนตัวได้ดีกว่าทำให้เกิดการติดขัดในการเข้าช่องเก็บเงินน้อยลง

ในกรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC อยู่ในช่วง 30-40% พบว่ารูปแบบกรณีติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 2 ตู้ มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางที่ลดลง เนื่องจากสัดส่วนของผู้ใช้ระบบ Manual มีค่าลดลง เป็นผลทำให้ช่อง Manual สามารถรองรับการให้บริการได้ดีขึ้นทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่องManual น้อยลง และเมื่อพิจารณารูปแบบกรณีติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 1 ตู้ พบว่ามีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางที่ลดลงตามไปด้วย เนื่องจากสัดส่วนของผู้ใช้ระบบ Manual มีค่าลดลง เป็นผลทำให้ช่อง Manual สามารถรองรับการให้บริการได้ดีขึ้นทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่อง Manual น้อยลง และช่อง ETC ยังสามารถรองรับปริมาณรถที่เพิ่มมากขึ้นได้ภายใต้ความจุที่สามารถรองรับได้ทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางน้อยลง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์รูปแบบตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการกำหนดตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางที่ทำให้สามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง พบว่ารูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC เพียง 1 ตู้ ให้บริการได้ดีกว่ารูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ โดยรูปแบบ 1E-6 เป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากลักษณะกายภาพที่สามารถแยกช่องเดินรถระหว่างรถบรรทุกและรถส่วนตัวได้ดีกว่าทำให้เกิดการติดขัดในการเข้าช่องเก็บเงินน้อยลง

ในกรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มากกว่า 70% จะทำให้รูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางลดลง เนื่องจากสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มีค่ามากขึ้น และสัดส่วนผู้ใช้ระบบ Manual มีค่าลดลง ทำให้ช่อง Manual สามารถรองรับการให้บริการได้ดีขึ้น ในขณะที่ ช่อง ETC สามารถรองรับให้บริการที่เพิ่มมากขึ้นได้ภายใต้ความจุที่สามารถรับได้ จากการเพิ่มตู้ ETC 2 ตู้ ทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางลดลง ในขณะที่รูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 1 ตู้มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางมากขึ้น เนื่องจากสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC ที่มีค่ามากขึ้น ขณะที่ มีช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ ETC เพียง 1 ตู้ เป็นผลทำให้ช่อง ETC ให้บริการเกินความจุที่สามารถรองรับได้ ทำให้เกิดความล่าช้าจากแถวคอยของช่อง ETC มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์รูปแบบตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางที่ทำให้สามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง พบว่ารูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ ให้บริการได้ดีกว่ารูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 1 ตู้ โดยรูปแบบ 2E-3&6 และ 2E-5&6 เป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากลักษณะกายภาพที่สามารถแยกช่องเดินรถระหว่างรถบรรทุกและรถส่วนตัวได้ดีกว่าทำให้เกิดการติดขัดในการเข้าช่องเก็บเงินน้อยลง

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

การวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการศึกษาการกำหนดจำนวนช่องเก็บเงิน และการจัดวางตำแหน่งของช่องเก็บเงินให้มีความเหมาะสม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเลือกศึกษาด่านเก็บเงิน บางขุนเทียน ขาออก ของทางด่วนพิเศษหมายเลข 37 ช่วงบางพลี-สุขสวัสดิ์ เป็นกรณีศึกษา ซึ่งเป็นเส้นทางสำคัญในการกระจายสินค้าไปยังภาคใต้ของประเทศ เนื่องจากมีปัญหาสภาพจราจรติดขัดในปัจจุบัน แม้ว่าจะมีการติดตั้งช่องเก็บเงินค่าผ่านทางอัตโนมัติ ร่วมกับช่องเก็บเงินโดยพนักงาน รวมทั้งข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ในการเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินให้สอดคล้องกับสภาพจราจรในอนาคต ผลการศึกษาสามารถสรุปได้เป็น 2 ประเด็น เกี่ยวกับพฤติกรรม สัดส่วนของผู้ใช้ทางด่วนในระบบการชำระเงินแบบ ETC ในปัจจุบัน และผลสรุปจากการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินระบบ ETC และการกำหนดตำแหน่งที่ได้จากแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

5.1 พฤติกรรมของผู้ใช้ทางด่วน ณ ด่านเก็บเงินบางขุนเทียน ขาออก ในปัจจุบัน

จากสภาพการจราจรบริเวณพื้นที่ศึกษา สรุปได้ว่า ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันในช่วง 1 สัปดาห์ พบว่าว่า จะมีปริมาณจราจรมากในช่วงวันจันทร์ และวันศุกร์ เนื่องจากมีปริมาณรถที่วิ่งจากภาคตะวันออกไปยังภาคใต้เป็นจำนวนมากในช่วงก่อนวันหยุดสุดสัปดาห์ และหลังวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรสูงสุดในแต่ละวัน อยู่ระหว่างเวลา 15:00 – 18:00 น. ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนจะมีรถเข้าใช้บริการ ณ ด่านเก็บค่าผ่านทางเฉลี่ย 1,655 คันต่อชั่วโมง แบ่งออกตามประเภทรถ คือ รถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุก และรถใช้ระบบ ETC โดยมีสัดส่วนรถที่ผ่านด่านเก็บเงินเป็นรถยนต์ส่วนบุคคลประมาณ 54 % รถบรรทุกประมาณ 24 % รถใช้ระบบ ETC ประมาณ 22 %

5.2 การพัฒนาแบบจำลอง

การศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองด้วยโปรแกรม Aimsun ซึ่งเป็นแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค จำลองการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของยวดยานแต่ละคันในระบบโครงข่ายถนน เพื่อแสดงสภาพการจราจรบริเวณหน้าช่องเก็บเงินค่าผ่านทาง ที่แปรผันตามสัดส่วนพฤติกรรมของผู้ใช้บริการทางพิเศษ ในการตัดสินใจเลือกชำระเงินค่าผ่านทางด้วยช่องเก็บเงินอัตโนมัติ (ETC) รวมทั้งจำนวนและตำแหน่งช่องเก็บเงินค่าผ่านทางที่ออกแบบ ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเรขาคณิต เพื่อตรวจสอบการออกแบบด่านเก็บค่าผ่านทางให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในการศึกษาได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณรถที่เข้าสู่ด่านเก็บค่าผ่านทาง เพื่อตรวจสอบ และปรับเทียบแบบจำลองที่พัฒนา เพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถสะท้อนสภาพการจราจรที่แท้จริงของพื้นที่ศึกษาแต่ละพื้นที่ให้ใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์หรือประเมินประสิทธิภาพแนวทางแก้ไขปัญหาจราจรด้วยแบบจำลองมีระดับความถูกต้องน่าเชื่อถือสูง

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองแบบ Multi-level factorial design โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 3 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรสัดส่วนการใช้ ETC จำนวน 7 ค่า ตัวแปรการจัดตำแหน่งด่านเก็บเงิน 6 รูปแบบ และตัวแปรปริมาณจราจรจำนวน 3 ค่า รวมสถานการณ์จำลองทั้งสิ้น 126 สถานการณ์ โดยตัวแปรที่ใช้วัดประสิทธิภาพ ในการศึกษาครั้งนี้ คือตัวแปรด้านความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง (Average Total Travel Delay) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ชี้เห็นถึงความล่าช้าในการเดินทางจากสภาพการติดขัดในการเดินทางผ่านด่านเก็บเงิน

5.3 การประเมินผลจากการเพิ่มจำนวนและการกำหนดตำแหน่งของด่านเก็บเงินอัตโนมัติ

ผลการวิเคราะห์จากการพัฒนาแบบจำลองที่ผ่านการประมวลผลความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อประเมินรูปแบบและความสามารถในการจัดช่องเก็บค่าผ่านทางในแต่ละมาตรการ เพื่อประเมินผลด้านจราจรในพื้นที่ศึกษาซึ่งจะแสดงในรูปของความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง โดยได้แบ่งการวิเคราะห์ 3 ส่วน ตามสภาพจราจรที่กำหนดสถานการณ์ขึ้น ได้แก่ สภาพปริมาณจราจรที่ 1,000 คันต่อชั่วโมง 2,000 คันต่อชั่วโมง และ 3,000 คันต่อชั่วโมง

5.3.1 การเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินอัตโนมัติ

ประสิทธิภาพที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 1,000 คันต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาพจราจรที่ปริมาณจราจรน้อยกว่าความจุของช่องเก็บค่าผ่านทางที่สามารถรองรับได้ทั้งในช่องแบบ Manual และช่อง ETC จากผลการวิเคราะห์พบว่า ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มีค่ามากขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดรูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทาง พบว่า รูปแบบการติดตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 1 ตู้ และรูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 2 ตู้ จะให้เกิดความล่าช้าจากการเดินทางผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากด่านเก็บค่าผ่านทางทั้งสองระบบยังสามารถรองรับการให้บริการได้ ทำให้ไม่เกิดการติดขัดจากจากแถวคอยในการเข้าใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางนอกจากนี้ความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการออกแบบช่องเก็บค่าผ่านทางพบว่า รูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 1ตู้ เหมาะสม

สำหรับกรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC น้อยกว่า 30% และรูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC 2 ตู้ เหมาะสมสำหรับกรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มากกว่า 30%

ประสิทธิภาพที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 2,000 คัน/ชม.ซึ่งเป็นสภาพจราจรที่ปริมาณจราจรจริงที่เริ่มมีความล่าช้าในการเดินทางเนื่องจากเกิดการติดขัดจากจากแถวคอยในการเข้าใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 1 ตู้ จะให้บริการได้ดีเมื่อสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC น้อยกว่า 60 % และเมื่อมีสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มากกว่า 60 % จะทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางมากขึ้นจากการติดขัดของแถวคอยในช่อง ETC ในส่วนของรูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ จะให้บริการได้ดีเมื่อสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มากกว่า 40 %

ประสิทธิภาพที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ที่ปริมาณจราจร 3,000 คันต่อชั่วโมงซึ่งเป็นสภาพจราจรที่ปริมาณจราจรมีการติดขัดจากจากแถวคอยในการเข้าใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 1 ตู้ จะให้บริการได้ดีเมื่อสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC น้อยกว่า 40 % ในส่วนของรูปแบบการจัดตู้เก็บค่าผ่านทางแบบ ETC จำนวน 2 ตู้ จะให้บริการได้ดีเมื่อสัดส่วนผู้ใช้ระบบ ETC มากกว่า 40 %

สรุปการเพิ่มจำนวนช่องเก็บเงินแบบอัตโนมัติ นั้นต้องพิจารณาถึงปริมาณรถที่เข้าสู่ด่านเก็บค่าผ่านทางต่อชั่วโมง และสัดส่วนของผู้ใช้ ETC ทั้ง 2 ปัจจัยจะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง ทั้งนี้การเพิ่มช่องเก็บเงินอัตโนมัติ จำนวน 1 ช่อง จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของด่านเก็บค่าผ่านทางโดยทำให้มีการลดลงของความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางภายใต้ปริมาณรถที่ใช้ระบบ ETC ไม่เกิน 1,200 คันต่อชั่วโมง และความเหมาะสมของการเพิ่มช่องเก็บเงินอัตโนมัติจำนวน 2 ช่อง จะทำให้การทำงานโดยรวมของด่านเก็บค่าผ่านทางมีประสิทธิภาพสูงสุดในการรองรับปริมาณจราจรของรถที่ใช้ ระบบ ETC อยู่ 1,200 ถึง 1,800 คันต่อชั่วโมง โดยหากมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรที่เข้าสู่ด่านเก็บค่าผ่านทาง และปริมาณผู้ใช้ระบบ ETC มากขึ้น จะต้องพิจารณาปรับเพิ่มจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติให้มากขึ้น

5.3.2 การกำหนดตำแหน่งของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ

ในการศึกษาการกำหนดตำแหน่งของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ ว่ามีผลกระทบต่อความล่าช้าเฉลี่ยจากการเดินทางผ่านด่านเก็บเงิน พบว่า หากมีการเพิ่มจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติเพียง 1 ช่อง เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งของช่อง ETC อยู่ด้านขวา จะทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยต่ำกว่าการวาง

ไว้ในตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากสามารถแยกช่องเดินรถระหว่างรถบรรทุก และรถส่วนตัวได้ดีกว่าทำให้เกิดการติดขัดในการเข้าช่องเก็บเงินน้อยลง แต่เมื่อปริมาณรถที่เข้าสู่ด่านเก็บค่าผ่านทางเพิ่มขึ้นและมีสัดส่วนรถที่ใช้ ETC สูงขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มช่อง ETC เป็น 2 ช่องนั้น การกำหนดให้ช่อง ETC อยู่ช่องขวาสุด 1 ช่องและช่องตรงกลาง 1 ช่อง (ช่องที่ 3 และ 6) จะทำให้มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางผ่านด่านเก็บเงินมีค่าน้อยกว่าการกำหนดตำแหน่งรูปแบบอื่น

สรุปได้ว่า การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติส่งผลต่อค่าความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทาง ภายใต้สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรแตกต่างกัน โดยหากมีช่องเก็บค่าผ่านทางระบบ ETC 1 ช่องพบว่าการวางตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางขวาสุดจะทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยต่ำกว่าการวางไว้ในตำแหน่งอื่นๆ และหากเพิ่มช่อง ETC เป็น 2 ช่องนั้น การกำหนดให้ช่อง ETC อยู่ช่องขวาสุด 1 ช่องและช่องตรงกลาง 1 ช่อง (ช่องที่ 3 และ 6) จะทำให้มีความล่าช้าเฉลี่ยในการเดินทางผ่านด่านเก็บเงินมีค่าน้อยกว่าการกำหนดตำแหน่งรูปแบบอื่น ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ช่องเก็บค่าผ่านทางควรสามารถใช้งานสับเปลี่ยนระบบการทำงานได้ทั้งระบบ Manual และระบบ ETC

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

มานพ วราภักดิ์ (2550), การจำลอง, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

อนุชา หิรัญวัฒน์, กระบวนการแบบจำลองปัญหา, (บทความอิเลคทรอนิคส์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่มา: http://www.thaimht.net/knowledge_detail.php?id=14

AIMSUN's Microsimulator User's Manual Version 5.1. (2006). Barcelona: Transport Simulation Systems.

Al-Deek, H. M. (2001). Analyzing performance of ETC plazas using new computer software. *Journal of computing in civil engineering, 15*(4), 309-319.

Chao, X. (2000). Design and evaluation of toll plaza systems. *Department of Industrial and Manufacturing Engineering New Jersey Institute of Technology*.

Gardes, Y., May, A. D., Dahlgren, J., & Skabardonis, A. (2002). Freeway calibration and application of the Paramics model. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

Gerlough, D. L., & Huber, M. J. (1976). Traffic flow theory-A Monograph. Special Report 165, Transportation Research Board.

Gross, D., & Harris, C. M. (1998). *Fundamentals of queuing theory*: Wiley New York.

Ito, T. (2005). Process simulation approach to design and evaluation of toll plaza with etc gates. *International Journal of Simulation, 6*(5), 14-21.

ITS, University of Leeds (GB). (2000). "SMARTEST: Final Report for Publication", Available on http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/finrep.PDF

Junsuwan, S. (2001). Assessment of Area Traffic Control System in Bangkok by the Microscopic Simulation Model. Thesis for the Degree of Master, Faculty of Engineering(Chulalongkorn University).

Poon, N., & Dia, H. (2005). *Evaluation of toll collection performance using traffic simulation.* Paper presented at the conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR), 27th, Brisbane, Queensland, AUSTRALIA.

Prabnasak, J., Yue, W. L., & Australia, S. (2001). Using aaSIDRA and PARAMICS in Evaluation of a Traffic Signal Coordination Development in Khon Kaen City, Thailand.

Quadstone, L. (2003). PARAMICS V4.2 Modelling for Traffic Problems V4. Edinburgh.

Schaufler, A. E. (1997). *Toll plaza design,* National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice, 240, Transportation Research Board. Washington, D.C.

Van Dijk, N. M., Hermans, M. D., Teunisse, M. J., & Schuurman, H. (1999). *Designing the westerscheldetunnel toll plaza using a combination of queueing and simulation.* Paper presented at the Simulation Conference Proceedings, 1999 Winter.

ประวัติผู้วิจัย

นางกาญจน์กรอง สุอังคะ เกิดวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ.2520 ได้รับทุนพัฒนาอาจารย์วิทยาเขตสารสนเทศ จากทบวงมหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2545 เพื่อศึกษาระดับปริญญาโท-เอก ภายหลังจากการสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2547 ได้มีโอกาสเข้าร่วมทำงานกับบริษัทเอก-ชัยดิสทริบิวชั่น จำกัด ในตำแหน่งนักวิเคราะห์การขนส่ง (Transport Analyst) เป็นระยะเวลา 1 ปี และได้รับการบรรจุเข้าเป็นพนักงานของรัฐ ในตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาในวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2549 มีความถนัดในงานเกี่ยวกับการบริหารจัดการระบบขนส่งสินค้า และมีความสนใจที่จะศึกษาในงานเกี่ยวข้องกับการวางแผน บริหารระบบขนส่งสาธารณะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี