ผลกระทบของการกลับรถในช่องจราจรเลี้ยวขวาเฉพาะ บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร โดยพิจารณาขนาดที่แตกต่างกันของรถยนต์ส่วนบุคคล

นายยศวัฒน์ เศรษฐกุลสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

EFFECT OF PERFORMING U-TURNS IN EXCLUSIVE RIGHT-TURN LANE AT SIGNALIZED INTERSECTION BASED ON PASSENGER CAR SIZE

Yhotsawat Settakulsit

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Engineering in Transportation Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

ผลกระทบของการกลับรถในช่องจราจรเลี้ยวขวาเฉพาะ บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร โดยพิจารณาขนาดที่แตกต่างกันของรถยนต์ส่วนบุคคล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.สุธาทิพย์ ภู่บุบผาพันธ์)
กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ยศวัฒน์ เศรษฐกุลสิทธิ์ : ผลกระทบของการกลับรถในช่องจราจรเลี้ยวขวาเฉพาะบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร โดยพิจารณาขนาดที่แตกต่างกันของรถยนต์ส่วนบุคคล (EFFECT OF PERFORMING U-TURNS IN EXCLUSIVE RIGHT-TURN LANE AT SIGNALIZED INTERSECTION BASED ON PASSENGER CAR SIZE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์, 100 หน้า

การศึกษานี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการกลับรถในช่องจราจรเลี้ยวขวาเฉพาะ บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร โดยพิจารณาขนาดที่แตกต่างกันของรถยนต์ส่วนบุคคลทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ รถเก๋ง รถกระบะ รถยนต์นั่งขนาดเล็ก จุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของรถยนต์ส่วนบุคคลซึ่งอาจส่งผลต่อพฤติกรรมการกลับรถและต่อค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวา เพื่อศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งในแถวคอย ที่มีต่อค่าเวลาห่างเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยก และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนยวดยานที่กลับรถที่มีต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยก โดยการศึกษานี้จะใช้วิธีการเทียบสัดส่วนระยะเวลาห่าง (Headway ratio method) ในการหาค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวา ซึ่งจะพิจารณาว่าค่าเวลาห่าง (Headway) ของกลุ่มรถที่สนใจคิดเป็นกี่เท่าของเวลาห่างของกลุ่มรถที่ใช้เป็นกลุ่มอ้างอิง ผลการศึกษาพบว่า เมื่อสัดส่วนการกลับรถที่ทางแยกเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถจากการออกตัวที่ทางแยกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าเมื่อได้ไฟเขียวตำแหน่งต่างๆในแถวคอยไม่ส่งผลใดๆต่อค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถจากการออกตัว แต่จะมีความแตกต่างในช่วงต้นแถวคอยเท่านั้น เนื่องมาจากเวลาสูญเสียจากการออกตัว รวมถึงผลกระทบจากกลุ่มจักรยานยนต์และการรับรู้ของผู้ขับขี่เอง และเมื่อนำค่าเวลาห่างมาหาค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาของรถเก๋ง รถกระบะ และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก จะได้ค่าเท่ากับ 1.26, 1.35, และ 1.29 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ลายมือชื่อนักศึกษา________

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา________

YHOTSAWAT SETTAKULSIT : EFFECT OF PERFORMING U-TURNS IN EXCLUSIVE RIGHT-TURN LANE AT SIGNALIZED INTERSECTION BASED ON PASSENGER CAR SIZE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. RATTAPHOL PUEBOOBPAPHAN, Ph.D., 100 PP.

EQUIVALENT FOR RIGHT TURNING/STARTUP LOSS TIME

This study examined the effects of passenger car size on performing U-turns in exclusive right-turn lanes at signalized intersections by considering three types of passenger cars: sedans, pickups, and eco-cars. The objectives of this study are threefold: to study the effect of passenger car size on U-turning behavior and the factor for converting the number of U-turn vehicles to the equivalent number of right-turn vehicles (ERT), to examine the effect of position in the queue on the average discharge headway, and to study the relationship between the proportion of U-turning passenger vehicles and the average discharge headway. The headway ratio method was used to determine ERT by considering headway from the subject vehicle group as a reference, and compared with other groups of passenger car sizes. It was found that there is a significant increase of average discharge headway with the increase of the proportion of U-turns. In addition, there is no effect from the position in queue on average discharge headway, but there is an effect from the start-up lost time for the first few vehicles in queue which affected the average discharge headway. Consequently, the ERT values for sedans, pickups, and eco-cars were found to be 1.26, 1.35 and 1.30, respectively.

School of Transportation Engineering — Student's Signature ____________

Academic Year 2016 — Advisor's Signature ____________

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การอบรม สั่งสอน ชี้แนะช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจแก้ไข วิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

นายภูมิวิชญ์ ดวงประทุม นักศึกษาปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยตลอด 5 วัน

คุณวันเพ็ญ สืบสาย เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานด้านเอกสารต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยานิพนธ์เทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษา (ทุนงานวิจัยจากภายนอก) ในการศึกษาระดับปริญญาโท

กองทุนสนับสนุนการวิจัยฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดูด้วยความรัก และส่งเสริมทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

ยศวัฒน์ เศรษฐกุลสิทธิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ข
กิตติกรรมประกาศ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ช
สารบัญรูป ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ฌ
บทที่
1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย 4
2.1.1 การจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ 4
2.1.2 การขัดแย้งที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของรถบริเวณทางแยกต่างๆ 4
2.1.3 ช่วงเวลาห่างระหว่างยวดยาน 5
2.1.4 ปริมาณการไหลอิ่มตัว (Saturation flow rate) 5
2.1.5 เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Startup loss time) 6
2.1.6 ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟจราจร 6
2.1.7 การออกแบบสัญญาณไฟจราจร 7
2.1.8 เวลาไฟเขียวประสิทธิผล 7
2.1.9 ระบบสัญญาณไฟประเภทต่างๆที่ติดตั้งบริเวณทางแยก 9
2.2 การทดสอบสมมติฐาน 10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม 10
2.3.1 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน 11
2.3.2 การทดสอบความแตกต่างความแปรปรวน (F test) 12
2.4 การวิเคราะห์การถดถอย 12
2.4.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย 13
2.5 การคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล 13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14
3. วิธีดำเนินการวิจัย 31
3.1 กรอบแนวทางการศึกษา 31
3.1.1 ศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งแถวที่มีต่อเวลาห่างเฉลี่ย 31
3.1.2 ศึกษาความสัมพันธ์สัดส่วนกลับรถและเวลาห่างเฉลี่ย 33
3.1.3 ศึกษาเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถและเวลาห่างอิ่มตัวเลี้ยวขวา 33
3.1.4 การคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา 35
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 36
3.3 การวางแผนรวบรวมข้อมูล 37
3.4 ขอบเขตของพื้นที่การศึกษา 38
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล 39
3.6 เครื่องที่ใช้ในการวิจัย 40
4. การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล 41
4.1 วิเคราะห์ตำแหน่งแถวคอยที่ส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว 41
4.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนกลับรถกับค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถ 52
4.3 วิเคราะห์เวลาห่างรถในช่วงอิ่มตัว 55
4.4 การคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา 67
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ 70

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1 สรุปผลการวิจัย....70
5.1.1 ตำแหน่งในแถวคอยที่จะส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว....70
5.1.2 ความสัมพันธ์สัดส่วนกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว....70
5.1.3 วิเคราะห์เวลาห่างรถอิ่มตัวจากการออกตัวที่ทางแยก....71
5.1.4 การคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา....72
5.2 ข้อเสนอแนะ....73
รายการอ้างอิง....75
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งในแถวคอยและเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว....77
ภาคผนวก ข. ตารางผลการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล....85
ประวัติผู้เขียน....100

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ผลทดสอบ (T test) ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถกระบะทุกตำแหน่ง 42
4.2 ผลทดสอบ (T test) เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาของรถกระบะทุกตำแหน่ง 43
4.3 ผลทดสอบ (T test) ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถกระบะกลับรถทุกตำแหน่ง 44
4.4 ผลทดสอบ (T test) ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถเก๋งทุกตำแหน่ง 45
4.5 ผลทดสอบ (T test) ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาของรถเก๋งทุกตำแหน่ง 47
4.6 ผลทดสอบ (T test) ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถเก๋งกลับรถทุกตำแหน่ง 48
4.7 ผลทดสอบ (T test) ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวารถนั่งขนาดเล็กทุกตำแหน่ง 49
4.8 ผลทดสอบ (T test) ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาทุกตำแหน่ง 50
4.9 ผลทดสอบ (T test) ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถยนต์นั่งขนาดเล็กกลับรถทุกตำแหน่ง 51
4.10 ผล T test เวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาไม่แยกประเภท (Mixed flow of right turn) 59
4.11 ผลการทดสอบ T test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวรถกระบะ (Pick up) เลี้ยวขวา 61
4.12 ผลการทดสอบ T test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของรถเก๋ง (Sedan) เลี้ยวขวา 63
4.13 ผล T test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของรถยนต์นั่งขนาดเล็กเลี้ยวขวา (Eco car) 65
4.14 แสดงค่าเวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวา 66
4.15 แสดงค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ 4 กลุ่ม (Average U turn headway) 67
4.16 แสดงค่าเทียบเท่าที่ได้จากการเทียบกับเวลาห่างรถอิ่มตัวแบบไม่แยกประเภท 68
4.17 แสดงค่าเทียบเท่าที่ได้จากการเทียบกับเวลาห่างรถอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา 68
5.1 ผลเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาทั้ง 4 กลุ่ม 71
5.2 ผลเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถทั้ง 4 กลุ่ม 72
5.3 ผลจากการเทียบเวลาอิ่มตัวแบบไม่อยกประเภท (Mixed flow right only) 73
5.4 ผลจากการเทียบเวลาอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Sedan right only) 73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 จุดขัดแย้งบนทางแยก	4
2.2 หลักการของอัตราไหลอิ่มตัวและเวลาที่สูญเสีย	6
2.3 ความแปรเปลี่ยนของปริมาณจราจรที่ผ่านเส้นหยุด	8
3.1 คู่อันดับตำแหน่งยวดยานในแถวคอยที่ใช้ในการทดสอบ t test	32
3.2 ลักษณะทางแยกที่ใช้ในการศึกษา	36
3.3 ช่องเลี้ยวขวาเฉพาะ (Exclusive right turn lane)	37
3.4 ภาพมุมสูงของทางแยกที่ทำการศึกษา	39
3.5 สภาพจราจรบริเวณทางแยกที่ทำการศึกษา	39
3.6 มุมกล้องขณะทำการบันทึกข้อมูล	41
4.1 การกระจายตัวแบบปกติของสัดส่วนกลับรถทุกประเภท	42
4.2 การกระจายตัวแบบปกติของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว	53
4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย	53
4.4 การกระจายแบบปกติของ Regression Standardized residual	54
4.5 Normal P-P plot ของ Regression Standardized residual	54
4.6 ความสัมพันธ์สัดส่วนกลับรถและเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว	54
4.7 กราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท	57
4.8 กราฟค่าเวลาห่างรถเลี้ยวขวาไม่แยกประเภทแบบจุด	58
4.9 กราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของกระบะเลี้ยวขวา	60
4.10 กราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของกระบะเลี้ยวขวาแบบจุด	60
4.11 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาที่ทางแยกของรถเก๋ง	62
4.12 กราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาที่ทางแยกของรถเก๋งแบบจุด	62
4.13 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของรถยนต์นั่งขนาดเล็ก	64
4.14 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของรถยนต์นั่งขนาดเล็กแบบจุด	64

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

S	=	ปริมาณการไหลอิ่มตัว (คันต่อชั่วโมง)
h_s	=	ค่าเฉลี่ยระยะเวลาห่างระหว่างรถในช่วงการไหลอิ่มตัว (วินาที)
l_i	=	เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Startup loss time)
r	=	รัศมีของการเลี้ยว (ฟุต)
Co	=	ความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม (วินาที)
L	=	ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไปสำหรับเฟสทั้งหมดในช่วงระยะเวลารวมของสัญญาณไฟเขียว
V/s	=	อัตราส่วนของอัตราการไหลออกแบบที่อัตราการไหลอิ่มตัวสำหรับวิธีการหรือช่องทางที่สำคัญในแต่ละเฟส
Gai	=	เวลาไฟเขียวสำหรับเฟส i (วินาที)
£I	=	เวลาไฟเหลืองของเฟส i (วินาที)
Gei	=	เวลาไฟเขียวประสิทธิผลของเฟส i (วินาที)
H_0	=	สมมติฐานว่าง
H_1	=	สมมติฐานแย้ง
ERT	=	ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา
$H_{u, type\ i}$	=	เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของประเภท i (วินาที)
$H_{sat.\ right\ only}$	=	เวลาห่างรถอิ่มตัวของยวดยานที่เลี้ยวขวา (วินาที)
$h_{sat.}$	=	ค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวา (วินาที)
$\sum H_i$	=	ผลรวมค่าเวลาห่างรถในช่วงอิ่มตัวประเภท i (วินาที)
N	=	จำนวนยวดยานในแถวคอยจากตำแหน่งเริ่มอิ่มตัวประเภท i (คัน)
$h_{avg.\ u}$	=	เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของยวดยาน (วินาที)
$\sum H_{u,i}$	=	ผลรวมเวลาห่างรถที่กลับรถของกลุ่มยวดยานประเภท i (วินาที
$H_{Mixed\ flow\ right\ only}$	=	เวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาไม่แยกประเภท (วินาที)
$H_{Sedan\ right\ only}$	=	เวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวารถยนต์ส่วนบุคคล (วินาที)
$U_{all\ types}$	=	สัดส่วนยวดยานที่กลับรถทุกประเภท
Avg. dis. headway	=	ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว (วินาที)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การจัดการจราจรบริเวณทางแยกมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นจุดเสี่ยงอันตรายและมักเกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง โดยระบบสัญญาณไฟจราจรเป็นทางเลือกที่เหมาะสมหากปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยกมีปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรจะขึ้นอยู่กับการออกแบบทางวิศวกรรม องค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญคือการจัดความยาวรอบสัญญาณไฟและระยะเวลาไฟเขียวให้เหมาะสมกับปริมาณจราจรในแต่ละทิศทาง อย่างไรก็ตาม ปริมาณจราจรที่วิ่งเข้าสู่ทางแยกในแต่ละทิศทางจะประกอบไปด้วยยวดยานหลากหลายประเภทที่มีขนาดแตกต่างกัน นอกจากนั้นพฤติกรรมการเลี้ยวหรือกลับรถยังแตกต่างจากการวิ่งตรงผ่านทางแยก ส่งผลให้ใช้เวลาในการเคลื่อนตัวผ่านทางแยกในช่วงเวลาไฟเขียวต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวด้วย

ในกรณีของช่องจราจรสำหรับรอเลี้ยวขวา (Exclusive right turn lane) เพื่อผ่านทางแยกนั้น บางทางแยกจะอนุญาตให้ยวดยานสามารถกลับรถได้ด้วย ซึ่งบนช่องจราจรรอเลี้ยวขวาดังกล่าวจะประกอบไปด้วยยวดยาน 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เลี้ยวขวาและกลุ่มที่กลับรถ ซึ่งกลุ่มยวดยานที่กลับรถมักใช้เวลาเคลื่อนตัวผ่านทางแยกมากกว่ากลุ่มยวดยานที่เลี้ยวขวา ดังนั้นในการออกแบบสัญญาณไฟจึงควรที่จะต้องแปลงค่าปริมาณยวดยานที่กลับรถให้เป็นปริมาณเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเลี้ยวขวา ซึ่งค่าที่ใช้แปลงอาจจะแตกต่างกันสำหรับยวดยานแต่ละประเภท เนื่องจากยวดยานแต่ละประเภทมีช่วงความยาวหรือขนาดที่ต่างกัน ส่งผลให้รัศมีวงเลี้ยวขณะกลับรถต่างกันไปด้วย จึงทำให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไปตามขนาดของยวดยาน ปัจจุบันได้มีการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับยวดยานที่วิ่งตรงเท่านั้น (Passenger Car Equivalent: PCE) ที่ทางแยกสัญญาณไฟและบนช่วงถนน ซึ่งค่าเทียบเท่านี้สามารถหาได้จากความล่าช้า (Rahman, 2003) นอกจากนั้นยังสามารถหาได้จากการเทียบสัดส่วนเวลาห่างรถ (Headway ratio method) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (Sarraj, 2014) ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยอื่นๆ เช่น ตำแหน่งแถวคอย ลักษณะทางกายภาพถนน พฤติกรรมการขับขี่ เป็นต้น ดังนั้นควรมีการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้ที่มีต่อค่าเทียบเท่าด้วยเช่นกัน เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เหล่านี้อาจแตกต่างกันไปตามบริบทแต่ละพื้นที่หรือภูมิประเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวา (Equivalent of Right Turn: ERT) ของรถยนต์ส่วนบุคคล 3 ประเภท ได้แก่ รถกระบะ รถเก๋ง รถยนต์นั่งขนาดเล็ก ซึ่งความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการกลับรถอาจเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของยวดยานที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวานี้จะใช้วิธีการเทียบสัดส่วนเวลาห่างรถ (Headway ratio method) ระหว่างค่าเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถ (Average U-turn headway) ที่ทางแยกกับเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Saturation headway of Right turn) มาใช้เป็นข้อมูลหลัก รวมถึงศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลให้ค่าเวลาห่างรถเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละตำแหน่งขณะเคลื่อนตัวผ่านทางแยก รวมทั้งสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนกลับรถและเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวเพื่อตรวจสอบผลกระทบจากสัดส่วนยวดยานที่กลับรถที่มีต่อเวลาห่างรถที่ทางแยก จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนออกแบบสัญญาณไฟบนช่องจราจรรอเลี้ยวขวาเฉพาะ (Exclusive right turn lane) กรณีที่มียวดยานกลับรถร่วมกับยวดยานที่เลี้ยวขวาในกระแสจราจรเดียวกัน รวมถึงสามารถนำไปใช้ศึกษาค่าเทียบเท่าปริมาณยวดยานที่วิ่งตรงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1.2.1. เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของรถยนต์ส่วนบุคคลซึ่งอาจส่งผลต่อพฤติกรรมการกลับรถและต่อค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวา

1.2.2. เพื่อศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งในแถวคอย ที่มีต่อค่าเวลาห่างเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยก

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนยวดยานที่กลับรถที่มีต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1.3.1 ทางแยกที่ทำการศึกษาอยู่ในเขตเมืองนครราชสีมาและความกว้างช่องจราจร 2.6 ถึง 3.5 เมตร (ความลาดชัด 0%)

1.3.2 ประเภทยวดยานที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ รถกระบะ (Pick up) รถเก๋ง (Sedan) และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car)

1.3.3 สัญญาณไฟจราจรมีการจัดเฟสแบบเลี้ยวขวาเฉพาะ (Protected traffic signal)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.4 เป็นทางแยกที่มีช่องจราจรรอเลี้ยว (Exclusive Right Turn Lane)

1.3.5 พิจารณายวดยานที่ออกตัวจากแถวคอยจากการหยุดนิ่งในกระแสจราจร

1.3.6 ไม่พิจารณายวดยานขนาดใหญ่ในกระแสจราจร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Equivalent of Right Turn: ERT) ที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการออกแบบสัญญาณไฟแบบเฟสเลี้ยวขวาเฉพาะได้ (Protected traffic signal)

1.4.2 ทราบถึงผลกระทบจากปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถที่ทางแยก (Headway)

1.4.3 เป็นแนวทางในการศึกษากับทางแยกอื่นต่อไปในกรณีที่มีช่องจราจรรอเลี้ยวและมีการติดตั้งระบบสัญญาณไฟแบบเฟสเลี้ยวขวาเฉพาะ

1.4.4.สามารถนำไปใช้สร้างแบบจำลองออกแบบสัญญาณไฟในโปรแกรมต่างๆ ในด้านวิศวกรรมจราจรได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

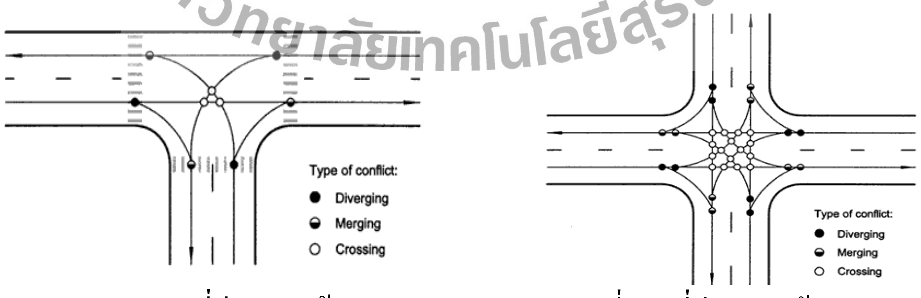
2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

2.1.1 การจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ

การเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคันจะมีผลกระทบต่อกันบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟ คนขับไม่สามารถขับรถได้ตามอิสระ โดยจะต้องคอยสังเกตการเคลื่อนตัวของยวดยานคันหน้าในกระแสจราจร ยวดยานคันแรกของแถวคอยจะต้องหยุดหลังเส้นหยุด (stop line) เมื่อได้สัญญาณไฟแดงและจะเคลื่อนออกจากทางแยกเมื่อได้สัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกสัญญาณไฟแต่ละที่จะมีความแตกต่างกัน เช่น ความกว้างของช่องจราจร จำนวนช่องจราจร ลักษณะสัญญาณไฟแบบแสดงเวลาและไม่แสดงเวลา เป็นต้น ความแตกต่างเหล่านี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรแต่ละพื้นที่

2.1.2 การขัดแย้งที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของยวดยานบริเวณทางแยกต่างๆ

การเคลื่อนตัวของยวดยานผ่านบริเวณทางแยก จะเกิดจุดขัดแย้งเกิดขึ้นบริเวณทางแยก (Conflict) จำนวนจุดขัดแย้งที่บริเวณทางแยกมีจำนวนแตกต่างกัน เช่น สามแยกจะมีจุดขัดแย้งทั้งหมด 9 จุด สี่แยกจะมีจุดขัดแย้ง 32 จุด เป็นต้น ดังที่แสดงในรูป 2.1



(ก) สามแยกที่มีจุดขัดแย้ง 9 จุด (ข) สี่แยกที่มีจุดขัดแย้ง 32 จุด

รูปที่ 2.1 จุดขัดแย้งบนทางแยก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากรูปที่ 2.1 จุดขัดแย้งบนทางแยกจะประกอบด้วย 3 ประเภท ได้แก่ Diverging Merging และ Crossing ซึ่ง Diverging คือ จุดแยกทิศทางในการเคลื่อนที่ระหว่างยวดยานที่วิ่งมาจากทิศทางเดียวกัน, Merging คือ จุดขัดแย้งกรณีที่ยวดยานต่างทิศทางวิ่งเข้ามาร่วมเพื่อไปในทิศทางเดียวกัน และ Crossing คือ จุดขัดแย้งกรณีที่ยวดยานสองทิศทางวิ่งตัดกันในทิศทางที่ตั้งฉากกัน

2.1.3 ช่วงเวลาห่างระหว่างยวดยาน (Headway)

ช่วงเวลาห่างยวดยาน คือ ช่วงเวลาที่วัดจากกันชนหน้าของยวดยานคันหน้าไปจนถึงกันชนหน้าของยวดยานคันที่วิ่งตามหรือบนตำแหน่งอ้างอิงเดียวกัน โดยจะต้องวิ่งผ่านจุดอ้างอิงบนถนนที่ทำการวัด มีหน่วยเป็น วินาที เป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้บอกลักษณะของกระแสจราจรและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการจราจร เช่น ถนนเส้นหนึ่งมีช่วงเวลาห่างระหว่างยวดยานมากจะสามารถบอกได้ว่าถนนเส้นนั้นมีปริมาณจราจรน้อย นอกจากนั้นตัวแปรนี้ยังส่งผลต่อความอิสระในการเลี้ยวรวมไปถึงความสามารถในการเปลี่ยนช่องจราจร ตามทฤษฎีแล้วช่วงเวลาห่างระหว่างยวดยานบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจะมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งรถคันแรกของแถวคอยเมื่อได้สัญญาณไฟเขียว จากนั้นค่าจะลดลงจนถึงยวดยานคันที่ 5 และจะมีค่าคงที่หรือเรียกค่านี้ว่าช่วงเวลาห่างระหว่างยวดยานอิ่มตัว (Saturation headway) เป็นช่วงที่มีการไหลของกระแสจราจรที่คงที่ เนื่องจากรถคันหลังๆ มีเวลาเตรียมตัวเร่งเครื่อง

2.1.4 ปริมาณการไหลอิ่มตัว (Saturation flow rate)

ปริมาณการไหลอิ่มตัว หมายถึง ปริมาณการจราจรสูงสุดที่ผ่านเส้นหยุดบริเวณทางแยกไปได้ในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่มีประสิทธิผลมีหน่วยนับเป็น คันต่อชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.1 ดังต่อไปนี้

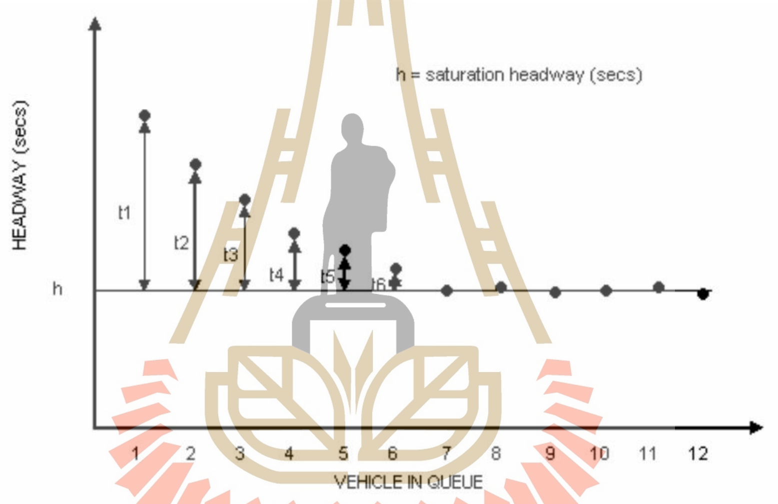
$$S = \frac{3,600}{h_s} \qquad (2.1)$$

เมื่อ S คือ ปริมาณการไหลอิ่มตัว (คันต่อชั่วโมง)

h_s คือ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาห่างระหว่างรถในช่วงการไหลอิ่มตัว (วินาที)

2.1.5 เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน

เวลาทั้งหมดที่สูญเสียจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียว (l_i) คือ ผลรวมของจำนวนยานพาหนะ (n) ที่มีระยะเวลาห่างระหว่างยวดยานมากกว่า Saturation headway (h) ตามที่แสดงดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นเวลาสูญเสียออกตัวสามารถหาได้ดังสมการที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการของอัตราไหลอิ่มตัวและเวลาที่สูญเสีย

ที่มา : (Bester and Meyers, 2007)

จากรูปที่ 2.2 สามารถหาเวลาทั้งหมดที่สูญเสียจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียวได้จากสมการที่ 2.2 ดังต่อไปนี้

$$L1 = t1 + t2 + t3 + t4 \qquad (2.2)$$

เมื่อ L1 คือ เวลาสูญเสียรวมจากการออกตัว (วินาที)

t1 คือ เวลาห่างยวดยานตำแหน่งที่ 1 ในแถวคอย (วินาที)

t2 คือ เวลาห่างยวดยานตำแหน่งที่ 2 ในแถวคอย (วินาที)

t3 คือ เวลาห่างยวดยานตำแหน่งที่ 3 ในแถวคอย (วินาที)

t4 คือ เวลาห่างยวดยานตำแหน่งที่ 4 ในแถวคอย (วินาที)

2.1.6 ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟจราจร

รอบเวลาสัญญาณไฟ (Cycle length) หมายถึง ระยะเวลาของสัญญาณไฟ (ไฟเขียว ไฟแดง ไฟเหลือง) ใน 1 รอบ คือ เวลาที่เริ่มนับจากสัญญาณไฟแดง ไฟเขียว ไฟเหลือง และกลับมาที่ไฟแดงอีกครั้งหนึ่งใช้เวลาใน 1 รอบ รวมกันในหน่วยวินาที

จังหวะสัญญาณไฟ (Signal phasing) หมายถึง ช่วงเวลาที่จัดไว้เป็นจังหวะๆ ในหนึ่งรอบเวลาสัญญาณไฟ เพื่อให้การจราจรทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือหลายทิศทางที่ได้รับสิทธิเคลื่อนที่ผ่านทางแยกในระหว่างหนึ่งหรือหลายช่วงเวลาการจัดระบบสัญญาณไฟจราจร โดยวิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดตามความเหมาะสมของสภาพการจราจรบริเวณแยกนั้นๆ เช่น บริเวณสี่แยกที่มีรถเลี้ยวขวาน้อยอาจจะจัดเป็นสองเฟส แต่ถ้าบริเวณสี่แยกมีปริมาณรถเลี้ยวขวามากอาจจะออกแบบเป็นสามเฟสหรือสี่เฟสก็ได้ซึ่งขึ้นกับสภาพจราจรแต่ละทางแยก

2.1.7 การออกแบบสัญญาณไฟจราจร

การออกแบบสัญญาณไฟจราจรมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ความจุของทางแยกให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยสัญญาณไฟจราจรจะเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกให้ปริมาณจราจรสามารถผ่านทางแยกไปได้มากที่สุดโดยปลอดภัย การออกแบบช่วงเวลาของสัญญาณไฟนั้นจะคำนึงถึงปริมาณความต้องการใช้ทางแยกเทียบกับความจุของช่องจราจรเป็นหลัก ในกรณีที่สภาพการไหลไม่เกินสภาวะอิ่มตัว สูตรคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟจะขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรและความจุสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 ดังต่อไปนี้

$$Co = 1.5L + 5/1-\Sigma(V/s) \qquad (2.3)$$

เมื่อ Co คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม (วินาที)

L คือ ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไปสำหรับเฟสทั้งหมดในช่วงระยะเวลารวมของสัญญาณไฟเขียว (วินาที)

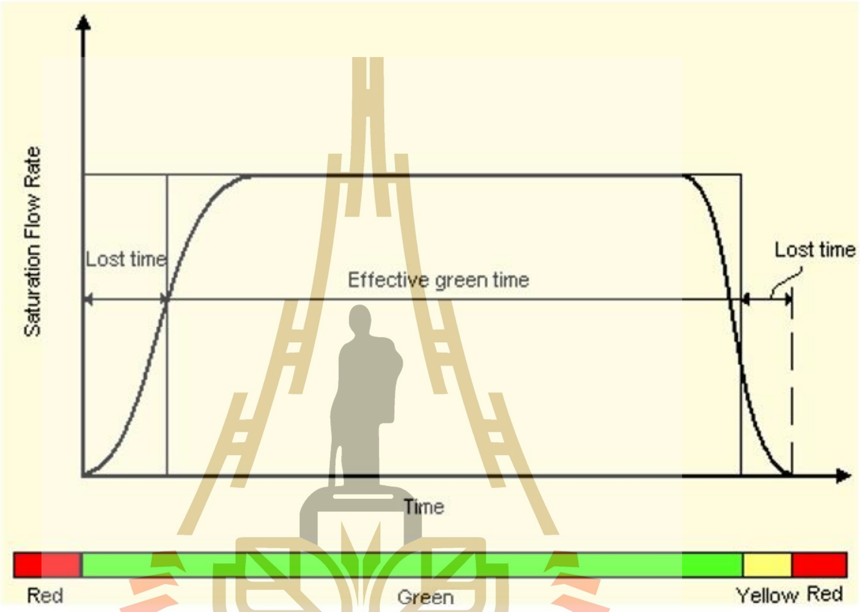
V/s คือ อัตราส่วนของอัตราการไหลออกที่อัตราการไหลอิ่มตัว สำหรับวิธีการหรือช่องทางที่สำคัญในแต่ละเฟส

2.1.8 เวลาไฟเขียวประสิทธิผล (Determination of the Effective Green Time)

เมื่อเริ่มสัญญาณไฟเขียวการจราจรจะเริ่มเคลื่อนตัวผ่านทางแยกโดยมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงอัตราการไหลสูงสุดที่การจราจรสามารถผ่านทางแยกไปได้ จนเมื่อเริ่มสัญญาณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ไฟเหลืองอัตราการไหลของจราจรก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนเป็นศูนย์ หรือไม่มีปริมาณการจราจรผ่านทางแยกเลยเมื่อเริ่มสัญญาณไฟแดง ดังแสดงในรูป 2.6 พื้นที่ใต้กราฟ คือ ปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียว การหาพื้นที่นี้ค่อนข้างยุ่งยาก เพื่อความสะดวกจึงใช้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีพื้นที่เท่ากันนี้แทน ความสูงของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้คือ อัตราการไหลอิ่มตัว (Saturation flow rate) และความกว้างก็คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิผล (Effective Green Time)



รูปที่ 2.3 แสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด

ที่มา : (Bester and Meyers, 2007)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวรวมกับช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง จะเท่ากับเวลาไฟเขียวประสิทธิผลรวมกับเวลาที่สูญเสียทั้งหมด (Total lost time) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 ดังต่อไปนี้

$$Li = Gai + £i - Gei \tag{2.4}$$

เมื่อ Li = เวลาที่สูญเสียในเฟส i (วินาที)

Gai = เวลาไฟเขียวสำหรับเฟส i (วินาที)

£i = เวลาไฟเหลืองของเฟส i (วินาที)

Gei = เวลาไฟเขียวประสิทธิผลของเฟส i (วินาที)

ในทางปฏิบัติถือว่า ช่วงเวลาที่สูญเสียไปเนื่องจากความล่าในการออกตัว (และก่อนจบสัญญาณไฟเหลือง) มีค่าประมาณ 2 วินาทีต่อเฟส ดังนั้นเวลาไฟเขียวประสิทธิผลจะเท่ากับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวรวมกับช่วงสัญญาณไฟเหลือง และลบออกด้วยเวลา 2 วินาที

2.1.9 ระบบสัญญาณไฟประเภทต่างๆ ที่ติดตั้งบริเวณทางแยก

- สัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาคงที่ (Pre time Traffic Signal)
  นิยมใช้กับทางแยกที่ปริมาณจราจรค่อนข้างคงที่เป็นระยะเวลานาน โดยใช้ช่วงที่ปริมาณจราจรสูงเป็นเกณฑ์การทำงานของสัญญาณไฟให้ทำงานอย่างอัตโนมัติ มีช่วงระยะเวลาครบรอบของสัญญาณไฟคงเดิมตามระยะเวลาที่ตั้งไว้ตลอดวัน ข้อเสียของระบบสัญญาณไฟระบบนี้คือ ถ้าปริมาณรถน้อยหรือไม่สม่ำเสมอจะทำให้เกิดความล่าช้า

- สัญญาณไฟประเภทกึ่งกระตุ้น (Semi – Traffic Actuate Signal)
  การควบคุมการจราจรจะให้ความสำคัญกับบริเวณทางหลักได้เวลาไฟเขียวตลอดด้วยค่าเวลาคงที่ (Fixed time) ในแต่ละด้านของทางหลัก ต่อจากนั้นเมื่อมียวดยานมาจอดรอบริเวณทางเลี้ยวที่ตัดกันกับทางเอก ระบบควบคุมจะทำการร้องขอสัญญาณไฟเขียวให้กับทางรองเพื่อให้รถวิ่งผ่านไปได้ เมื่อไม่มียวดยานมาจอดบริเวณทางเลี้ยวอีกก็จะตัดกลับไปให้สัญญาณไฟเขียวบริเวณทางหลักอีก

- สัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร (Full – Actuate Signal)
  การดำเนินการของสัญญาณไฟเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร จะคำนวณปริมาณจราจรในทุกๆด้าน ซึ่งมีความสามารถมากกว่าในแบบแรก ระบบมีความสามารถในการคำนวณความต่อเนื่องของสัญญาณไฟ ที่อยู่บนพื้นฐานสัญญาณไฟเขียวต่ำสุดและจะเพิ่มเวลาของสัญญาณไฟเขียว ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการร้องขอจากการเข้ามาของยวดยานโดยใช้การตรวจวัดระยะห่างของการเข้ามาถึงของปริมาณจราจร จนกระทั่งการร้องขอสัญญาณไฟเขียวจะสิ้นสุดลงในทุกกรณีเมื่อสัญญาณไฟเขียวให้ค่าเวลาสูงสุด หลังจากนั้นก็จะไปทำงานในเฟสต่อไป การปรับปรุงแบบนี้จะทำให้ปริมาณถอยคอยมีปริมาณน้อยที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระบบสัญญาณไฟที่กล่าวถึงทั้งหมดนี้เป็นระบบที่ควบคุมสัญญาณไฟแบบฝังตัว (Embedded system) ทั้งนี้ระบบดังกล่าวนี้สามารถทำการควบคุมสัญญาณไฟได้หลากหลาย ง่ายต่อผู้ใช้งานและยืดหยุ่นสูงกว่าประเภทอื่นๆ อีกทั้งมีการทำงานที่รวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูง

2.2 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเป็นวิธีการที่สำคัญของสถิติเชิงอนุมาน สามารถนำไปใช้ในการวิจัยเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับลักษณะต่างๆของประชากรที่เรียกว่าพารามิเตอร์ โดยอาศัยข้อมูลจากตัวอย่างที่เรียกว่าค่าสถิติ สมมติฐานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

2.2.1 สมมติฐานทางการวิจัย (research hypothesis)

สมมติฐานทางการวิจัย คือ สมมติฐานที่เขียนอยู่ในรูปของข้อความ (statement) ที่แสดงถึงความเกี่ยวข้องกันระหว่างตัวแปรที่ศึกษาดังตัวอย่างต่อไปนี้

- นักเรียนระดับประถมศึกษาและนักเรียนระดับมัธยมศึกษามีทัศนะต่อสภาพแวดล้อมของโรงเรียนเดียวกัน แตกต่างกัน
- นักเรียนที่มีทักษะพื้นฐานทางคณิตศาสตร์สูง ย่อมมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนพีชคณิตสูงกว่านักเรียนที่มีทักษะพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ต่ำ

2.2.2 สมมติฐานทางสถิติ (statistic hypothesis)

สมมติฐานทางสถิติ คือ สมมติฐานที่เขียนในรูปโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ และใช้สัญลักษณ์ทางสถิติที่สามารถทดสอบได้ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

- สมมติฐานว่าง (null hypothesis) เป็นสมมติฐานที่แสดงความไม่แตกต่างกันระหว่างตัวแปรที่ศึกษา แทนด้วยสัญลักษณ์ H_0 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

  $H_0 : A = B$
- สมมติฐานทางเลือก (alternative hypothesis) เป็นสมมติฐานที่เขียนขึ้นโดยมีสาระตรงกันข้ามกับสมมติฐานว่าง ว่าแตกต่างกัน หรือสัมพันธ์กัน แทนด้วยสัญลักษณ์ H_1 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$H_0 : A = B$

$H_1 : A \neq B$

2.3 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม

ในการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่มนั้น ข้อมูลที่รวบรวมได้จากกลุ่มตัวอย่าง แต่ละกลุ่มนั้นเป็นข้อมูลในมาตราอันตรภาคหรือมาตราอันตราส่วนโดยนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มมาเปรียบเทียบกัน ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การสรุปว่าค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มนั้นแตกต่างกันหรือไม่

กรณีกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน มี 2 กรณี คือ

- กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ($N > 30$) ทดสอบโดย Z - test
- กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ($N < 30$) ทดสอบโดย t - test

ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการทดสอบความมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระจากกันมีข้อตกลงเบื้องต้นที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมาจากประชากร 2 กลุ่มซึ่งแตกต่างกัน การกระจายเป็นโค้งปกติ (Normal Distribution)
2. กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มต้องเป็นอิสระจากกัน (Independent Sample) การเลือกใช้ Z – test และ t- test ในทางปฏิบัติ t- test ใช้กับกลุ่มตัวอย่างขนาดใดก็ได้ ขอเพียงแต่ให้ประชากรของกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมามีการแจกแจงปกติ หรือเข้าใกล้การแจกแจงปกติ

2.3.1 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

ไม่ว่าจะทดสอบด้วย Z – test หรือ t – test จะมีขั้นตอนในการทดสอบเหมือนกันดังนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐานทางสถิติ

ลักษณะที่ 1

$H_0: \mu 1 = \mu 2$

$H_1: \mu 1 \neq \mu 2$

ลักษณะที่ 2

$H_0: \mu 1 \leq \mu 2$

$H_1: \mu 1 > \mu 2$

ลักษณะที่ 3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

H_0 : $\mu1 \geq \mu2$

H_1 : $\mu1 < \mu2$

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (กำหนด)

ขั้นที่ 3 คำนวณค่าสถิติ Z หรือ t

ขั้นที่ 4 นำค่าสถิติ Z หรือ t ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต (ค่าตาราง Z หรือ t)

ขั้นที่ 5 การตัดสินใจ มี 2 กรณี

1) ถ้าค่าที่คำนวณได้ตกอยู่ในพื้นที่วิกฤตจะปฏิเสธ (reject) H_0 และ ยอมรับ (accept) H_1

2) ถ้าค่าสถิติที่คำนวณได้อยู่ในเขตยอมรับจะยอมรับ H_0

2.3.2 การทดสอบความแตกต่างความแปรปรวน (F test)

สามารถทดสอบได้โดยใช้ F - test for homogeneity of variance การใช้ F - test ทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน จะต้องแน่ใจว่าข้อมูลที่มีเป็นไปตาม 2 เงื่อนไขดังนี้

- สิ่งตัวอย่างที่จะเทียบกันทั้งสองกลุ่ม ถูกสุ่มมาจากประชากรแม่นอย่างถูกต้อง (Randomly)
- ประชากรที่ทำการสุ่มตัวอย่างมานั้นจะต้องมีการกระจายแบบ Normal distribution

ในการทดสอบจะใช้ สถิติทดสอบ F โดยสมการที่ 2.5 ดังต่อไปนี้

$$F = \frac{s^2_1}{s^2_2} \quad (2.5)$$

และ $df_1 = n_1 - 1$, $df_2 = n_2 - 1$

เมื่อ F คือ ค่าการกระจาย F-distribution

s_1^2 = ความแปรปรวนประชากรกลุ่มที่ 1

s_2^2 = ความแปรปรวนประชากรกลุ่มที่ 2

df = ค่าความอิสระ

n = จำนวนชุดข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อคำนวณได้ค่า F แล้ว ให้นำไปเรียบเทียบกับค่าวิกฤต ถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่า หรือเท่ากับค่าวิกฤต แสดงว่าค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มไม่เท่ากัน แต่ถ้าได้น้อยกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มเท่ากัน หลังจากนั้นจึงเลือกใช้สูตร t - test ที่ถูกต้อง

2.4 การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ประเภท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ ซึ่งเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง จำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การถดถอยแบบเส้นตรงแบบง่ายและการถดถอยเส้นตรงแบบพหุคูณหรือแบบเชิงซ้อน
- การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้ง จำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การถดถอยเส้นโค้งแบบง่ายและการถดถอยเส้นโค้งแบบพหุคูณหรือแบบเชิงซ้อน

2.4.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรอิสระ 1 ตัวและตัวแปรตาม 1 ตัวโดยตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกันอาจเป็นความสัมพันธ์ตามกันหรือผกผันก็ได้ รูปแบบการวิเคราะห์นี้ เป็นรูปแบบพื้นฐานที่ง่ายที่สุดของการวิเคราะห์การถดถอยโดยมีตัวแบบการถดถอยดังสมการที่ 2.6

$$Y = a + b X \tag{2.6}$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม

a คือ ค่าคงที่

b คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

ค่าพารามิเตอร์ a และ b เรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) โดยค่า b คือความชันของสมการถดถอยที่บอกให้ทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของการแจก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แจงของตัวแปร Y เมื่อตัวแปรอิสระ X มีค่าเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ในขณะที่ a คือจุดตัดแกน y ของสมการถดถอยหรือเป็นค่าเฉลี่ยของการแจกแจงของตัวแปรตาม Y เมื่อตัวแปรอิสระ X มีค่าเท่ากับ 0

2.5 การคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการวางแผน วิเคราะห์ ออกแบบ รวมทั้งศึกษาผลกระทบทางด้านวิศวกรรมจราจร ในประเทศไทยมีค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้อ้างอิงจากการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาจากต่างประเทศ แต่เนื่องด้วยความแตกต่างกันในหลายด้านทำให้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลอาจจะไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ได้โดยตรง ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ทำการศึกษาครั้งแรกเมื่อปี 1965 ซึ่งเป็นค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถบรรทุกและรถบัส เพื่อใช้ประเมินผลกระทบจากอัตราการครอบครองพื้นที่บนช่องจราจรวิ่งตรงจากกลุ่มยวดยานขนาดใหญ่เหล่านี้ในกระแสจราจร

ในส่วนของวิธีการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลนิยมศึกษาอยู่ 2 กรณี ได้แก่ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ (Signalized intersection) และค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบนช่วงถนน (Mid-block study) จากค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลดังกล่าว สามารถคำนวณได้หลายวิธีซึ่งในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่นิยมใช้ในการศึกษาหา โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่คำนวณจากสัดส่วนความล่าช้า (Delay based method) โดยเป็นการเทียบสัดส่วนระหว่างความล่าช้าของยวดยานที่สนใจกับความล่าช้าจากรถยนต์ส่วนบุคคล ซึ่งวิธีนี้นิยมใช้ศึกษาค่าเทียบเท่าบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7 ดังต่อไปนี้

$$PCE_e = 1 + \frac{d_e}{D_0} \tag{2.7}$$

เมื่อ PCE_e คือ ค่าเทียบเท่าของยวดยานที่สนใจในตำแหน่งแถวคอยที่ e

d_e คือ ความล่าช้าของยวดยานที่สนใจในตำแหน่งแถวคอยที่ e (วินาที)

D_0 คือ ความล่าช้าที่ของรถยนต์ส่วนบุคคลในทุกตำแหน่งแถวคอย (วินาที)

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่คำนวณจากสัดส่วนเวลาห่าง (Headway ratio method) โดยเป็นการเทียบสัดส่วนระหว่างเวลาห่างเฉลี่ยของยวดยานที่สนใจกับเวลาห่างเฉลี่ย

อิ่มตัวจากรถยนต์ส่วนบุคคล ซึ่งวิธีนี้นิยมใช้ศึกษาค่าเทียบเท่าบริเวณทางแยกสัญญาณไฟและบนช่วงถนน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 ดังต่อไปนี้

$$PCE_k = \frac{h_k}{h_{sat}}$$

เมื่อ PCE_k คือ ค่าเทียบเท่าของยวดยานประเภท k

h_k คือ ค่าเวลาห่างเฉลี่ยของยวดยานประเภท k (วินาที)

$h_{sat.}$ คือ ค่าเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวของรถยนต์ส่วนบุคคล (วินาที)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวกับระยะเวลาห่างระหว่างรถบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ

Sarvi and Ejtemai (2011) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการวิ่งตามกันของรถบรรทุก โดยศึกษาบนช่วงถนน นอกจากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างรถบรรทุกและรถยนต์ส่วนบุคคล จากการรวบรวมข้อมูลมานั้นได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรถบรรทุกและรถยนต์ส่วนบุคคล จากการเปรียบเทียบระยะห่างที่วิ่งตามกันระหว่างรถบรรทุกและรถยนต์ส่วนบุคคล พบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลวิ่งตามรถยนต์ส่วนบุคคลมีระยะห่าง (lead gap) อยู่ที่ 20 เมตร รถยนต์ส่วนบุคคลวิ่งตามรถบรรทุกมีระยะอยู่ที่ 28 เมตร รถบรรทุกวิ่งตามรถยนต์ส่วนบุคคลที่ระยะอยู่ที่ 21 เมตร ผลการศึกษาสรุปได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของพฤติกรรมการวิ่งตามกันของรถบรรทุกเทียบกับรถประเภทอื่นๆ ผลการศึกษายังพบอีกว่าเมื่อรถบรรทุกในกระแสจราจรและรถบรรทุกเป็นรถที่วิ่งตาม พฤติกรรมคนขับที่ขับรถยนต์ส่วนบุคคลจะใช้ความเร็วเพิ่มขึ้น

วินัย รักสุนทร (2547) ได้ทำการศึกษาค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวและอัตราการไหลที่จุดอิ่มตัวของรถจักรยานยนต์ของทางแยกสัญญาณไฟ 30 ทางแยกในกรุงเทพมหานคร จุดที่ทำการศึกษาจะมีพื้นที่ให้จอดรอสัญญาณไฟจราจรสำหรับรถจักรยานยนต์ที่มีขนาดต่างกันสาม

ขนาด ได้แก่ 2.7 , 3.0 , และ 3.3 เมตร จากการศึกษาพบว่าความกว้างของช่องจราจรทั้งสามขนาดไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวและอัตราการไหลที่จุดอิ่มตัวของรถจักรยานยนต์ โดยที่ค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวและอัตราการไหลที่จุดอิ่มตัวนั้นมีค่าประมาณ 1.5 วินาที และ 11,250 คันต่อชั่วโมงของช่วงเวลาไฟเขียวต่อช่องจราจรตามลำดับ

Jumsan, Znuhwan, and Sungmo (2005) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของยวดยานที่วิ่งผ่านเส้นหยุดที่ทางแยกสัญญาณไฟ จุดประสงค์เพื่อศึกษาหาเหตุผลว่าทำไมลำดับในการออกตัวจากทางแยกจึงมีผลต่อ time headway ได้ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ NC97 Magnetic detector ได้เก็บจำนวนตัวอย่าง time headway ทั้งหมด 951 ตัวอย่าง ของช่องจราจรวิ่งตรง และเก็บข้อมูลในช่วงไม่ใช่ชั่วโมงเร่งด่วน (off peak period) จากการศึกษาพบว่า time headway ของยวดยานแต่ละคันขณะออกตัวจากทางแยกไม่ได้มีผลมาจากความเร็วที่ใช้เพียงอย่างเดียวหรือ time headway ของคันก่อนหน้า แต่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วของยวดยานของแต่ละคันด้วยของรถคันนั้นๆ ช่วงห่างระหว่างรถด้วยกันขณะออกตัว เป็นต้น

Benekohal and Zhao (2000) ได้ทำการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (Passenger car Equivalent : PCE) ของรถบรรทุกที่ทางแยกสัญญาณไฟ จุดประสงค์เพื่อทำการศึกษา PCE ที่ทางแยกสัญญาณไฟด้วยวิธีความล่าช้า (Delay - based method) ที่ Central Illinois โดยทำการเก็บข้อมูล 7 ทางแยกสัญญาณไฟ จากการศึกษาพบว่า PCE truck ที่ได้นั้นไม่คงที่ ซึ่งขึ้นกับปริมาณจราจรประเภทรถบรรทุกและสัดส่วนร้อยละรถบรรทุก นอกจากนั้นยังพบอีกว่า PCE เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณจราจรและสัดส่วนร้อยละของรถบรรทุกเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาทำให้ได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคลของรถบรรทุกทั่วไป (single unit truck) อยู่ในช่วง 1.00 – 1.37 และค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคลของรถพ่วง (combination truck) อยู่ในช่วง 1.00 – 2.18

วิรัช หิรัญ (2543) ได้ทำการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) สำหรับรถบรรทุกและรถโดยสารบนทางหลวงหลายช่องจราจรในไทย จุดประสงค์ศึกษาเพื่อคำนวณค่า PCE สำหรับรถบรรทุกและรถโดยสาร โดยจะเน้นศึกษาผลของความลาดชันที่มีผลต่อ PCE เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญ โดยทำการศึกษาบนช่วงถนนที่ความชันต่างกัน 3 จุด ได้แก่ 0 %, 1.8% และ 4.2 % สำหรับรถบรรทุกและรถโดยสารบนทางหลวงได้แบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้แก่ บรรทุก 6 ล้อ บรรทุก 10 ล้อ บรรทุกพ่วง และโดยสาร 6 ล้อ จากนั้นใช้วิธีการคำนวณ PCE 3 วิธีเพื่อมาเทียบว่า วิธีไหนให้ผลดีที่สุด ซึ่งได้แก่ Average headway , Spacing คงที่ และวิธีความเร็วคงที่ จากการศึกษาพบว่าวิธีที่

ให้ค่า PCE เพื่อสะท้อนรถแต่ละประเภทที่ดีที่สุดคือ วิธี Average headway โดยที่ความชัน 0% - 1.846 % PCE ของบรรทุก 6 ล้อ บรรทุก 10 ล้อ บรรทุกพ่วงและรถโดยสารมีค่า 1.25 1.36 1.58 1.30 ตามลำดับและที่ความชัน 4.24% PCE ของบรรทุก 6 ล้อ บรรทุก 10 ล้อ บรรทุกพ่วงและรถโดยสาร มีค่า 1.46 1.55 1.83 1.39 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความชันของถนนส่งผลต่อค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ของยวดยานขนาดใหญ่

Rahman, Okura, and Nakamura (2003) ได้ทำการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) สำหรับยวดยานขนาดใหญ่ที่ทางแยกสัญญาณไฟ จุดประสงค์เพื่อศึกษา PCE ของรถขนาดใหญ่ที่ทางแยกสัญญาณไฟจากการเพิ่มขึ้นของความล่าช้าที่เกิดจากการที่มีรถขนาดใหญ่ของแต่ละตำแหน่งในแถวคอยภายใต้สัดส่วนของรถใหญ่ในกระแสจราจรจากทางแยกสัญญาณไฟ 7 ทางแยก ในเมืองโยโกฮามาประเทศญี่ปุ่น เก็บข้อมูลช่องจราจรวิ่งตรงทั้งหมด 20 ชั่วโมง ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) สำหรับยวดยานขนาดใหญ่ที่ทางแยกสัญญาณไฟคำนวณจาก headway ที่ได้มาแต่ละทางแยกและเทียบกับความล่าช้าที่เกิดจากรถยนต์ทั่วไปเท่านั้น จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งที่รถใหญ่อยู่ในแถวคอยที่ไกลออกไปจะทำให้ PCE ลดลง ความล่าช้าที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ความล่าช้าสูงสุดจะเกิดเมื่อรถใหญ่อยู่ที่ตำแหน่งต้นๆของแถวคอย ถ้าสัดส่วนรถขนาดใหญ่ในแถวคอยมากขึ้น ความล่าช้ารวมจะเพิ่มขึ้นและ PCE จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน และความล่าช้ารวมเริ่มจะคงที่เมื่อสัดส่วนรถใหญ่เข้าใกล้ 100%

Calos, C-C. (2007) ได้ทำการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) สำหรับยวดยานขนาดใหญ่ที่ทางแยกสัญญาณไฟ จุดประสงค์เพื่อศึกษาหา PCE ที่เหมาะสมของรถบรรทุกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางแยกสัญญาณไฟและเพื่อทำการปรับปรุงค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) สำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ เก็บข้อมูลที่ทางแยกสัญญาณไฟที่มีรัศมีวงเลี้ยว 90 องศา ไม่มีความชัน และไม่มีที่จอดรถโดยสารอยู่ใกล้ทางแยก การศึกษานี้ได้แบ่งประเภทของรถบรรทุกออกเป็นสามประเภท ได้แก่รถบรรทุกขนาดเล็ก รถบรรทุกขนาดกลาง และรถบรรทุกขนาดใหญ่ ขณะที่ได้ไฟเขียวผู้วิจัยสนใจรถ 10 คันแรกในแถวคอย จากการศึกษาพบว่ารถบรรทุกในตำแหน่งต้นๆ ของแถวคอยจะมีผลกระทบต่อเวลาสูญเสียจากการออกตัว (Startup loss time :SLT) จากการศึกษาได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ของรถบรรทุกแต่ละประเภท คือ PCE 1.8 สำหรับรถบรรทุกขนาดเล็ก PCE 2.2 สำหรับรถบรรทุกขนาดกลาง และ PCE 2.8 สำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่

บวรรัตน์ ศรีจันทร์ (2556) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ที่ทางแยก จุดประสงค์เพื่อทบทวนแนวคิดเกี่ยวกับการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ที่ทางแยกและเพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง VISSIM ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล การศึกษานี้ใช้ข้อมูล 3 ทางแยกที่กรมทางหลวงมีข้อมูล ได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาที่มีจำนวนช่องจราจรหลัก 2 4 และ 6 ช่องจราจร ทำการศึกษา 9.00 - 10.00 เพราะมียวดยานหลายประเภทในกระแสจราจร ศึกษา PCE จากยวดยาน 3 ประเภท คือ จักรยานยนต์ รถโดยสาร และรถบรรทุก โดยคำนวณจากความล่าช้าโดยวิเคราะห์จาก VISSIM ข้อมูลหลักที่ต้องใช้คือ ปริมาณจราจรรวมทั้งแยกประเภทรถด้วยและความเร็วโดยใช้ spot speed การศึกษานี้ ได้ทำการเปรียบเทียบความล่าช้าที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการผสมการจราจรของยวดยานประเภทอื่น รวมทั้งได้จำลองสถานการณ์รูปแบบต่างๆ เพื่อทำการเทียบค่า PCE ในแต่ละเหตุการณ์ ผลการศึกษาพบว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ของจักรยานยนต์เท่านั้นที่จะลดลงเมื่อปริมาณจราจรต่อการไหลอิ่มตัวเพิ่มขึ้น ของแต่ละของสัดส่วนจักรยานยนต์เพราะจะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม ซึ่งแตกต่างจากรถยนต์และรถบรรทุกที่ต้องครอบครองพื้นที่มากกว่า จึงทำให้ PCE เพิ่ม เมื่อปริมาณจราจรต่อการไหลอิ่มตัวเพิ่มขึ้น ผลการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (PCE) พบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ของจักรยานยนต์มีค่าระหว่าง 0.52-0.96 ในกรณีที่ปริมาณจราจรไม่มาก ถ้าปริมาณจราจรสูง PCE จะเข้าใกล้ 0.5 และ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) รถโดยสารและบรรทุกขนาดใหญ่อยู่ระหว่าง 1.15-8.31 ในกรณีที่มีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อยสำหรับปริมาณจราจรไม่มาก ถ้าปริมาณจราจรปานกลางถึงสูง PCE จะเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว

Sarraj (2014) ได้ทำการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ที่ทางแยกสัญญาณไฟ รถบรรทุกขนาดกลาง (medium truck) รถบรรทุกขนาดใหญ่ (heavy truck) และเกวียน (animal driven cart) ของเมืองกาซ่า จุดประสงค์เพื่อศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ของรถทั้งสามประเภทนี้ที่ทางแยกสัญญาณไฟและนำ PCE ที่ได้จากการศึกษาไปเปรียบเทียบกับ PCE กับเมือง UK India ทำการเก็บข้อมูล 3 ทางแยกและคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) โดยวิธี Headway ratio method จากการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) สำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ (heavy truck) กับ 3 ทางแยกตลอดจนเกวียน (animal driven cart) ก็เช่นกัน แต่ ANOVA แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) สำหรับรถบรรทุกขนาดกลาง (medium truck) จาก 3 ทางแยก และผลจาก t test แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่ง

ส่วนบุคล (PCE) สำหรับเกวียนระหว่าง Gaza และ India สาเหตุอาจมาจากขนาดและชนิดของสัตว์ที่ลากจูง ดังนั้นผู้วิจัยเสนอให้ใช้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) heavy truck และ medium truck ของ UK และให้ใช้ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) เกวียนของค่าที่ได้ศึกษาในเมืองกาซ่าครั้งนี้ ผลการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคล (PCE) ของรถบรรทุกขนาดกลาง (medium truck) รถบรรทุกขนาดใหญ่ (heavy truck) และเกวียน (animal driven cart) เท่ากับ 2.23 , 1.43 , 1.51 ตามลำดับ

Saha, Hossain, Mahmud, and Islam (2009) ได้ทำการศึกษาการประมาณค่า PCE (Passenger car equivalent) ที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจากคุณลักษณะของระบบขนส่งในเขตเมือง Dhaka Metropolitan ในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งมีคุณลักษณะการจราจรที่ค่อนข้างมีความแตกต่างจากที่อื่นๆในโลก จุดประสงค์ของการศึกษานี้คือ เพื่อทำการประมาณค่า PCE ที่จะได้มาจากคุณลักษณะการจราจรของ Dhak Metropolitan ในประเทศบังคลาเทศด้วยวิธี headway ratio method เพื่อจะนำไปเปรียบเทียบค่า PCE ที่ใช้ในปัจจุบันจากการปรับปรุงใหม่ของ Webster ข้อมูลการศึกษาที่ทำการศึกษาเก็บมาจาก 10 ทางแยกสัญญาณไฟจากช่วงเวลาชั่วโมงเร่งด่วนของวันธรรมดาของสัปดาห์เพื่อให้ได้กระแสจราจรที่ค่อนข้างอิ่มตัวและจะประมาณค่า PCE ด้วยวิธี headway ratio method ของแต่ละประเภทของรถในกระแสจราจร (รถยนต์ทั่วไป , สามล้อเครื่อง , รถบัสขนาดเล็ก , และรถบัสขนาดใหญ่) จากการประมาณค่า PCE ของรถยนต์ทั่วไ , สามล้อเครื่อง , รถบัสขนาดเล็ก, และรถบัสขนาดใหญ่ ได้เท่ากับ 1.00, 0.86, 1.42, 2.16 ตามลำดับ พบว่าค่า PCE จากการศึกษามีค่าน้อยกว่า PCE ที่ใช้ในปัจจุบันของบังคลาเทศอาจเนื่องมาจากสมรรถนะของยวดยานในปัจจุบันดีขึ้นกว่าในอดีต (สมรรถนะของยวดยานวัดจากสัดส่วนระหว่างกำลังเครื่องยนต์ต่อน้ำหนักรถ)

Lmanond, T., Chookerd, S., and Roubtonglang, N. (2009) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสัญญาณไฟแบบแสดงเวลาที่มีต่อคุณลักษณะขณะออกตัวของแถวคอยที่ทางแยกสัญญาณไฟ จุดประสงค์เพื่อศึกษาว่าสัญญาณไฟที่แสดงเวลาและไม่แสดงเวลามีผลอย่างไรกับคุณลักษณะการออกตัวของแถวคอยในช่วงเวลาไฟเขียว โดยทำการเก็บข้อมูล 3 ช่วงเวลา คือ Off peak day time (10.00 - 15.00), night time (20.00-22.00) และ late night time (22.00-02.00) จากการเก็บข้อมูลพบว่าในแต่ละช่วงเวลาและประเภทของสัญญาณไฟจะส่งผลต่อตำแหน่งที่เป็น Sat. headway จะแตกต่างกันออกไป จากการศึกษาพบว่าสัญญาณไฟแบบแสดงเวลาจะช่วยลด Start loss time ในการออกตัว , ลด Sat. headway เล็กน้อยและเพิ่มอัตราการไหลอิ่มตัว และยังพบว่าอีกว่าสัญญาณไฟ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบแสดงเวลาไม่ส่งผลมากนักกับ Sat. headway จากผลที่ได้จากการศึกษา สัญญาณไฟแบบแสดงเวลาดูเหมือนจะไปแก้ไขการไหลในช่วงไฟเขียว

Adnan (2014) ได้ทำการศึกษาการประมาณค่า PCE สำหรับกระแสจราจรที่แตกต่างกันบนช่วงถนน 12 ช่วง ในเขตเมือง Karachi ด้วย 4 วิธีที่ได้ใช้ในการประมาณ PCE ได้แก่ time headway method, Speed method, simulation method และ regression method จากการศึกษาพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของ PCE ที่ได้จากการประมาณแต่ละวิธีซึ่งให้ค่า PCE ที่ค่อนข้างเหมาะสม จึงเกิดคำถามขึ้นว่า จะใช้ค่า PCE ที่ถูกต้องและเหมาะสมที่เท่าไรในการศึกษาการจราจรของ Karachi ? คำถามดังกล่าวจึงเป็นเหตุผลที่จะทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับพฤติกรรมของความแตกต่างของประเภทรถ เพราะอาจจะเป็นแนวทางการได้มาซึ่งค่า PCE ที่เหมาะสมต่อไป

Wang (2008) ได้ทำการศึกษายวดยานที่กลับรถที่มีผลกระทบต่อความจุช่องจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ จุดประสงค์ในการศึกษาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการกลับรถและรัศมีวงเลี้ยวของถนน เพื่อคำนวณค่าปรับแก้ของยวดยานที่กลับรถ และเพื่อทำการปรับแบบจำลองในโปรแกรมซินโครที่ได้จากค่าปรับแก้ยวดยานที่กลับรถ การศึกษานี้เก็บข้อมูลจาก 16 ทางแยก ที่เมือง Tampa Bay ฟลอริดา สหรัฐอเมริกา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการกลับรถและรัศมีวงเลี้ยงของถนนโดยสร้างความสัมพันธ์ Exponential linear regression พบว่ารัศมีวงเลี้ยวของถนนมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญกับความเร็วในการกลับรถ ดังนั้นถ้ารัศมีวงเลี้ยวของถนนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วในการกลับรถสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งมันอาจจะลดความเป็นไปในการชนท้ายกันระหว่างรถที่เลี้ยวซ้ายและรถที่ต้องการกลับรถที่ทางแยก

ในส่วนผลการศึกษาค่าปรับแก้พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของค่าปรับแก้รถที่กลับรถภายใต้สัดส่วนการกลับรถที่เปลี่ยนไปเช่นกัน ซึ่งสัดส่วนที่ทำการศึกษาเริ่มจาก 5% ถึง 100% ของช่องจราจรเลี้ยวซ้าย จากค่าปรับแก้ยวดยานที่กลับรถทำให้ทราบว่าพบว่ามีการลดลงของอัตราการไหลอิ่มตัวเมื่อมีจำนวนยวดยานที่กลับรถเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นค่าปรับแก้ยวดยานที่กลับรถยังสามารถประมาณความจุที่สูญเสียได้โดยตรงเนื่องจากสัดส่วนการกลับที่แตกต่างกันออกไปที่ทางแยกสัญญาณไฟ

ในส่วนผลการศึกษาการจำลองการจราจรที่ทางแยกด้วยโปรแกรมซินโครพบว่า ค่าความล่าช้าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความล่าช้าจากภาคสนามถ้าใช้ค่าปรับแก้ยวดยานที่กลับรถเพื่อปรับอัตรา

ไหลอิ่มตัวในช่องจราจรเลี้ยวซ้าย ซึ่งชี้ให้เห็นว่าค่าปรับแก้ยวดยานที่กลับรถจะแก้ไขให้ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมมีความแม่นยำมากขึ้น

Agent and Crabtree (1982) ได้ทำการศึกษาความจุที่ทางแยกสัญญาณไฟด้วยค่าปรับแก้ ซึ่งค่าปรับแก้จะได้จากอัตราการไหลอิ่มตัวที่ทางแยกจากยวดยานที่เคลื่อนที่ออกจากทางแยกในช่วงเวลาไฟเขียว จุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆที่มีต่ออัตราการไหลอิ่มตัว ซึ่งจะส่งผลโดยตรงไปยังความจุของทางแยกเช่นกัน จากการศึกษาพบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการไหลอิ่มตัวและปัจจัยที่ส่งผลโดยตรง ได้แก่ พื้นที่ตั้งของเขตเมือง ประชากรในเมือง ประเภทรถและรัศมีวงเลี้ยวถนน ความชันของถนน ความกว้างช่องถนน คนข้ามถนน ประเภทของช่องจราจร และการจำกัดความเร็วของถนน เป็นต้น

Sun, Yang, Wang, Li, and Wu (2013) ได้ทำการศึกษาอัตรการไหลอิ่มตัวและเวลาสูญเสียจากการออกตัวที่ทางแยกสัญญาณไฟในเมืองชางไฮประเทศจีน จุดประสงค์ในการศึกษาเพื่อหาความแตกต่างของอัตราการไหลอิ่มตัวและเวลาสูญเสียจากการออกตัวของช่องจราจรเลี้ยวซ้ายคู่ในสภาพท้องฟ้าอากาศปกติและสภาพอากาศที่มีฝน จากผลการศึกษาพบว่าอัตราการไหลอิ่มตัวขณะฝนตกมีค่าลดลง 3 – 7 % ในแต่ละช่องจราจรที่เลี้ยวซ้าย ขณะที่เวลาสูญเสียจากการออกตัวก็เพิ่มขึ้น 21-31% ซึ่งผลกระทบจากสภาพอากาศที่มีฝนส่งผลต่อช่องจราจรด้านในสุดมากกว่า จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA พบว่าไม่มีความแตกต่างของอัตรการไหลอิ่มตัวและเวลาสูญเสียจากการออกตัวอย่างมีนัยสำคัญในสภาพอากาศปกติและมีฝน

Chen, Nakamura, and Asano (2011) ได้ทำการศึกษาอัตราการไหลอิ่มตัวสำหรับช่องจราจรวิ่งตรงร่วมซ้ายที่ทางแยกสัญญาณไฟที่เมืองไอจิประเทศญี่ปุ่น โดยทำการเก็บข้อมูลจากช่องจราจรวิ่งตรงร่วมซ้าย 9 จุด จาก 6 ทางแยกสัญญาณไฟในเขตเมืองในเขตเมือง ทำการเก็บข้อมูล 2 ชั่วโมงด้วยการบันทึกวีดิโอภายใต้สภาพอากาศปกติ จุดประสงค์เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากการที่มี lane blockage ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลลดลงและเพื่อประเมินถึงบางปัจจัยอื่นๆ ที่จะส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราไหลอิ่มตัว จากผลการศึกษาการประมาณอัตราการไหลอิ่มตัวของช่องจราจรวิ่งตรงร่วมซ้าย พบว่าจากกรณีที่ไม่มีคนข้ามถนนและจักรยานมารบกวนกระแสจราจร HCM และ JSTE ได้ทำการประเมินอัตราการไหลอิ่มตัวของช่องจราจรวิ่งตรงร่วมซ้ายไว้สูงกว่า 2000 คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร นอกจากนั้นยังพบอีกว่าที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าจำนวนช่องจราจรวิ่งตรง จำนวนคนเดินเท้าและจักรยาน สัดส่วนรถที่เลี้ยวซ้าย

ระยะเวลาไฟเขียว รัศมีวงเลี้ยวของถนน ทั้งหมดนี้มีความสัมพันธ์กับความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นของ Lane blocking บนช่องจราจรวิ่งตรงร่วมซ้าย และยังพบอีกว่าความยาวของแถวคอยหรือความหนาแน่นของกระแสจราจรไม่มีความสัมพันธ์กับ Lane blocking ในการศึกษานี้

Shang, Zhang, and Fan (2014) ได้ทำการศึกษาอัตราการไหลอิ่มตัวของช่องจราจรที่แตกต่างกันที่ทางแยกสัญญาณไฟในกรุงปักกิ่งประเทศจีน จุดประสงค์ในการศึกษาเพื่อนำไปปรับค่าเวลาสัญญาณไฟจราจรในกรุงปักกิ่งในการจัดการจราจรบนถนน เก็บข้อมูล 36 ทางแยกสัญญาณไฟ ในการคำนวณช่วงเวลาห่างรถอิ่มตัว (Saturation headway) จะพิจารณาคันที่ 5 ในแถวคอยเป็นต้นไป จากการศึกษาพบว่าช่วงเวลาห่างรถอิ่มตัว (Saturation headway) ของช่องจราจรที่แตกต่างกันมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) และอัตราการไหลที่เหมาะสมของทางแยกสัญญาณไฟที่ปักกิ่งคือ 1350 คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร สำหรับช่องจราจรเลี้ยวขวา 1520 คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร สำหรับช่องจราจรเลี้ยวซ้าย 1535 คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร ของช่องจราจรวิ่งตรง 1457 คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร สำรับช่องจราจรวิ่งตรงร่วมขวา และ 1411 คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร สำรับช่องจราจรวิ่งตรงร่วมซ้าย

สุนาริน จันทะ (2545) ได้ศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของรถบริเวณทางแยกเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวจนกระทั่งสิ้นสุดสัญญาณไฟเขียว โดยศึกษาจากช่วงห่างระหว่างรถ ทำการศึกษาแยกตามประเภทของช่องทางจราจร 5 ประเภท ได้แก่ ช่องทางตรง ช่องทางเลี้ยวซ้าย ช่องทางเลี้ยวขวา ช่องทางตรงร่วมซ้าย ช่องทางตรงร่วมขวา ผลการศึกษาพบว่าในช่วงเริ่มต้นเวลาไฟเขียว ช่วงเวลาห่างระหว่างรถมีค่าสูง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.709 – 7.644 วินาที และค่อยๆ ลดลงจนคงที่ในช่วงคันที่ 4 – 7 ในการศึกษาช่วงเวลาห่างระหว่างรถของช่องจราจรแต่ละประเภทเมื่อมีสภาพคงตัวแล้วจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทีละคู่ พบว่าช่องทางตรงมีช่วงเวลาห่างระหว่างรถน้อยที่สุดที่ 2.523 วินาที รองลงมาได้แก่ ช่องทางตรงร่วมขวา ช่องทางเลี้ยวขวา และช่องทางเลี้ยวซ้าย มีค่าเป็น 2.587 2.856 3.049 วินาที ตามลำดับ ส่วนช่องทางที่มีช่วงเวลาห่างระหว่างรถสูงที่สุดคือ ช่องทางตรงร่วมซ้าย มีค่าเป็น 3.248 วินาที ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทีละคู่พบว่า ทุกคู่ของการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และ 0.01 ยกเว้นคู่ของช่วงเวลาห่างระหว่างรถช่องทางตรงและช่องทางตรงร่วมไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จากนั้นได้ทำการสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างรถกับเวลา ของแต่ละช่องจราจรได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่องทางตรง	ปริมาณรถผ่านทางแยก (pcu) = - 1.481 + 0.411เวลา (วินาที)
ช่องทางเลี้ยวซ้าย	ปริมาณรถผ่านทางแยก (pcu) = - 0.927 + 0.313เวลา (วินาที)
ช่องทางเลี้ยวขวา	ปริมาณรถผ่านทางแยก (pcu) = - 0.802 + 0.345เวลา (วินาที)
ช่องทางตรงร่วมซ้าย	ปริมาณรถผ่านทางแยก (pcu) = - 0.946 + 0.337เวลา (วินาที)
ช่องทางตรงร่วมขวา	ปริมาณรถผ่านทางแยก (pcu) = - 0.904 + 0.374เวลา (วินาที)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับที่	ชื่องานวิจัย	ชื่อผู้แต่งและปี	จุดประสงค์	ผลการศึกษา
1	Exploring heavy vehicles car-following behavior	Dr. Majid SARVI and Omid Ejtemai 2011	เพื่อศึกษาพฤติกรรมการขับขี่ของรถบรรทุกภายใต้สภาพจราจรที่หนาแน่นบนช่วงถนน	ผลการศึกษาพบว่า ระยะห่างระหว่างรถบรรทุกขณะวิ่งตามรถยนต์ส่วนบุคคลจะมีค่าน้อยกว่ารถยนต์ส่วนบุคคลวิ่งตามรถบรรทุก เนื่องจากรถยนต์ส่วนบุคคลต้องระวังการชนท้าย
2	ค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมและอัตราการไหลที่จุดอิ่มตัวของรถจักรยานยนต์สำหรับทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟ	วินัย รักสุนทร 2547	เพื่อศึกษาผลกระทบจากขนาดของช่องจราจรหยุดที่มีต่อค่าเสียเวลาเริ่มต้นและอัตราการไหลอิ่มตัวของจักรยานยนต์ที่ทางแยกสัญญาณไฟ	ผลการศึกษาพบว่า ขนาดของช่องจราจรหยุดไม่มีผลต่อค่าเสียเวลาเริ่มต้นและอัตราการไหลอิ่มตัวของจักรยานยนต์ ยังพบว่าค่าเสียเวลาเริ่มต้นและอัตราการไหลอิ่มตัวมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาทีและ 11,250 คันต่อชั่วโมง ตามลำดับ
3	Vehicle passing behavior through the stop line of signalized intersections.	Kim Jumsan 2005	เพื่อศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยขณะออกตัวที่มีผลต่อเวลาห่างบนช่องจราจรวิ่งตรง	ผลการศึกษาพบว่า ขณะออกตัวที่ทางแยกค่าเวลาห่างสามารถเปลี่ยนแปลงไปด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วในการเร่งออกตัวของแต่ละคัน ระยะห่างระหว่างรถขณะออกตัว เป็นต้น
4	Delay-based passenger car equivalents for trucks at signalized intersections	Rahim F. Benekohal and Weixiong Zhao 2000	เพื่อศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (PCE) ที่ทางแยกสัญญาณไฟด้วยวิธีความล่าช้า	ผลการศึกษาพบว่าค่า PCE ของรถบรรทุกไม่คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณจราจร ประเภทรถบรรทุก สัดส่วนรถบรรทุก และพบว่าค่า PCE ของรถบรรทุกแบบ single unit truck และรถพ่วงมีค่าเท่ากับ 1.00-1.37 และ 1.00-2.18 ตามลำดับ
5	ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกและรถโดยสารบนทางหลวงหลายช่องจราจรในประเทศไทย	วิรัช หิรัญ 2543	เพื่อศึกษาค่า PCE สำหรับรถบรรทุกและรถโดยสารบนช่วงถนนที่ความชันแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 0%, 1.8% และ 4.2% และเปรียบเทียบค่า PCE ที่ได้จาก 3 วิธี ได้แก่ การเทียบสัดส่วนเวลาห่าง, แบบระยะห่างคงที่ และ แบบความเร็วคงที่	ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่เหมาะสมที่สุดคือ การเทียบสัดส่วนเวลาห่าง และจากการศึกษาค่า PCE ทำให้ทราบว่าความชันเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า PCE ของรถบรรทุกและรถโดยสารเพิ่มขึ้นเช่นกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่องานวิจัย	ชื่อผู้แต่งและปี	จุดประสงค์	ผลการศึกษา
6	Measuring passenger car equivalents (PCE) for large vehicles at signalized intersections	M Rahman, I Okura, F Nakamura 2003	เพื่อศึกษาค่า PCE ของยวดยานขนาดใหญ่ที่ทางแยกสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีเทียบสัดส่วนความล่าช้า	ผลการศึกษาพบว่า ความล่าช้าจะมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งแรกของแถวคอยและจะลดลงไปตามตำแหน่งที่ไกลออกไป นอกจากนั้นยังพบว่าค่า PCE จะมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งแรกของแถวคอยและลดลงไปตามตำแหน่งที่ไกลออกไปเช่นกัน
7	Development of passenger car equivalency values for trucks at signalized intersections	Carlos O. Cruz-Casas 2007	เพื่อศึกษาค่า PCE ที่เหมาะสมของรถบรรทุกขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ สำหรับใช้วิเคราะห์ทางแยกสัญญาณไฟ ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเวลาห่าง	ผลการศึกษาพบว่า รถบรรทุกในตำแหน่งต้นๆของแถวคอยจะได้รับผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัว จากการศึกษาได้ค่า PCE ของรถบรรทุกขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ เท่ากับ 1.8, 2.2, และ 2.8 ตามลำดับ
8	การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคลบริเวณทางแยก	บวรรัตน์ ศรีจันทร์ 2556	เพื่อทบทวนแนวคิดเกี่ยวกับค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลจากสัดส่วนความล่าช้า เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง (VISSIM) ในการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล	ผลการศึกษาพบว่า ค่า PCE ของจักรยานยนต์จะลดลงเมื่อการไหลอิ่มตัวเพิ่มขึ้น ขณะที่ PCE ของรถยนต์และรถบรรทุกจะเพิ่มเมื่อการไหลอิ่มตัวเพิ่ม ในส่วนของค่า PCE จักรยานยนต์มีค่าในช่วง 0.52-0.96 และ PCE รถยนต์นั่ง รถโดยสาร และรถบรรทุกมีค่าในช่วง 1.15-8.31
9	Passenger Car Equivalents at Signalized Intersections for Heavy and Medium Trucks and Animal Driven Carts in Gaza, Palestine.	Dr. Yahya R. Sarraj1 2014	เพื่อศึกษาค่า PCE ของยวดยานสามประเภทที่ทางแยกสัญญาณไฟ ได้แก่ รถบรรทุก รถยนต์นั่งและเกวียน เพื่อเปรียบเทียบ PCE จากการศึกษากับ PCE ที่นเดีย	ผลการศึกษาพบว่า ค่า PCE ของรถบรรทุกขนาดใหญ่ (heavy truck) รถบรรทุกขนาดกลาง (medium truck) และเกวียน (animal driven cart) เท่ากับ 2.23 , 1.43 , 1.51 ตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่า PCE ของเกวียนเท่านั้นที่แตกต่างไปจาก PCE ที่อินเดีย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่องานวิจัย	ชื่อผู้แต่งและปี	จุดประสงค์	ผลการศึกษา
10	Passenger car (PCE) of through vehicle at signalized intersections in Dhaka metropolitan city, Bangladesh	Partha, saha และคณะ 2009	เพื่อทำการประมาณค่า PCE ที่เหมาะสมจากคุณลักษณะการจราจรของ Dhaka Metropolitan ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเวลาห่าง เพื่อเปรียบเทียบค่า PCE จากการศึกษากับค่าปัจจุบัน	ผลการศึกษาพบว่า ค่า PCE ของรถยนต์ทั่วไปม สามล้อเครื่อง, บัสขนาดเล็ก และบัสขนาดใหญ่ เท่ากับ 1.0, 0.86, 1.42, 2.16 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่า ค่า PCE จากการศึกษามีค่าน้อยกว่า PCE ในปัจจุบัน เนื่องมาจากสมรรถนะยวดยานในปัจจุบันดีขึ้นกว่าในอดีต
11	Effects of countdown timers on queue discharge characteristics of through movement at a signalized intersection	Thirayoot Limanonda และคณะ 2009	เพื่อศึกษาว่าสัญญาณไฟแบบแสดงเวลาและไม่แสดงเวลามีผลอย่างไรกับลักษณะการออกตัวของแถวคอยในช่วงเวลาไฟเขียว	ผลการศึกษาพบว่า สัญญาณไฟแบบแสดงเวลาจะช่วยลดเวลาสูญเสียจากการออกตัว รวมถึงทำให้เวลาห่างอิ่มตัวลดลงเล็กน้อยและเพิ่มอัตราการไหลอิ่มตัว นอกจากนั้นยังพบว่า สัญญาณไฟแสดงเวลาไม่ส่งผลมากนักกับเวลาห่างอิ่มตัว
12	Passenger Car Equivalent Factors in Heterogenous Traffic Environment	Muhammad Adnan 2014	เพื่อศึกษาค่า PCE จาก 4 วิธีเทียบกับ PCE ของเมืองคาราชิ	ผลการศึกษาพบว่า PCE จาก 4 วิธี ได้แก่ Headway ratio, speed method, simulation method และ regression model พบว่า PCE มีค่าที่ความแตกต่างไปจาก PCE ของเมืองคาราชิอย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่องานวิจัย	ชื่อผู้แต่งและปี	จุดประสงค์	ผลการศึกษา
13	Effects of U-turns on capacity at signalized intersections and simulation of U-turning movement by synchro	Xiaodong Wang 2008	เพื่อศึกษาผลกระทบจากกลุ่มยวดยานกลับรถบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ เพื่อทำการสร้างแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรมซินโคร	ผลการศึกษาพบว่า รัศมีวงเลี้ยวถนนมีผลต่อความเร็วในการกลับรถ นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อสัดส่วนยวดยานกลับรถเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลลดลง ในส่วนของแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรมซินโคร มีความใกล้เคียงกับสภาพจราจรจริง
14	Analysis of saturation flow at signalized intersections	Agent and J. D. Crabtree 1982	เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆที่มีต่ออัตราการไหลอิ่มตัว	ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรง ได้แก่ พื้นที่ตั้งของเขตเมือง ประชากรในเมือง ประเภทรถ รัศมีวงเลี้ยวถนน ความชันถนน ความกว้างช่องจราจร และการจำกัดความเร็ว เป็นต้น
15	Saturation Flow Rate and Start-up Lost Time of Dual-left Lanes at Signalized Intersection in Rainy Weather Condition	Hongyun SUN และคณะ 2013	เพื่อศึกษาหาความแตกต่างของอัตราการไหลอิ่มตัวและเวลาสูญเสียจากการออกตัวของช่องจราจรเลี้ยวซ้ายแบบคู่ โยพิจารณาสภาพอากาศปกติและมีฝนตก	ผลการศึกษาพบว่า อัตราการไหลอิ่มตัวขณะฝนตกจะลดลง 3 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เวลาสูญเสียจากการออกตัวจะเพิ่มขึ้น 21 ถึง 31 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่องานวิจัย	ชื่อผู้แต่งและปี	จุดประสงค์	ผลการศึกษา
16	Saturation Flow Rate Analysis for Shared Left-turn Lane at signalized Intersections in Japan	Peng Chena และคณะ 2014	เพื่อศึกษาผลกระทบกรณีมี lane blockage ททที่มีต่ออัตราการไหล	ผลการศึกษาพบว่า กรณีที่ไม่มีคนข้ามหรือจักรยานมารบกวนกระแสจราจรอัตราการไหลบนช่องจราจรวิ่งตรงร่วมซ้ายจะมีค่าเท่ากับ 2000 คันต่อชั่วโมง นอกจากนั้นพบว่า สัดส่วนรถเลี้ยวซ้าย ระยะเวลาไฟเขียว และรัศมีวงเลี้ยวถนน มีความสัมพันธ์ที่จะเกิด lane blockageใ
17	Heterogeneous Lanes’ Saturation Flow Rates at Signalized Intersections	Huayan Shang และคณะ 2014	เพื่อศึกษาอัตราการไหลอิ่มตัวบนช่องจราจรที่แตกต่างกัน สำหรับการปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรในกรุงปักกิ่ง	ผลการศึกษาพบว่า เวลาห่างอิ่มตัวแต่ละช่องจราจรมรการกระจายตัวแบบปกติ นอกจากนั้นพบว่าอัตราการไหลอิ่มตัวสำหรับช่องเลี้ยวขวา, ช่องเลี้ยวซ้าย, ช่องตรง, และตรงร่วมขวา มีค่าเท่ากับ 1350, 1520 1535 และ 1457 คันต่อชั่วโมง ตามลำดับ
18	การศึกษาช่วงห่างระหว่างรถบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร	สุนาริน จันทะ 2545	เพื่อศึกษาลักษณะเวลาห่างในช่วงเวลาไฟเขียว เพื่อศึกษาความแตกต่างช่วงเวลาห่างแต่ละช่องจราจร เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณจราจรกับเวลา	ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเริ่มไฟเขียวเวลาห่างสูงสุดอยู่ระหว่าง 5.709 ถึง 7.644 วินาที นอกจากนั้นพบว่าช่องทางตรงมีเวลาห่างรถอิ่มตัวน้อยที่สุด ขณะที่ช่องทางตรงร่วมซ้ายมีค่าเวลาห่างอิ่มตัวสูงที่สุด และความสัมพันธ์ปริมาณจราจรกับเวลาที่ได้รับสัญญาณไฟเขียวแต่ละช่องจราจรสามารถแสดงในลักษณะของสมการเชิงเส้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กรอบแนวทางการศึกษา

ในการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวาที่ทางแยกสัญญาณไฟ จะใช้วิธีการเทียบสัดส่วนเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาบนช่องจราจรรอเลี้ยว รวมถึงพิจารณาปัจจัยที่อาจส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถขณะออกตัวที่ทางแยกในช่วงเวลาไฟเขียว ดังนั้นในการศึกษานี้จะกำหนดกรอบการศึกษาออกเป็น 4 ประเด็นหลัก ดังนี้

1. ศึกษาหาผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยที่มีต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวของกลุ่มยวดยานที่กลับรถและกลุ่มยวดยานที่เลี้ยวขวา
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนยวดยานกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยก
3. ศึกษาหาค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวา
4. การคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา

3.1.1 ศึกษาหาผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยที่มีต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวของกลุ่มยวดยานที่กลับรถและกลุ่มยวดยานที่เลี้ยวขวา

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความล่าช้าหรือเวลาห่างรถบนตำแหน่งแถวคอยที่ทางแยกสัญญาณไฟในช่วงเวลาไฟเขียว กรณีช่องจราจรวิ่งตรงซึ่งพบว่า ความล่าช้าหรือเวลาออกตัวจะมีค่าสูงที่สุดที่ตำแหน่งแรกของแถวคอยเสมอขณะเคลื่อนตัวออกจากทางแยก และจะลดลงตามลำดับของตำแหน่งแถวคอยที่ไกลออกไป เนื่องจากกลุ่มยวดยานที่อยู่ตำแหน่งที่ไกลออกไปนั้นมีเวลาเพื่อเคลื่อนตัวมากกว่ายวดยานที่อยู่ตำแหน่งต้นๆของแถวคอย จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าตำแหน่งแถวคอยส่งผลต่อเวลาห่างรถหรือความล่าช้าบนช่องจราจรวิ่งตรง

ในกรณีของช่องจราจรรอเลี้ยวที่ยอมให้กลับรถได้บริเวณทางแยกสัญญาณไฟในช่วงเวลาไฟเขียวพบว่า ส่วนใหญ่ยวดยานทุกตำแหน่งในแถวคอยขณะเคลื่อนเข้าใกล้เส้นหยุดในช่วงเวลาไฟเขียวจะต้องชะลอหรือวิ่งด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกันเพื่อผ่านทางแยกไปได้อย่างปลอดภัยทั้งกลุ่มกลับรถและกลุ่มเลี้ยวขวา ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าค่าเวลาห่างรถออกตัวของยวดยานทั้ง 2 กลุ่มไม่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งแถวคอย

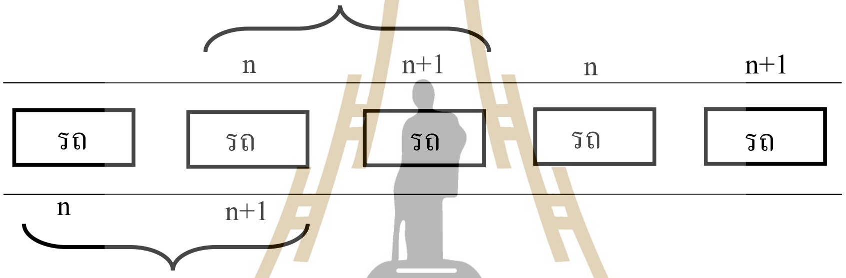
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการตรวจสอบผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยบนช่องจราจรรอเลี้ยวที่มีต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของยวดยานทั้ง 2 กลุ่ม ด้วยวิธีการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (t test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เป็นคู่ๆทุกๆตำแหน่งในแถวคอยไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่ทำการพิจารณา โดยการตั้งสมมติฐานแบบสองหาง (Two-tail test) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

H_0: เวลาห่างรถเฉลี่ยตำแหน่งที่ n และ n+1 ไม่แตกต่างกัน

H_1: เวลาห่างรถเฉลี่ยตำแหน่งที่ n และ n+1 แตกต่างกัน

ตัวอย่างในการเลือกยวดยานในตำแหน่งแถวคอยเป็นคู่ๆ เพื่อทดสอบ t test จากที่ได้กล่าวมา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 คู่อันดับตำแหน่งยวดยานในแถวคอยที่ใช้ในการทดสอบ t test

จากสมมติฐานดังกล่าว จะเห็นได้ว่าจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ สมมติฐานว่าง ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ H_0 เพื่อแสดงความไม่แตกต่างของตัวแปร และสมมติฐานทางเลือกที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ H_1 เพื่อแสดงความแตกต่างกันของตัวแปร ดังนั้นจากการทดสอบดังกล่าวจะสรุปผลว่าสมมติฐานใดเป็นจริงจะต้องพิจารณาค่าความน่าจะเป็นหรือที่เรียกว่าค่า p-value (Sig.) เทียบกับค่าแอลฟา (α) หรือค่าที่ยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนในกรณีทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าแอลฟาจะมีค่าเท่ากับ 5% หรือ 0.05 ดังนั้นเมื่อค่า P-value มากกว่าแอลฟา (0.05) แสดงว่าสมมติฐาน H_0 เป็นจริง ให้ยอมรับ H_0 ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 และในกรณีที่ P-value น้อยกว่าแอลฟา (0.05) แสดงว่าสมมติฐาน H_0 เป็นเท็จ ให้ยอมรับ H_1 เป็นจริง โดยทั่วไปการทดสอบ t test จะใช้กรณีที่จำนวนตัวอย่างน้อยกว่าง 30 และ Z test ใช้กับจำนวนตัวอย่างที่มากกว่า 30 แต่ในทางปฏิบัติสามารถใช้ t test ได้กับจำนวนตัวอย่างที่มากกว่า 30 เนื่องจากค่า t มีค่าใกล้เคียงกับค่า Z

3.1.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนยวดยานกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยก

จากการศึกษาในอดีตเกี่ยวกับผลกระทบของตำแหน่งแถวคอยที่มีต่อเวลาห่างเฉลี่ยออกตัวหรือความล่าช้ากรณีบนช่องจราจรวิ่งตรง พบว่าค่าเวลาห่างเฉลี่ยออกตัวหรือความล่าช้าเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับของแถวคอย โดยจะมีค่าสูงที่สุดที่รถตำแหน่งแรกขณะออกตัว เนื่องจากได้รับผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัว จากนั้นค่าเวลาห่างเฉลี่ยออกตัวหรือความล่าช้าจะค่อยๆลดลงตามลำดับแถวคอยที่ไกลออกไป เนื่องมาจากรถที่อยู่ในตำแหน่งที่ไกลออกไปนั้น มีเวลาเตรียมตัวสำหรับการเร่งเพื่อเคลื่อนตัวออกจากทางแยก (Rahman, 2003)

ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการตรวจสอบผลกระทบของสัดส่วนยวดยานกลับรถที่มีต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกบนช่องจราจรรอเลี้ยวที่ยอมให้กลับรถได้ในช่วงเวลาไฟเขียว ด้วยการสร้างแบบจำลองสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น เพื่อเป็นการยืนยันผลกระทบที่มาจากกลุ่มยวดยานกลับรถ สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Avg.dis.headway}_k = a + b \times \left(U_{\text{pro.all.k}}\right) \tag{3.1}$$

เมื่อ Avg.dis.headway$_k$ คือ ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวรอบสัญญาณไฟที่ k (วินาที)

a คือ ค่าคง

b คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

$U_{\text{pro.all.k}}$ คือ สัดส่วนยวดยานกลับรถของรอบสัญญาณไฟที่ k

k คือ ลำดับของรอบสัญญาณไฟ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากสมการที่ 3.1 ในหัวข้อการศึกษานี้ค่าคงที่สมการ (a) จะแทนด้วยค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวกรณีที่สัดส่วนยวดยานกลับรถเท่ากับศูนย์ (ไม่มียวดยานที่ต้องการกลับรถ) ในส่วนของค่าเป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ (b) จะสื่อถึงทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนยวดยานกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวว่าแปรผันตามกัน (+b) หรือแปรผกผันกัน (-b)

ในส่วนของสัดส่วนยวดยานกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวจะพิจารณาทุกๆรอบสัญญาณไฟจากข้อมูลทั้งหมด 538 รอบ โดยสัดส่วนยวดยานกลับรถสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 ดังต่อไปนี้

$$\text{Pro.U}_k = \frac{N_{\text{u,cycle.k}}}{N_{\text{cycle.k}}} \tag{3.2}$$

เมื่อ $Pro.U_k$ คือ สัดส่วนยวดยานที่กลับรถของรอบสัญญาณไฟที่ k

$N_{u,cycle.k}$ คือ จำนวนยวดยานที่กลับรถในรอบสัญญาณไฟที่ k (คัน)

$N_{cycle.k}$ คือ จำนวนยวดยานทั้งหมดในรอบสัญญาณไฟที่ k (คัน)

k คือ ลำดับของรอบสัญญาณไฟ

ในส่วนของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัวจะพิจารณายวดยานตำแหน่งที่ 5 ในแถวคอยเป็นต้นไป เนื่องมาจากยวดยานตำแหน่งที่ 1 – 4 ในแถวคอยได้รับผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัว การจับเวลาห่างรถนี้จะใช้ล้อหลังของยวดยานเป็นจุดอ้างอิงขณะเคลื่อนผ่านเส้นหยุดในช่วงเวลาไฟเขียว โดยคำนวณค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวได้ดังสมการที่ 3.3

$$Avg.dis.headway_k = \frac{\sum_{i=5}^{n} h_k}{N} \tag{3.3}$$

เมื่อ Avg. dis. $headway_k$ คือ สัดส่วนยวดยานที่กลับรถของรอบสัญญาณไฟที่ k

h_k คือ เวลาห่างรวมของยวดยานตำแหน่งที่ 5 เป็นต้นไปของรอบสัญญาณไฟที่ k (วินาที)

N คือ จำนวนยวดยานจากตำแหน่งที่ 5 เป็นต้นไปของรอบสัญญาณไฟที่ k (คัน)

k คือ ลำดับของรอบสัญญาณไฟ

3.1.3 ศึกษาหาค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวา

ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวาจะได้มาจากการเทียบสัดส่วนระหว่างเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถกับเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวา ซึ่งเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถคือ ช่วงเวลาขณะที่ ล้อหลังของยวดยานเคลื่อนผ่านเส้นหยุดเพื่อกลับรถผ่านทางแยกไปในช่วงเวลาไฟเขียว โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.4 และเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาคือ ช่วงเวลาขณะที่ล้อหลังของยวดยานเคลื่อนผ่านเส้นหยุดเพื่อเลี้ยวขวาผ่านทางแยกไปในช่วงเวลาไฟเขียวเช่นกัน การพิจารณาหาช่วงเวลาอิ่มตัวของยวดยานจะใช้การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจะต้องทดสอบค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถของแต่ละตำแหน่งเป็นคู่ๆ ภายใต้สมมิฐานแบบสองหาง (Two-tail test) เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 3.1.1 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

H_0: ค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถตำแหน่งที่ n และตำแหน่งที่ n+1 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถตำแหน่งที่ n และตำแหน่งที่ n+1 แตกต่างกัน

ตัวอย่างในการเลือกยวดยานในตำแหน่งแถวคอยเป็นคู่ๆ เพื่อทดสอบ t test จากที่ได้กล่าวมา สามารถแสดงได้จากรูปที่ 3.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากสมมติฐานดังกล่าว ถ้าผลการทดสอบค่าเฉลี่ยคู่ใดให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ก็ให้สรุปได้ว่าตำแหน่งคู่นั้นเป็นจุดที่เริ่มเข้าสู่ช่วงเวลาอิ่มตัวไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่ทำการพิจารณา จากนั้นทำการคำนวณเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวได้ดังสมการที่ 3.5

ในการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวานี้ จะใช้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท (Mixed flow right only) และค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวารถยนต์ส่วนบุคคล (Sedan right only) เพื่อดูความแตกต่างค่าเทียบเท่าที่ได้ว่ามีความใกล้เคียงเพื่อที่จะใช้ร่วมกันได้หรือไม่

$$h_{u,type.i} = \frac{\sum H_{u.i}}{N} \qquad (3.4)$$

เมื่อ $h_{u,type.i}$ คือ เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถยวดยานประเภท i (วินาที)

$\sum H_{u.i}$ คือ เวลาห่างรถที่กลับรถรวมของยวดยานประเภท i (วินาที)

N คือ จำนวนยวดยานกลับรถประเภท a (คัน)

i คือ ประเภทยวดยาน

$$h_{sat.right.i} = \frac{\sum H_i}{N} \qquad (3.5)$$

เมื่อ $h_{sat.right.i}$ คือ ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวาประเภท b (วินาที)

$\sum H_i$ คือ ผลรวมเวลาห่างจากตำแหน่งที่เริ่มอิ่มตัวยวดยานประเภท b (วินาที)

N คือ จำนวนยวดยานช่วงอิ่มตัวประเภท b (คัน)

i คือ ประเภทยวดยาน

3.1.4 การคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา

ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวาจะได้มาจากการเทียบสัดส่วนระหว่างเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถกับเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวา ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวาซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ รถกระบะ รถเก๋ง รถยนต์นั่งขนาดเล็ก และยวดยานทุกประเภทรวมกัน เพื่อจะประเมินดูว่าค่าเทียบเท่าที่ได้มีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด หรือสามารถใช้ร่วมกันได้ในค่าเดียว ในส่วนของเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวที่จะนำมาใช้ในการเทียบสัดส่วนประกอบไปด้วย 2 รูปแบบคือ เวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภทและเวลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา ในหัวข้อนี้ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.6

$$ERT_i = \frac{h_{u,type.i}}{h_{sat.right.i}} \tag{3.6}$$

เมื่อ ERT_i คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวาของยวดยานประเภท d

$h_{u,type.i}$ คือ เวลาห่างรถเฉลี่ยที่กลับรถของยวดยานประเภท d (วินาที)

$h_{sat.right.i}$ คือ เวลาห่างรถอิ่มตัวของยวดยานที่เลี้ยวขวา (วินาที)

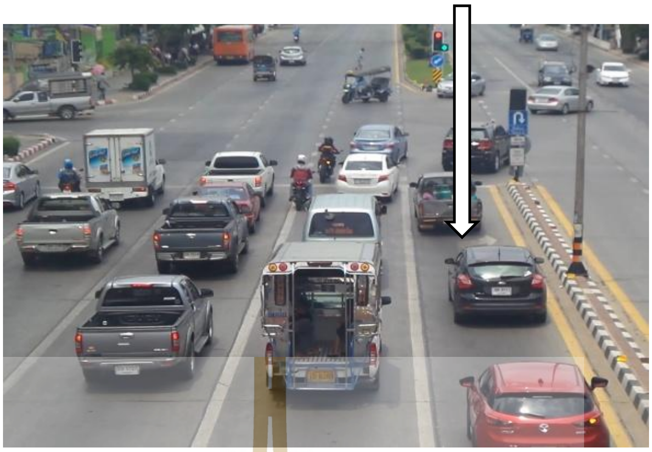
i คือ ประเภทยวดยาน

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค่าเวลาห่างรถบริเวณทางแยกสัญญาณไฟกับงานวิจัยที่เกี่ยวกับค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger car equivalent: PCE) ที่ทางแยกสัญญาณไฟ รวมไปถึงการศึกษาที่เกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาห่างระหว่างรถ และงานวิจัยที่เกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากยวดยานที่กลับรถบริเวณทางแยกที่มีผลกระทบต่อปัจจัยทางกายภาพต่างๆ ของทางแยก นอกจากนั้นทำการทบทวนศึกษาวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้อง

3.2.2 เลือกทางแยกที่จะเป็นตัวแทนในการวิจัยทางแยกสัญญาณไฟที่จะใช้ในการศึกษานี้ควรเป็นทางแยกที่มีปริมาณจราจรค่อนข้างสูงเกือบตลอดทั้งวัน รวมถึงมีระบบสัญญาณไฟควบคุมการจราจรที่มีการจัดเฟสสัญญาณไฟแบบเลี้ยวขวาเฉพาะ (Protected right turn phase) และมีช่องจราจรสำหรับรอเลี้ยว (Exclusive right turn lane) ในการศึกษานี้ได้คัดเลือกทางแยก 1 ทางแยกที่อยู่ใจกลางเมืองนครราชสีมา เป็นทางแยกที่ตัดกันระหว่างทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 224 กับถนนชุมพลใกล้กับอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารีเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และในส่วนของช่องจราจรสำหรับรอเลี้ยวที่สามารถกลับรถได้ (Exclusive right turn lane) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ลักษณะทางแยกที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 3.3 ช่องเลี้ยวขวาเฉพาะ (Exclusive right turn lane)

3.2.3 เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยกล้องวีดิโอ โดยทำการเก็บข้อมูลที่ทางแยกด้วยกล้องวีดิโอ (Video camera) มุมกล้องขณะบันทึกการจราจรควรที่จะต้องมองเห็นสัญญาณไฟที่ทางแยกชัดเจน และเห็นยวดยานเคลื่อนตัวออกจากทางแยกขณะผ่านเส้นหยุด (Stop line)

3.2.4 นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาบันทึกลงในคอมพิวเตอร์เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการถอดข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติ

3.2.5 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อศึกษาความสัมพันธ์หรือผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ที่จะส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถที่ทางแยก

3.2.6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

3.3 การวางแผนรวบรวมข้อมูล

3.3.1 ในการศึกษานี้ได้คัดเลือกทางแยกที่อยู่ใจกลางเมืองนครราชสีมา เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นทางแยกสัญญาณไฟในเขตเมืองเนื่องจากมีปริมาณรถที่ผ่านทางแยกค่อนข้างสูง เกือบตลอดทั้งวัน เป็นทางแยกหลักในตัวเมืองจังหวัดนครราชสีมา และเป็นทางแยกที่มีสะพานลอย เพื่อให้ได้ภาพมุมสูงที่จะง่ายต่อการถอดข้อมูล รวมถึงมีระบบสัญญาณไฟควบคุมการจราจรที่มีการจัดเฟสสัญญาณไฟแบบเลี้ยวขวาเฉพาะ (Protected right turn phase) และมีช่องจราจรสำหรับรอเลี้ยว (Exclusive right turn lane)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3.2 พิจารณาจุดที่จะทำการเก็บข้อมูลด้วยกล้องวีดิโอจะต้องเป็นจุดที่สามารถตั้งกล้องได้อย่างปลอดภัย โดยมุมกล้องจะต้องสามารถมองเห็นยวดยานที่เคลื่อนที่ผ่านทางแยกขณะผ่านเส้นหยุดและต้องสามารถมองเห็นสัญญาณไฟได้อย่างชัดเจน

3.3.3 ใช้กล้องวีดิโอ 2 ชุดในการบันทึกการจราจรที่ทางแยกสัญญาณไฟ เพื่อให้การบันทึกเป็นไปอย่างต่อเนื่องกล้องวีดิโอจะต้องสลับกันทำงาน 2 ชุด โดยบันทึกทุกๆ ช่วงๆละ 15 นาที

3.3.4 เพื่อให้ได้ข้อมูลการจราจรที่ค่อนข้างคงที่จึงเลือกวันเก็บข้อมูลวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 10.00 ถึง 15.00 รวมทั้งสิ้น 538 รอบสัญญาณไฟ ในการศึกษานี้จะหลีกเลี่ยงการเก็บข้อมูลในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้าและเย็น เนื่องจากสภาพจราจรติดขัดมาก ทำให้เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องคอยควบคุมสัญญาณไฟเอง (Manual mode) จึงทำให้รอบสัญญาณไฟไม่คงที่ ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลได้

3.3.5 ทำการเก็บข้อมูลจราจรทิศทางเดียว คือ ทิศทางไปมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา เนื่องจากมีปริมาณยวดยานที่มากกว่า ความยาวของแถวคอยที่จะใช้ในการพิจารณายาวกว่าทิศทางตรงกันข้ามเพราะช่วงถนนมีการรบกวนจากสัญญาณไฟจราจรบริเวณหน้าโรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา จึงเป็นสาเหตุทำให้แถวคอยมีช่วงสั้นและกระแสจราจรถูกรบกวนมากเกินไป

3.4 ขอบเขตของพื้นที่การศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาที่ทางแยกสัญญาณไฟในเขตเมืองนครราชสีมา เป็นทางแยกที่ตัดกันระหว่างทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 224 สายนครราชสีมา –หินโคนกับถนนชุมพลใกล้กับอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี ซึ่งเป็นทางแยกหลักที่สามารถใช้ผ่านไปจุดใหญ่ๆ ได้แก่ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา นิคมอุตสาหกรรมสุรนารี และจังหวัดบุรีรัมย์ ปกติมีการสัญจรของยวดยานค่อนข้างสูงเนื่องจากมีสถานศึกษา ห้างสรรพสินค้าอยู่ใกล้กับทางแยก นอกจากนั้นยังมีสะพานลอยเพื่อใช้เป็นพื้นที่สำหรับตั้งกล้องวีดิโอซึ่งเป็นจุดเก็บข้อมูลที่เหมาะสมและปลอดภัย เฟสสัญญาณไฟที่จะใช้ในการพิจารณานั้นเป็นแบบเลี้ยวขวาเฉพาะ (Protected right turn phase) มีช่องจราจรรอเลี้ยว (Exclusive right turn lane) ให้ยวดยานที่ต้องการเลี้ยวขวาและยวดยานที่ต้องการกลับรถใช้ร่วมกัน การศึกษานี้จะพิจารณาทิศทางกระแสจราจรทิศทางเดียวคือ ทิศทางที่ไปราชภัฏนครราชสีมา (ตามทิศทางลูกศรรูปที่ 3.3 ลักษณะทางแยกสัญญาณไฟที่ใช้ในการศึกษาสามารถแสดงได้ตามรูป 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.4 ภาพมุมสูงของทางแยกที่ทำการศึกษา

รูปที่ 3.5 สภาพจราจรบริเวณทางแยกที่ทำการศึกษา

ทางแยกสัญญาณไฟในทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาประกอบไปด้วย 5 ช่องจราจรต่อทิศทาง ได้แก่ ช่องเลี้ยวขวา 2 ช่องจราจร วิ่งตรง 2 ช่องจราจร และ ช่องเลี้ยวซ้าย 1 ช่องจราจร

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษานี้ใช้กล้องวีดิโอ 2 ชุดในการบันทึกการเคลื่อนตัวของรถออกจากทางแยกเมื่อได้สัญญาณไฟเขียว ขณะที่ทำการบันทึกการจราจรนั้นจะต้องมองเห็นเส้นหยุดที่ทางแยกและสัญญาณไฟและจะต้องมองเห็นล้อหลังของยวดยานเคลื่อนแตะเส้นหยุดขณะเคลื่อนตัวออกจากทางแยกได้อย่างชัดเจนดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ในการเก็บข้อมูลที่ทางแยกนั้นจะทำการเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่อง โดยทำการบันทึกไฟล์วีดิโอลงในคอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นช่วงๆ ช่วงละ 15 นาที เก็บข้อมูลวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 10.00-15.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.6 มุมกล้องขณะทำการบันทึกข้อมูล

3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ได้จากการถอดข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษา ได้แก่ ค่าเวลาห่างรถออกตัวที่ทางแยก (Average discharge headway) ของกลุ่มกลับรถและเลี้ยวขวา ประเภทยวดยานในตำแหน่งต่างๆใน แถวคอย และประเภทยวดยานที่กลับรถและเลี้ยวขวา ดังนั้นอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลจึงจำเป็น ซึ่ง รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

3.6.1 กล้องวีดิโอ (Video camera) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นกล้อง วีดิโอสำหรับใช้บันทึกข้อมูลการจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ โดยมีความละเอียดการซูม (Zoom in) ในตำแหน่งจุดอ้างอิง (Stop line) และสัญญาณไฟจราจรได้อย่างชัดเจน

3.6.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการถอดข้อมูล ไฟล์ข้อมูลที่เก็บจากทางแยกจะอยู่ในรูปของไฟล์วีดิโอ จึงต้องเปิดไฟล์ด้วยคอมพิวเตอร์ จากนั้นใช้ นาฬิกาจับเวลา (Stop watch)ค่าเวลาห่างรถ (Discharge headway) เมื่อล้อหลังของยวดยานผ่านเส้น หยุดในช่วงเวลาไฟเขียว ดังภาพที่ 3.6 โดยโปรแกรมจับเวลาดังกล่าวมีความละเอียดระดับ 00 : 00 : 00 : 00 (ชั่วโมง : นาที : วินาที : เสี้ยววินาที) เพื่อให้ข้อมูลค่าเวลาห่างรถมีความละเอียด รวมถึง โปรแกรม SPSS เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Equivalent for right turning: ERT) ของยวดยานแต่ละประเภทบนช่องจราจรรอเลี้ยว (Exclusive right turn lane) ที่ทางแยกสัญญาณไฟ จะใช้ข้อมูลของเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยก (Average discharge time headway) ของยวดยานทั้งสามประเภท ได้แก่ รถกระบะ (Pick up) รถเก๋ง (Sedan) และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car) เพื่อใช้ในการศึกษา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยกล้องวีดิโอและเป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการศึกษานี้ วิธีการเทียบสัดส่วนเวลาห่างรถ (Headway ratio method) ได้ถูกใช้ในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (ERT) นอกจากนั้นปัจจัยอื่นๆที่คาดว่าอาจส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวได้ถูกนำมาพิจารณาด้วย ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลจึงได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

4.1. การวิเคราะห์ตำแหน่งในแถวคอยที่จะส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว

4.2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว

4.3. การวิเคราะห์เวลาห่างรถอิ่มตัวจากการออกตัวที่ทางแยก

4.4. การคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา

4.1. การวิเคราะห์ตำแหน่งในแถวคอยที่ส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว

ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวาจะใช้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว(Average discharge time headway) ที่ทางแยกมาพิจารณา ซึ่งค่าเวลาห่างรถนี้อาจเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งในแถวคอย (Position in queue) หรือจากพฤติกรรมการขับขี่ ซึ่งถ้าค่าเวลาห่างรถออกตัวเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งก็จะทำให้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเลี้ยวขวาเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์หาผลกระทบจากตำแหน่งต่างๆในแถวคอยที่จะส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว (Average discharge headway) ที่ทางแยกในช่วงเวลาไฟเขียวของกลุ่มยวดยานทั้ง 3 ประเภท โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเลี้ยวขวาและกลุ่มที่กลับรถ

4.1.1. กลุ่มรถกระบะ (Pick up)

ในส่วนของการศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งต่างๆในแถวคอยที่มีต่อเวลาห่างรถของกลุ่มรถกระบะ (Pick up) ได้ทำการแยกกรณีศึกษาเป็น 3 กรณี ได้แก่ ผลกระทบจากตำแหน่งที่

มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวา ผลกระทบจากตำแหน่งเดียวกันที่มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวาและกลับรถ และผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถของกลุ่มกลับรถ

4.1.1.1 ผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวา

การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) ได้ถูกใช้วิเคราะห์ผลกระทบของตำแหน่งในแถวคอยที่มีต่อค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถ (Average discharge time headway) จากตำแหน่งที่ 1 – 15 โดยทดสอบเป็นคู่ๆ โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ T – test แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถกระบะทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง j (วินาที)	p-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.04	3.47	0.000	แตกต่างกัน
2-3	3.47	3.14	0.009	แตกต่างกัน
3-4	3.15	3.02	0.281	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.02	2.86	0.081	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.86	2.71	0.063	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.71	2.81	0.230	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.81	2.64	0.07	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.64	2.81	0.108	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.81	2.79	0.813	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.79	2.70	0.368	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.70	2.64	0.578	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.64	2.79	0.180	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.79	2.71	0.542	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.71	2.64	0.602	ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาในส่วนของกลุ่มรถกระบะ (Pick up) ในตารางที่ 4.1 พบว่าตำแหน่งแถวคอยตั้งแต่ตำแหน่งที่ 3 – 15 ของกลุ่มรถกระบะเลี้ยวขวาไม่ส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถออกตัวที่ทางแยก (Average discharge headway) จะสังเกตได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เนื่องจากรถกระบะทุกคันเมื่อวิ่งเข้าสู่ทางแยกจะต้องชะลอหรือใช้ความเร็วที่ใกล้เคียงกัน เพื่อเลี้ยวผ่านทางแยกไปได้อย่างปลอดภัย มีเพียงตำแหน่งที่ 1 และ 2 ที่ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวแตกต่างกัน เนื่องจากผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัว (Startup loss time) หรือความล่าช้า (Delay) จากกลุ่มจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านหน้าแถวคอยในบางรอบสัญญาณไฟ

4.1.1.2 โดยปกติแล้วกลุ่มกลับรถจะใช้เวลามากกว่ากลุ่มเลี้ยวขวาขณะเคลื่อนตัวออกจากทางแยก ดังนั้นผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยเดียวกันอาจส่งผลให้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของ 2 กลุ่มนี้เปลี่ยนแปลงไป จึงต้องทำการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ย t test เพื่อตรวจสอบว่า ณ ตำแหน่งต่างๆในแถวคอยขณะออกตัวนั้นส่งผลโดยตรงกับค่าเวลาห่างรถของ 2 กลุ่มให้เปลี่ยนแปลงไปจากปกติอย่างไร ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบ t test เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาของรถกระบะทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i	กลับรถ ตำแหน่ง i	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวาตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถตำแหน่ง i (วินาที)	p - value	วิเคราะห์ผล
1	1	4.04	4.45	0.046	แตกต่างกัน
2	2	3.47	3.78	0.034	แตกต่างกัน
3	3	3.14	3.69	0.001	แตกต่างกัน
4	4	3.02	3.62	0.000	แตกต่างกัน
5	5	2.86	3.42	0.000	แตกต่างกัน
6	6	2.71	3.61	0.000	แตกต่างกัน
7	7	2.81	3.25	0.000	แตกต่างกัน
8	8	2.64	3.20	0.000	แตกต่างกัน
9	9	2.81	3.25	0.002	แตกต่างกัน
10	10	2.79	3.12	0.003	แตกต่างกัน
11	11	2.70	3.18	0.001	แตกต่างกัน
12	12	2.64	3.06	0.015	แตกต่างกัน
13	13	2.79	2.97	0.243	แตกต่างกัน
14	14	2.71	3.09	0.016	แตกต่างกัน
15	15	2.63	3.09	0.008	แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถกระบะยังคงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกตำแหน่งในแถวคอย สังเกตได้จากค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยในคอลัมน์ค่าเฉลี่ยกลับรถมีค่าเฉลี่ยที่มากกว่าค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา จากผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นว่าค่าเวลาห่างรถกลับรถของรถกระบะยังคงมากกว่ารถกระบะที่เลี้ยวขวาโดยที่ตำแหน่งแถวคอยเดียวกันไม่ได้ทำให้ค่าเวลาห่างรถของสองกลุ่มนี้ผิดปกติหรือเปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใด เนื่องจากเมื่อยวดยานวิ่งเข้าสู่ทางแยกจะต้องชะลอหรือใช้ความเร็วที่ใกล้เคียงกันเพื่อเคลื่อนตัวผ่านทางแยกไปได้อย่างปลอดภัย

4.1.1.3 ในหัวข้อนี้ศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถของกลุ่มกลับรถเพื่อตรวจสอบผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยที่อาจทำให้ค่าเวลาห่างรถกลับรถเปลี่ยนแปลง ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถกระบะกลับรถทุกตำแหน่ง

กลับรถตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง j (วินาที)	p-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.45	3.7	0.003	แตกต่างกัน
2-3	3.78	3.69	0.618	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.69	3.62	0.680	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.62	3.42	0.241	ไม่แตกต่างกัน
5-6	3.42	3.61	0.298	ไม่แตกต่างกัน
6-7	3.61	3.25	0.024	แตกต่างกัน
7-8	3.25	3.20	0.788	ไม่แตกต่างกัน
8-9	3.20	3.25	0.740	ไม่แตกต่างกัน
9-10	3.25	3.12	0.349	ไม่แตกต่างกัน
10-11	3.12	3.18	0.721	ไม่แตกต่างกัน
11-12	3.18	3.06	0.567	ไม่แตกต่างกัน
12-13	3.06	2.97	0.645	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.97	3.09	0.486	ไม่แตกต่างกัน
14-15	3.09	3.09	0.980	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าโดยรวมแล้วค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของกระบะกลุ่มกลับรถด้วยกัน ไม่มีความแตกต่างค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกตำแหน่ง เนื่องจากเมื่อรถกระบะจากตำแหน่งต่างๆในแถวคอยวิ่งเข้าสู่ทางแยกจะต้องชะลอความเร็วลงมากกว่าปกติเพื่อกลับรถ เพราะด้วยช่วงตัวรถที่ยาว (4.8 – 5 เมตร) จึงต้องการรัศมีวงเลี้ยวที่มากขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาเคลื่อนตัวผ่านทางแยกมากขึ้น จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ตำแหน่งแถวคอยไม่ส่งผลค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของรถกระบะแต่อย่างใด

4.1.2. กลุ่มรถยนต์ส่วนบุคคลหรือรถเก๋ง (Sedan)

ในส่วนของการศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งต่างๆในแถวคอยที่มีต่อเวลาห่างรถของกลุ่มรถยนต์ส่วนบุคคลหรือรถเก๋ง (Sedan) ได้ทำการแยกกรณีศึกษาเป็น 3 กรณี ได้แก่ ผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวา ผลกระทบจากตำแหน่งเดียวกันที่มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวาและกลับรถ และผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถของกลุ่มกลับรถ

4.1.2.1 ผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวา

การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (T test) ได้ถูกใช้วิเคราะห์ผลกระทบของตำแหน่งในแถวคอยที่มีต่อค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถ (Average discharge time headway) จากตำแหน่งที่ 1 – 15 โดยทดสอบเป็นคู่ๆ โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ T – test แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถเก๋งทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง j (วินาที)	p-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.00	3.55	0.008	แตกต่างกัน
2-3	3.55	2.99	0.000	แตกต่างกัน
3-4	2.99	2.95	0.752	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.95	2.85	0.419	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.85	2.76	0.379	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.76	2.56	0.060	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.56	2.69	0.196	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.69	2.60	0.365	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถเก๋งทุกตำแหน่ง (ต่อ)

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง j (วินาที)	p-value	วิเคราะห์ผล
9-10	2.60	2.65	0.60	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.65	2.56	0.394	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.56	2.56	0.946	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.56	2.63	0.517	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.63	2.61	0.877	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.61	2.81	0.311	ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาในส่วนของกลุ่มรถเก๋ง (Sedan) ในตารางที่ 4.4 พบว่าตำแหน่งแถวคอยตั้งแต่ตำแหน่งที่ 3 – 15 ของกลุ่มรถเก๋งเลี้ยวขวาไม่ส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถออกตัวที่ทางแยก (Average discharge headway) จะสังเกตได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากรถเก๋งทุกคันเมื่อวิ่งเข้าสู่ทางแยกจะต้องชะลอหรือใช้ความเร็วที่ใกล้เคียงกัน เพื่อเลี้ยวผ่านทางแยกไปได้อย่างปลอดภัย มีเพียงตำแหน่งที่ 1 และ 2 ที่ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวแตกต่างกัน เนื่องจากผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัว (Startup loss time) หรือความล่าช้า (Delay) จากกลุ่มจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านหน้าแถวคอยในบางรอบสัญญาณไฟ

4.1.2.2 โดยปกติแล้วกลุ่มกลับรถจะใช้เวลามากกว่ากลุ่มเลี้ยวขวาขณะเคลื่อนตัวออกจากทางแยก ดังนั้นผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยเดียวกันอาจส่งผลให้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของ 2 กลุ่มนี้เปลี่ยนแปลงไป จึงต้องทำการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ย t test เพื่อตรวจสอบว่า ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแถวคอยขณะออกตัวนั้นส่งผลโดยตรงกับค่าเวลาห่างรถของ 2 กลุ่มให้เปลี่ยนแปลงไปจากปกติอย่างไร ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาของรถเก๋งทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i	กลับรถ ตำแหน่ง i	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวาตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถตำแหน่ง i (วินาที)	p - value	วิเคราะห์ผล
1	1	4.00	4.38	0.175	ไม่แตกต่างกัน
2	2	3.55	3.56	0.984	ไม่แตกต่างกัน
3	3	2.99	3.75	0.000	แตกต่างกัน
4	4	2.95	3.35	0.360	ไม่แตกต่างกัน
5	5	2.85	3.13	0.760	ไม่แตกต่างกัน
6	6	2.76	3.49	0.000	แตกต่างกัน
7	7	2.56	3.11	0.000	ไม่แตกต่างกัน
8	8	2.69	3.06	0.013	แตกต่างกัน
9	9	2.60	3.00	0.006	แตกต่างกัน
10	10	2.65	2.96	0.047	แตกต่างกัน
11	11	2.56	2.78	0.110	ไม่แตกต่างกัน
12	12	2.55	2.57	0.897	ไม่แตกต่างกัน
13	13	2.63	2.85	0.198	ไม่แตกต่างกัน
14	14	2.61	2.91	0.146	ไม่แตกต่างกัน
15	15	2.81	3.08	0.248	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถเก๋งมีความผันผวนในแต่ละตำแหน่งในแถวคอย สาเหตุมากจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่เอง รวมทั้งช่วงตัวรถสั้นกว่ากระบะ (4.3 เมตร) จึงทำให้รถเก๋งมีความคล่องตัวมากขึ้นขณะเคลื่อนตัวผ่านทางแยก ไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยวหรือกลับรถเก๋งสามารถที่จะเร่งหรือใช้ความเร็วได้ในบางช่วงเพื่อผ่านทางแยก จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกระหว่างเลี้ยวขวาและกลับรถอาจแตกต่างและไม่แตกต่างเมื่อพิจารณาการออกตัว ณ ตำแหน่งเดียวกันในแถวคอย

4.1.2.3 ในหัวข้อนี้ศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยที่มีต่อเวลาห่างรถของรถเก๋งกลับรถ เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยที่อาจทำให้ค่าเวลาห่างรถกลับรถเปลี่ยนแปลง ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถเก๋งกลับรถทุกตำแหน่ง

กลับรถตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง j (วินาที)	p-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.38	3.55	0.004	แตกต่างกัน
2-3	3.55	3.75	0.402	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.75	3.35	0.114	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.35	3.13	0.314	ไม่แตกต่างกัน
5-6	3.13	3.49	0.104	ไม่แตกต่างกัน
6-7	3.49	3.11	0.067	ไม่แตกต่างกัน
7-8	3.11	3.07	0.818	ไม่แตกต่างกัน
8-9	3.07	3.00	0.771	ไม่แตกต่างกัน
9-10	3.00	2.96	0.803	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.96	2.78	0.303	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.78	2.57	0.185	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.57	2.85	0.059	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.85	2.91	0.772	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.91	3.08	0.490	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าโดยรวมแล้วค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของรถเก๋งกลุ่มกลับรถด้วยกันไม่มีความแตกต่างค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกตำแหน่ง เนื่องจากเมื่อรถเก๋งจากตำแหน่งต่างๆในแถวคอยวิ่งเข้าสู่ทางแยกจะต้องชะลอความเร็วลงเพื่อกลับรถ เพราะด้วยช่วงตัวรถที่ยาว (4.3 เมตร) จึงต้องการรัศมีวงเลี้ยวที่มากขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาเคลื่อนตัวผ่านทางแยกมากขึ้น จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ตำแหน่งแถวคอยไม่ส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของรถเก๋งแต่อย่างใด

4.1.3. กลุ่มรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car)

ในส่วนของการศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งต่างๆในแถวคอยที่มีต่อเวลาห่างรถของกลุ่มรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car) ได้ทำการแยกกรณีศึกษาเป็น 3 กรณี ได้แก่ ผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวา ผลกระทบจากตำแหน่งเดียวกันที่มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวาและกลับรถ และผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถของกลุ่มกลับรถ

4.1.3.1 ผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถออกตัวของกลุ่มเลี้ยวขวา

การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (T test) ได้ถูกใช้วิเคราะห์ผลกระทบของตำแหน่งในแถวคอยที่มีต่อค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถ (Average discharge time headway) จากตำแหน่งที่ 1 – 15 โดยทดสอบเป็นคู่ๆ โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ t test แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวารถนั่งขนาดเล็กทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวาตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง j (วินาที)	p-value	วิเคราะห์ผล
1-2	3.97	3.52	0.185	ไม่แตกต่างกัน
2-3	3.52	3.18	0.221	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.18	2.90	0.353	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.90	2.74	0.559	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.74	2.73	0.962	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.73	2.71	0.910	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.71	2.64	0.710	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.64	2.65	0.997	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.65	2.61	0.883	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.61	2.56	0.828	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.56	2.74	0.557	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.74	2.43	0.290	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.43	3.01	0.054	ไม่แตกต่างกัน
14-15	3.01	2.51	0.307	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อพิจารณาในส่วนของกลุ่มกลุ่มรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car) ในตารางที่ 4. 7 พบว่า ตำแหน่งแถวคอยตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 – 15 ของกลุ่มรถยนต์นั่งขนาดเล็กเลี้ยวขวาด้วยกัน ไม่ส่งผลต่อค่าเวลาห่างรถออกตัวที่ทางแยก (Average discharge headway) จะสังเกตได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากรถยนต์นั่งขนาดเล็กทุกคันเมื่อวิ่งเข้าสู่ทางแยกจะต้องชะลอหรือใช้ความเร็วที่ใกล้เคียงกัน เพื่อเลี้ยวผ่านทางแยกไปได้อย่างปลอดภัย

4.1.3.2 โดยปกติแล้วกลุ่มกลับรถจะใช้เวลามากกว่ากลุ่มเลี้ยวขวาขณะเคลื่อนตัวออกจากทางแยก ดังนั้นผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยเดียวกันอาจส่งผลให้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของ 2 กลุ่มนี้เปลี่ยนแปลงไป จึงต้องทำการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ย T test เพื่อตรวจสอบว่า ณ ตำแหน่งต่างๆในแถวคอยขณะออกตัวนั้นส่งผลโดยตรงกับค่าเวลาห่างรถของ 2 กลุ่มให้เปลี่ยนแปลงไปจากปกติอย่างไร ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i	กลับรถตำแหน่ง i	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง i (วินาที)	p - value	วิเคราะห์ผล
1	1	3.97	4.46	0.442	ไม่แตกต่างกัน
2	2	3.52	3.87	0.306	ไม่แตกต่างกัน
3	3	3.18	3.87	0.062	ไม่แตกต่างกัน
4	4	2.90	3.70	0.087	ไม่แตกต่างกัน
5	5	2.74	3.14	0.183	ไม่แตกต่างกัน
6	6	2.73	2.73	0.992	ไม่แตกต่างกัน
7	7	2.71	2.74	0.924	ไม่แตกต่างกัน
8	8	2.67	2.98	0.244	ไม่แตกต่างกัน
9	9	2.64	2.83	0.359	ไม่แตกต่างกัน
10	10	2.61	3.50	0.181	ไม่แตกต่างกัน
11	11	2.56	3.32	0.018	ไม่แตกต่างกัน
12	12	2.74	2.72	0.966	ไม่แตกต่างกัน
13	13	2.43	2.75	0.305	ไม่แตกต่างกัน
14	14	3.01	3.19	0.696	ไม่แตกต่างกัน
15	15	2.51	3.15	0.197	ไม่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถยนต์นั่งขนาดเล็กไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกตำแหน่ง เนื่องจากรถยนต์นั่งขนาดเล็กมีความยาวช่วงตัวรถสั้นที่สุด (3.9 เมตร) เมื่อเทียบกับรถกระบะและรถเก๋ง ทำให้เวลาห่าง

รถออกตัวน้อยลง เมื่อผ่านจุดอ้างอิงหรือเส้นหยุด (Stop line) รวมถึงมีความคล่องตัวสูงขณะที่เคลื่อนตัวผ่านทางแยก จึงเป็นสาเหตุทำให้ค่าเวลาห่างรถระหว่างกลับรถและเลี้ยวขวาของรถยนต์นั่งขนาดเล็กไม่แตกต่างกัน

4.1.3.3 ในหัวข้อนี้ศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งที่มีต่อเวลาห่างรถของกลุ่มกลับรถ เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากตำแหน่งแถวคอยที่อาจทำให้ค่าเวลาห่างรถกลับรถเปลี่ยนแปลง ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถยนต์นั่งขนาดเล็กกลับรถทุกตำแหน่ง

กลับรถตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง j (วินาที)	p-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.46	3.87	0.202	ไม่แตกต่างกัน
2-3	3.87	3.87	0.998	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.87	3.70	0.762	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.70	3.14	0.296	ไม่แตกต่างกัน
5-6	3.14	2.73	0.320	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.73	2.74	0.982	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.74	2.98	0.406	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.98	2.84	0.592	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.84	3.50	0.183	ไม่แตกต่างกัน
10-11	3.50	3.32	0.755	ไม่แตกต่างกัน
11-12	3.32	2.72	0.122	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.72	2.75	0.949	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.75	3.19	0.339	ไม่แตกต่างกัน
14-15	3.19	3.16	0.949	ไม่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของรถยนต์นั่งขนาดเล็กไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกตำแหน่ง เนื่องจากเมื่อรถยนต์นั่งขนาดเล็กจากตำแหน่งต่างๆในแถวคอยวิ่งเข้าสู่ทางแยกจะต้องชะลอความเร็วลงเพื่อกลับรถ เพราะด้วยช่วงตัวรถที่สั้น (3.9 เมตร) จึงต้องการรัศมีวงเลี้ยวที่น้อยที่สุด ทำให้สามารถที่จะกลับโดยที่อาจจะไม่ชะลอความเร็ว

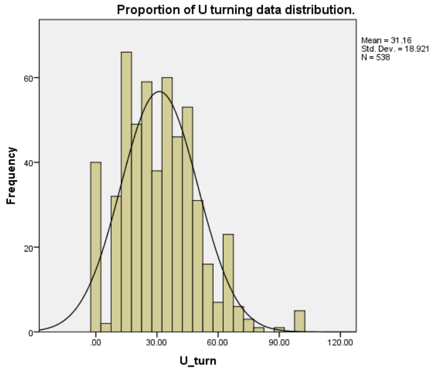
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ลงมาก จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ตำแหน่งแถวคอยไม่ส่งผลค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของรถยนต์นั่งขนาดเล็กแต่อย่างใด

4.2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนกลับรถกับค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถ

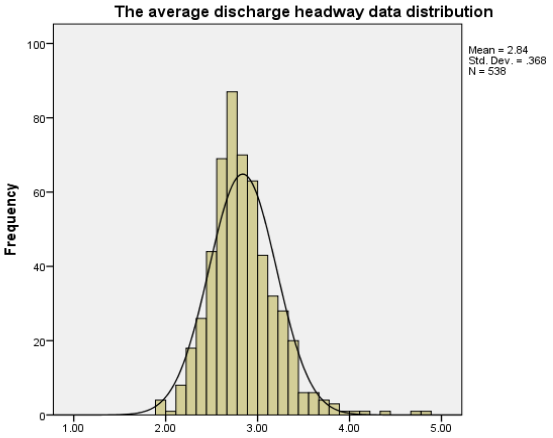
เมื่อสังเกตการเคลื่อนตัวผ่านทางแยกของยวดยานพบว่ากลุ่มที่กลับรถจะใช้เวลามากกว่ากลุ่มที่เลี้ยวขวา เนื่องจากยวดยานจะต้องชะลอความเร็วลงเพื่อตีวงเลี้ยวกลับรถ ส่งผลให้ยวดยานที่วิ่งตามต้องชะลอความเร็วลงเช่นกันทำให้เกิดความล่าช้าในแถวคอยขึ้นสำหรับยวดยานที่ต้องการผ่านทางแยก ดังนั้นถ้ามีจำนวนหรือสัดส่วนยวดยานที่กลับรถเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้เกิดความล่าช้าสะสมในแถวคอยเพิ่มขึ้นเช่นกันหรือทำให้ค่าเวลาห่างรถออกตัวของยวดยานที่วิ่งตามเพิ่มขึ้นนั่นเอง รวมถึงเฟสสัญญาณไฟเขียวที่ออกแบบไว้สำหรับรถเลี้ยวไม่สามารถใช้ได้อย่างประสิทธิผลหรือมีรถตกค้างในแถวคอยขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนยวดยานกลับรถ (Proportion of U turn) และเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยก (Average discharge headway) จึงได้ถูกนำมาพิจารณาเพื่อเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Equivalent of Right Turn: ERT)

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของกลุ่มยวดยานที่กลับรถทุกประเภทที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ รถเก๋ง (Sedan) รถกระบะ (Pick up) และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car) ที่ทางแยกกับค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว (Average discharge time headway) โดยค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถเริ่มพิจารณาจากตำแหน่งที่ 5 ในแถวคอย (HCM 2010) ไปจนถึงคันสุดท้ายในแถวคอยทั้งหมด 538 รอบสัญญาณไฟ และสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงเส้น (Simple Linear Regression) ระหว่างค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว (Average discharge time headway) กับสัดส่วนของกลุ่มยวดยานที่กลับรถทุกประเภทที่ใช้ในการศึกษา โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งได้ผลดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวแบบปกติของสัดส่วนกลับรถทุกประเภท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวแบบปกติของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว

Regression

[DataSet0]

Variables Entered/Removed[a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	U[b]	.	Enter

a. Dependent Variable: headway
b. All requested variables entered.

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.284[a]	.081	.079	.35935

a. Predictors: (Constant), U
b. Dependent Variable: headway

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6.169	1	6.169	47.774	.000[b]
	Residual	70.118	543	.129		
	Total	76.288	544			

a. Dependent Variable: headway
b. Predictors: (Constant), U

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.669	.030		90.071	.000
	U	.006	.001	.284	6.912	.000

a. Dependent Variable: headway

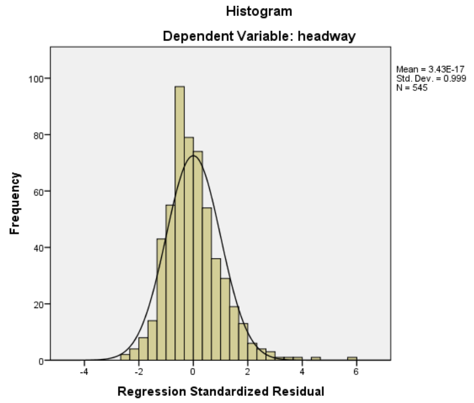
Residuals Statistics[a]

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	2.6690	3.2323	2.8441	.10649	545
Residual	-.87066	2.12096	.00000	.35902	545
Std. Predicted Value	-1.643	3.646	.000	1.000	545
Std. Residual	-2.423	5.902	.000	.999	545

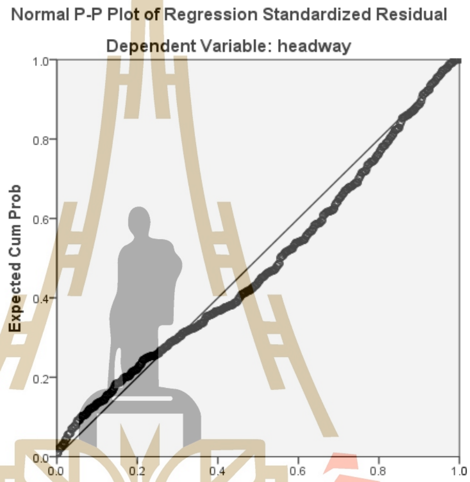
a. Dependent Variable: headway

รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

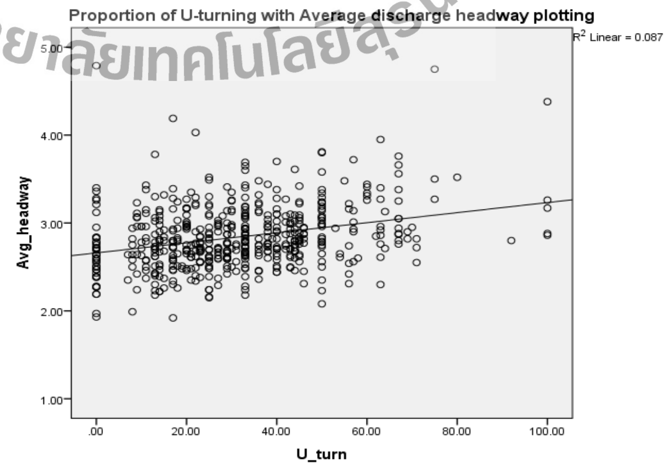


รูปที่ 4.4 การกระจายแบบปกติของ Regression Standardized residual



รูปที่ 4.5 Normal P-P plot ของ Regression Standardized residual

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์สัดส่วนกลับรถและเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว

จากผลวิเคราะห์แบบจำลองความสัมพันธ์เชิงเส้น (Simple Linear Regression) ในรูปที่ 4.3 พบว่า R^2 เท่ากับ 0.081 , Adjust R^2 เท่ากับ 0.079 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของกลุ่มยวดยานที่กลับรถกับค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถค่อนข้างต่ำมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสัดส่วนกลุ่มยวดยานที่กลับรถ (U) เท่ากับ 0.006 หมายความว่า ทุกๆ 1 % ที่เพิ่มขึ้นของสัดส่วนยวดยานที่กลับรถจะทำให้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวเพิ่มขึ้น 0.006 วินาที และเมื่อพิจารณาค่า P-value ของสัดส่วนกลุ่มยวดยานที่กลับรถ (U) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนกลุ่มยวดยานที่กลับรถ (U) ยังคงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัวของรถทุกประเภท นอกจากนั้นจากตาราง ANOVA ในรูปที่ 4.3 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ (Simple Linear Regression) จะเห็นได้ว่าค่า P-value (Sig.) ของสมการ Regression นี้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของ ของกลุ่มยวดยานที่กลับรถ (U) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ด้วยการถดถอยอย่างง่ายมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) จากความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนแบบจำลอง Simple Linear Regression ได้ดังสมการที่ 4.1 ดังนี้

$$\text{Avg. dis. headway} = 2.669 + 0.006\,(U_{\text{all types}}) \qquad (4.1)$$

เมื่อ $U_{\text{all types}}$ คือ สัดส่วนยวดยานที่กลับรถทุกประเภท

Avg. dis. headway คือ ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว (วินาที)

จากสมการความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่ากลุ่มยวดยานที่กลับรถใช้เวลาในการเคลื่อนตัวผ่านทางแยกมากกว่ากลุ่มยวดยานที่เลี้ยวขวาเล็กน้อย และถ้ามีจำนวนยวดยานที่กลับรถเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้เกิดความล่าช้าสะสมในกระแสจราจรเพิ่มขึ้น ทำให้ไม่สามารถใช้เวลาไฟเขียวได้อย่างประสิทธิผล จึงต้องมีการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Equivalent for right turn: ERT) เพื่อเปลี่ยนจำนวนยวดยานที่กลับรถให้เป็นจำนวนยวดยานเลี้ยวขวาและสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบสัญญาณให้เหมาะสมต่อไป

4.3. เวลาห่างรถอิ่มตัว (Saturation headway)

ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวที่ทางแยก (Saturation headway) เป็นค่าเวลาคงที่ของยวดยานขณะเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุดที่ทางแยกในช่วงเวลาไฟเขียว โดยใช้จุดอ้างอิงของยวดยานเดียวกัน ซึ่งพิจารณาในหน่วย คันต่อชั่วโมง และเป็นค่าที่ใช้ประเมินความจุถนน (Capacity) หรือใช้ประเมินระดับการให้บริการของถนนได้ (Level of service)

ในการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Equivalent for right turn: ERT) จะใช้วิธีการเทียบสัดส่วนเวลาห่างรถ (Headway ratio method) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 โดยเทียบสัดส่วนระหว่างเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (Average U turn headway) และเวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวา (Saturation headway) ขณะเคลื่อนตัวออกจากทางแยก

$$ERT=\frac{h_{u,type\ i}}{h_{sat.right\ only}} \tag{4.2}$$

เมื่อ $h_{u,\ type\ i}$ คือ เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของประเภท i (วินาที)

$h_{sat,\ right\ only}$ คือ เวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวา (วินาที)

i คือ ประเภทยวดยาน

ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์หาเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Equivalent for right turn: ERT) การหาตำแหน่งการไหลอิ่มตัวสามารถใช้การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (T-test) โดยทดสอบค่าเฉลี่ยเป็นคู่ๆ เช่น ค่าเฉลี่ยตำแหน่งที่ 1-2, 2-3 เป็นต้น ไปจนถึงคู่สุดท้ายในแถวคอยที่พิจารณา เมื่อผลการทดสอบพบว่าคู่ใดไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ให้นับตำแหน่งที่มาก่อนของคู่นั้นเป็นจุดแรกของการไหลอิ่มตัว ซึ่งสามารถคำนวณค่าเวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวาได้จากสมการที่ 4.3

$$h_{sat,\ right\ only}=\frac{\sum H_i}{N} \tag{4.3}$$

เมื่อ $h_{sat,\ right\ only}$ คือ ค่าเฉลี่ยเวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวา (วินาที)

$\sum H_i$ คือ ผลรวมค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวจากตำแหน่งที่เริ่มอิ่มตัว i (วินาที)

N คือ จำนวนยวดยานในแถวคอยนับจากตำแหน่งที่เริ่มอิ่มตัว (คัน)

i คือ ประเภทยวดยาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในส่วนของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับ (Average U turn headway) ที่ทางแยกสำหรับใช้ในการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4

$$h_{u,\,type\ i} = \frac{\sum H_{u,\,i}}{N} \tag{4.4}$$

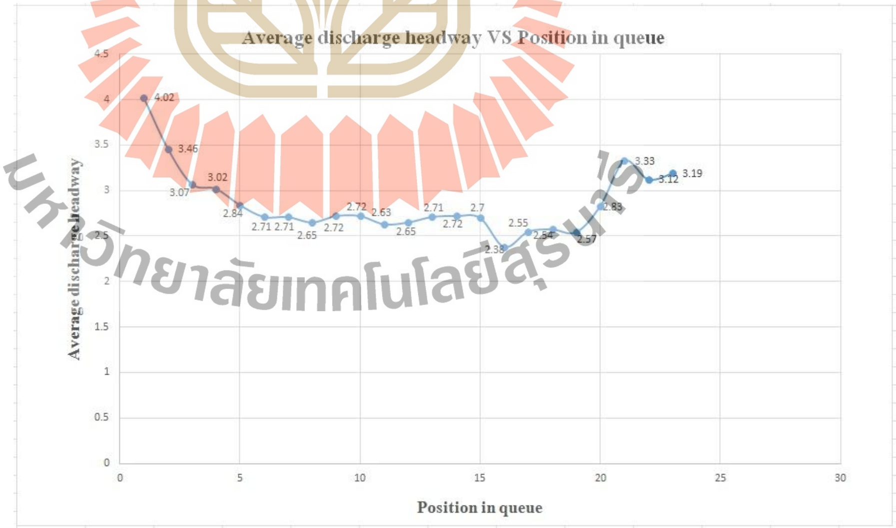
เมื่อ $h_{u,\,type\ i}$ คือ เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของยวดยาน (วินาที)

$\sum H_{u,\,i}$ คือ ผลรวมเวลาห่างรถที่กลับรถของกลุ่มยวดยานประเภท i (วินาที)

N คือ จำนวนยวดยานกลับรถประเภท i (คัน)

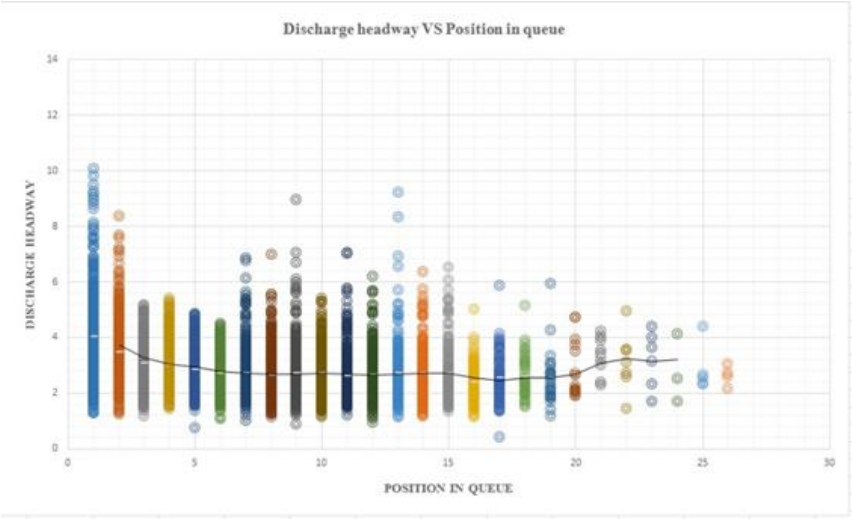
ในการศึกษานี้ได้ทำการแบ่งศึกษาค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ เวลาอิ่มตัวแบบไม่แยกประเภท (Mixed flow right only) เวลาอิ่มตัวกระบะเลี้ยวขวา (Pick up right only) เวลาอิ่มตัวรถเก๋งเลี้ยวขวา (Sedan right only) และเวลาอิ่มตัวรถยนต์นั่งขนาดเล็กเลี้ยวขวา (Eco right only) ซึ่งรายละเอียดแสดงไว้ตามลำดับดังต่อไปนี้

4.3.1 เวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท (Mixed flow right only) สามารถแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท (Mixed flow of right turn)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.8 ค่าเวลาห่างรถเลี้ยวขวาไม่แยกประเภทแบบจุด (Mixed flow of right turn)

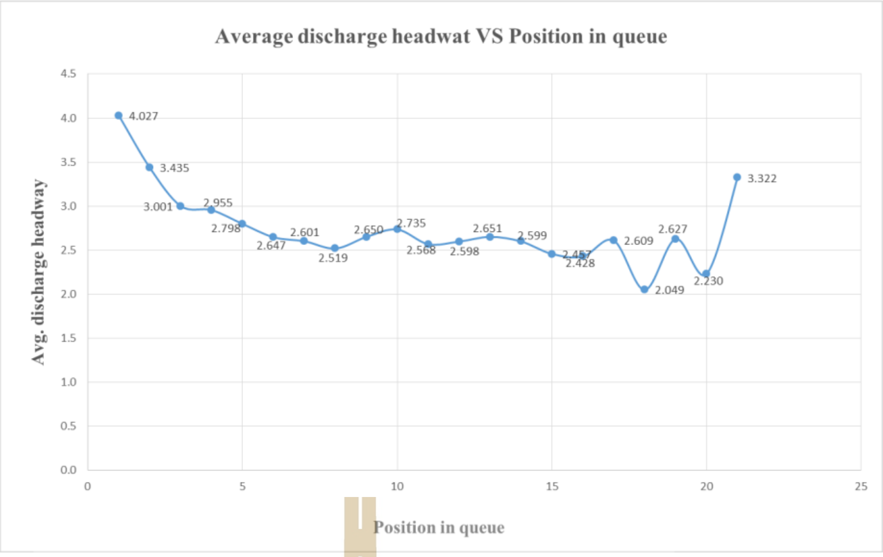
จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยขณะออกตัวที่ทางแยกแบบไม่แยกประเภทพล็อตเทียบกับตำแหน่งในแถวคอย ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมด 538 รอบสัญญาณไฟ จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวขณะออกตัวที่ทางแยกของตำแหน่งที่ 1 - 5 นั้นมีค่าเฉลี่ยที่สูงและลดลงมาตามลำดับเนื่องจากผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัวหรือการรับรู้ตอบสนองของผู้ขับขี่ รวมทั้งผลกระทบจากความล่าช้าจากกลุ่มจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านหน้าแถวคอย วิธีการหาตำแหน่งที่เริ่มเข้าสู่ช่วงอิ่มตัว (Saturation headway) จะใช้การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (T test) เป็นคู่ๆตามลำดับของตำแหน่งในแถวคอย ไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่พิจารณาในแถวคอย จากการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) ได้ผลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบ t test เวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาไม่แยกประเภท (Mixed flow of right turn)

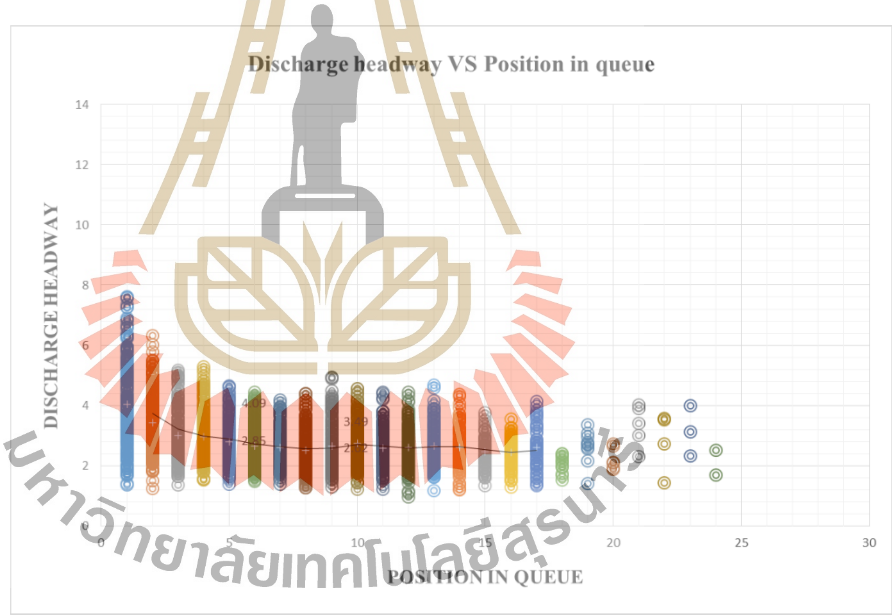
ตำแหน่งที่ i - j	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง j (วินาที)	p - value	ผลการวิเคราะห์
1-2	4.01	3.45	0.000	แตกต่างกัน
2-3	3.45	3.07	0.000	แตกต่างกัน
3-4	3.07	3.02	0.477	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.02	2.84	0.013	แตกต่างกัน
5-6	2.84	2.71	0.026	แตกต่างกัน
6-7	2.62	2.56	0.277	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.56	2.57	0.841	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.57	2.57	0.958	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.57	2.67	0.081	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.67	2.46	0.000	แตกต่างกัน
11-12	2.46	2.55	0.102	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.55	2.54	0.826	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.54	2.54	0.916	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.54	2.46	0.275	ไม่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.10 พบว่าตำแหน่งที่ 6 และ 7 มีค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันไปจนถึงตำแหน่งที่ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นตำแหน่งที่ 6 คือจุดเริ่มต้นของการไหลอิ่มตัว (Saturation headway) ในแถวคอยสำหรับกลุ่มยวดยานเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 16 เป็นต้นไปค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยมีค่าไม่คงที่เนื่องจากจะเป็นกลุ่มรถปลายแถวคอยที่วิ่งเข้ามาเติมทำให้เวลาห่างรถเฉลี่ยมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นสามารถที่จะคำนวณค่าเวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท (Mixed flow of right turn) ขณะที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกในช่วงไฟเขียวจากตำแหน่งที่ 6 – 15 ด้วยสมการที่ 4.3 จึงมีค่าเท่ากับ 2.55 วินาที

4.3.2 ช่วงเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวของรถกระบะกลุ่มที่เลี้ยวขวา (Pick up right only) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของกระบะเลี้ยวขวา (Pick up right turn)



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.10 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของกระบะเลี้ยวขวาแบบจุด (Pick up right turn)

ในรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวเลี้ยวขวาของรถกระบะ (Pick up right turn) กับตำแหน่งในแถวคอย ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมด จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวขณะออกตัวที่ทางแยกของตำแหน่งที่ 1 – 5 นั้นมีค่าเฉลี่ยที่สูงและลดลงมาตามลำดับ เนื่องจากผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัวหรือการรับรู้ตอบสนองของผู้ขับขี่ รวมทั้งความล่าช้าจากกลุ่มจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านหน้าแถวคอยในบางรอบสัญญาณไฟ วิธีการหาตำแหน่งที่เริ่ม

เข้าสู่ช่วงอิ่มตัว (Saturation headway) จะใช้การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) เป็นคู่ๆตามลำดับของตำแหน่งในแถวคอย เช่น ค่าเฉลี่ยตำแหน่งที่ 1 และ 2 เป็นต้น ตามลำดับไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่พิจารณาในแถวคอย จากการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) ได้ผลดังต่อไปนี้

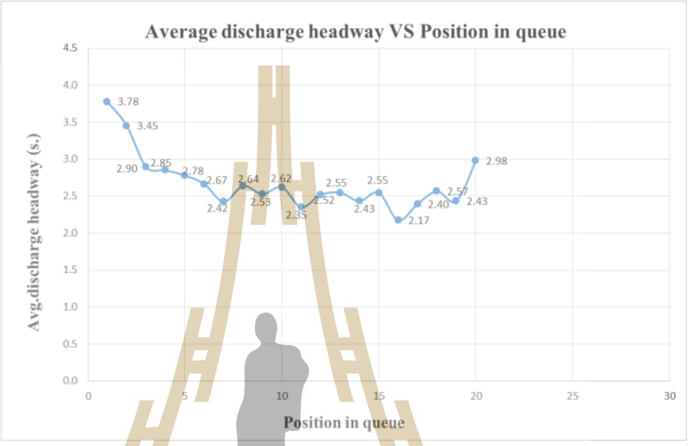
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวรถกระบะ (Pick up) เลี้ยวขวา

ตำแหน่งที่ i - j	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง j (วินาที)	P - value	ผลการวิเคราะห์
1-2	4.03	3.44	0.000	แตกต่างกัน
2-3	3.44	3.00	0.000	แตกต่างกัน
3-4	3.00	2.96	0.555	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.96	2.79	0.047	แตกต่างกัน
5-6	2.79	2.65	0.041	แตกต่างกัน
6-7	2.65	2.60	0.473	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.60	2.52	0.210	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.52	2.65	0.089	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.65	2.74	0.306	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.74	2.57	0.031	แตกต่างกัน
11-12	2.57	2.59	0.705	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.59	2.65	0.531	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.65	2.60	0.584	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.60	2.46	0.178	ไม่แตกต่างกัน
15-16	2.46	2.43	0.765	ไม่แตกต่างกัน
16-17	2.43	2.61	0.122	ไม่แตกต่างกัน
17-18	2.61	2.05	0.000	แตกต่างกัน

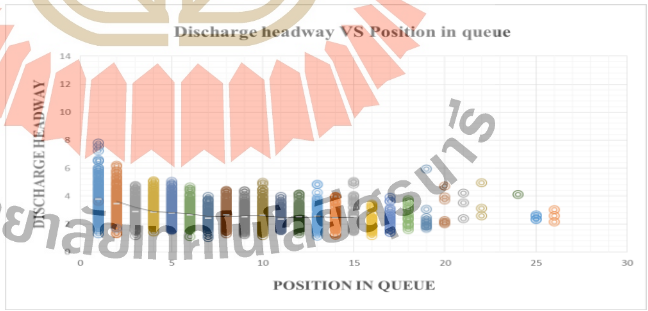
จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 6 และ 7 มีค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันไปจนถึงตำแหน่งที่ 17 เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 18 เป็นต้นไปค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยมีค่าไม่คงที่เนื่องจากจะเป็นกลุ่มรถปลายแถวคอยที่วิ่งเข้ามาเติมทำให้เวลาห่างรถเฉลี่ยมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นจะเริ่มพิจารณาจุดการไหลอิ่มตัวที่ตำแหน่งที่ 6 ไปจนถึงตำแหน่งที่ ดังนั้นใน

การศึกษาในส่วนนี้สามารถที่จะคำนวณค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวของรถกระบะเลี้ยวขวา (Pick up right only) ขณะที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกในช่วงไฟเขียวจากตำแหน่งที่ 6 – 17 ด้วยสมการที่ 4.3 จึงมีค่าเท่ากับ 2.59 วินาที

4.3.3 ช่วงเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของรถเก๋งกลุ่มที่เลี้ยวขวา (Sedan right only) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาที่ทางแยกของรถเก๋ง (Sedan right only)



รูปที่ 4.12 กราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาที่ทางแยกของรถเก๋งแบบจุด

จากกราฟในรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาขณะออกตัวที่ทางแยกของรถเก๋ง (Sedan) พล็อตเทียบกับตำแหน่งในแถวคอย ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมด จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวขณะออกตัวที่ทางแยกของตำแหน่งที่ 1 – 5 นั้นมีค่าเฉลี่ยที่สูงและลดลง

มาตามลำดับเนื่องจากผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัวหรือการรับรู้ตอบสนองของผู้ขับขี่ รวมทั้งความล่าช้าจากกลุ่มจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านหน้าแถวคอยในบางรอบสัญญาณไฟ วิธีการหาตำแหน่งที่เริ่มเข้าสู่ช่วงอิ่มตัว (Saturation headway) จะใช้การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) เป็นคู่ๆตามลำดับของตำแหน่งในแถวคอย เช่น ค่าเฉลี่ยตำแหน่งที่ 1 และ 2 เป็นต้น ไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่พิจารณาในแถวคอย จากการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของรถเก๋ง (Sedan) เลี้ยวขวา

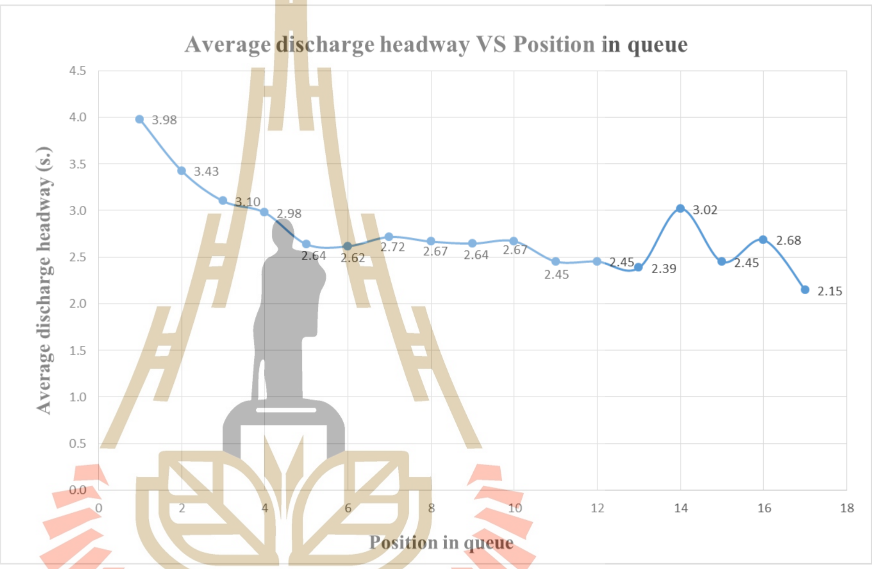
ตำแหน่งที่ i - j	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง j (วินาที)	P - value	ผลการวิเคราะห์
1-2	3.78	3.45	0.02	แตกต่างกัน
2-3	3.45	2.90	0.000	แตกต่างกัน
3-4	2.90	2.85	0.624	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.85	2.78	0.452	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.78	2.67	0.212	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.67	2.42	0.003	แตกต่างกัน
7-8	2.42	2.64	0.011	แตกต่างกัน
8-9	2.64	2.53	0.234	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.53	2.62	0.333	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.62	2.35	0.003	แตกต่างกัน
11-12	2.35	2.52	0.037	แตกต่างกัน
12-13	2.52	2.55	0.790	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.55	2.43	0.356	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.43	2.55	0.427	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

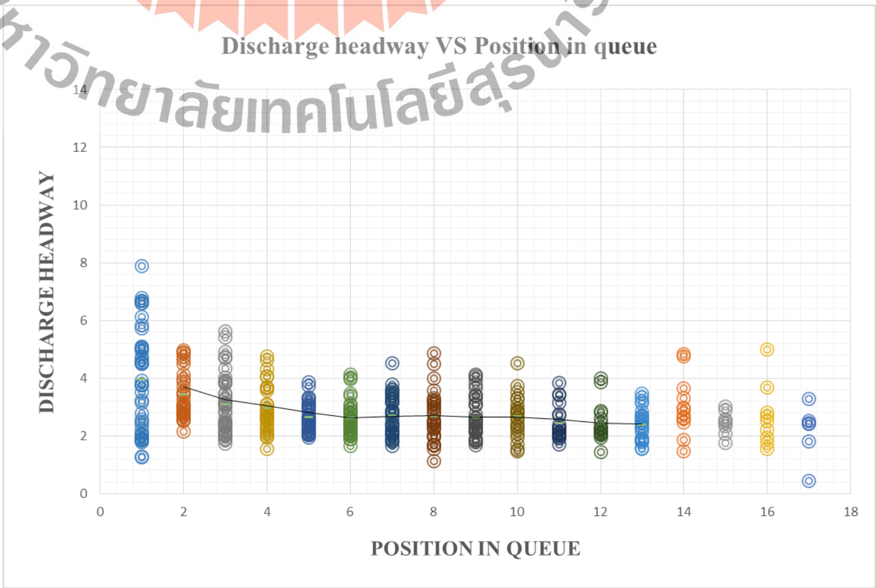
จากผลการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) ในตารางที่ 4.12 พบว่าไม่สามารถบอกจุดที่เริ่มอิ่มตัวได้อย่างชัดเจน เนื่องจากชุดข้อมูลค่าเฉลี่ยได้ตัดข้อมูลที่ผิดปกติหรือข้อมูลที่แยกออกจากกลุ่ม (Outlier) จึงอาจส่งผลต่อการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 6 ไปจนถึงตำแหน่งที่ 15 เป็นช่วงที่ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยแปรผันน้อยที่สุดค่อนข้างที่จะเกาะกลุ่มกัน เมื่อเทียบกับช่วงต้น

แถวคอย (ตำแหน่งที่ 1 - 5) และช่วงตำแหน่งท้ายของแถวคอย (ตำแหน่งที่ 16 - 20) นอกจากนั้นเมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าเส้นแนวโน้มค่าเฉลี่ยเริ่มคงที่ที่ตำแหน่งที่ 6-15 ดังนั้นในการคำนวณค่าเวลาห่างรถอิ่มตัว (Saturation headway) จะพิจารณาเริ่มที่ตำแหน่งที่ 6 ถึงตำแหน่งที่ 15 ในแถวคอย จากสมการที่ 4.3 สามารถคำนวณค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัว (Saturation headway) ของรถเก๋ง (Sedan) ในกลุ่มที่เลี้ยวขวาซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.53 วินาที

4.3.4 ช่วงเวลาห่างรถเฉลี่ยที่ทางแยกของรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco right only) ของกลุ่มที่เลี้ยวขวาสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car)



รูปที่ 4.14 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของรถยนต์นั่งขนาดเล็กแบบจุด (Eco car)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากกราฟในรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยขณะออกตัวที่ทางแยกของรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car) พล็อตเทียบกับตำแหน่งในแถวคอย ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมดที่ทำการตัดค่าที่ผิดปกติหรือค่าที่ออกจากกลุ่ม (Outlier) จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวขณะออกตัวที่ทางแยกของตำแหน่งที่ 1 – 4 นั้นมีค่าเฉลี่ยที่สูงและลดลงมาตามลำดับเนื่องจากผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัวหรือการรับรู้ตอบสนองของผู้ขับขี่ รวมทั้งความล่าช้าจากกลุ่มจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านหน้าแถวคอยในบางรอบสัญญาณไฟ วิธีการหาตำแหน่งที่เริ่มเข้าสู่ช่วงอิ่มตัว (Saturation headway) จะใช้การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) เป็นคู่ๆตามลำดับของตำแหน่งในแถวคอย เช่น ค่าเฉลี่ยตำแหน่งที่ 1 และ 2 เป็นต้น ไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่พิจารณาในแถวคอย จากการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (T test) ได้ผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบ t test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของรถยนต์นั่งขนาดเล็กเลี้ยวขวา (Eco car)

ตำแหน่งที่ i - j	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง j (วินาที)	P - value	ผลการวิเคราะห์
1-2	3.98	3.43	0.145	ไม่แตกต่างกัน
2-3	3.43	3.10	0.166	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.10	2.98	0.599	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.98	2.64	0.063	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.64	2.62	0.869	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.62	2.72	0.52	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.72	2.67	0.794	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.67	2.64	0.912	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.64	2.67	0.897	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.67	2.45	0.323	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.45	2.45	0.999	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.45	2.39	0.732	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.39	3.02	0.019	แตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม (t test) ของรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car) พบว่ามีค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 13 ซึ่งผลการทดสอบนี้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง เนื่องมาจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จำนวนตัวอย่างข้อมูลรถยนต์นั่งขนาดเล็กที่เก็บมามีจำนวนน้อย เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 4 มีค่าที่สูงเนื่องจากผลกระทบจากเวลาสูญเสียจากการออกตัวและความล่าช้าจากกลุ่มจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านหน้าแถวคอย ดังนั้นตำแหน่งที่ 1, 2, 3, และ 4 จะไม่ถูกนำมาพิจารณาการไหลอิ่มตัว โดยจะเริ่มพิจารณาจุดการไหลอิ่มตัวในช่วงตำแหน่งที่ 5 ถึงตำแหน่งที่ 13 ในแถวคอยเพราะมีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างจับกลุ่มคงที่ ในส่วนของตำแหน่งที่ 14 ถึงตำแหน่งที่ 17 ค่าเฉลี่ยไม่คงที่เนื่องจากเป็นกลุ่มรถปลายแถวคอยที่วิ่งเข้ามาเติมทำให้มีช่วงห่างมากน้อยแตกต่างกันออกไป นอกจากนั้นเมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าเส้นแนวโน้มค่าเฉลี่ยจะเริ่มคงที่ที่ตำแหน่งที่ 5-13 ในแถวคอย จากสมการที่ 4.3 สามารถคำนวณค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัว (Saturation headway) ของรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car) ในกลุ่มที่เลี้ยวขวาซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.58 วินาที

จากการคำนวณค่าเวลาห่างรถในช่วงอิ่มตัวเลี้ยวขวา (Saturation headway of Right turn) ขณะที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกในช่วงเวลาไฟเขียวของยวดยานทั้งสี่กลุ่ม ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวา

ประเภท	เวลาอิ่มตัวเลี้ยวขวา (วินาที)
แบบไม่แยกประเภท	2.55
รถกระบะ	2.59
รถเก๋ง	2.53
รถยนต์นั่งขนาดเล็ก	2.58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาของรถกระบะมีค่าสูงที่สุดเนื่องจากกระบะมีช่วงตัวรถที่ยาว (4.6 – 5 เมตร) รวมทั้งมีขนาดใหญ่ส่งผลให้ต้องเคลื่อนตัวออกจากทางแยกด้วยความระวัดระวัง ในส่วนของค่าเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวของรถเก๋งพบว่ามีค่าน้อยว่ารถยนต์นั่งขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะเป็นเพราะพฤติกรรมการขับขี่ที่แตกต่างกันขณะเคลื่อนตัวเลี้ยวขวาโดยเฉพาะรถเก๋งจะพยายามรักษาระยะห่างระหว่างยวดยานที่นำหน้าไว้น้อยกว่ารถยนต์นั่งขนาดเล็ก นอกจากนั้นอาจเป็นไปได้ที่โดยส่วนใหญ่แล้ว ผู้ขับขี่รถยนต์นั่งขนาดเล็กจะเป็นผู้หญิง ซึ่งเป็นเพศที่มักจะให้ความสำคัญกับความปลอดภัยขณะขับวิ่งตามคันหน้า จึงต้องรักษาระยะห่างไว้มากกว่ากลุ่มรถเก๋ง จึงทำให้ค่าเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาสูงกว่ารถเก๋งเล็กน้อย

4.3.4 ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ

ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ คือ ค่าเวลาเฉลี่ยของยวดยานที่เคลื่อนตัวผ่านทางแยกในช่วงเวลาไฟเขียวเพื่อเลี้ยวกลับรถ ในการศึกษานี้จะพิจารณาค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ 4 กลุ่ม ได้แก่ กลับรถแบบไม่แยกประเภท (Mixed U-turn) รถกระบะ (Pick up U-turn) รถเก๋ง (Sedan U-turn) และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car U-turn) เพื่อตรวจสอบค่าเทียบเท่าที่ได้จากแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันหรือสามารถนำไปใช้แทนกันได้ และเนื่องจากยวดยานทั้งสามประเภทนี้มีรัศมีวงเลี้ยวที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้เวลาที่ใช้กลับรถเพื่อผ่านทางแยกไปนั้นแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถของทั้ง 4 กลุ่มนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4 ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถ 4 กลุ่ม

กลุ่ม	ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (วินาที)
ไม่แยกประเภท	3.30
รถกระบะ	3.42
รถเก๋ง	3.20
รถยนต์นั่งขนาดเล็ก	3.28

4.4. ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Equivalent for right turning)

เมื่อได้สัญญาณไฟเขียวสำหรับเฟสเลี้ยวขวา ยวดยานในแถวคอยบนช่องจราจรรอเลี้ยวจะเริ่มเคลื่อนตัวออกจากทางแยก ขณะเดียวกันยวดยานที่ต้องการกลับรถก็ผสมอยู่ในกระแสจราจรด้วยเช่นกัน จึงทำให้เกิดความล่าช้าสะสมขึ้นในแถวคอยหรือบนช่องจราจรเดียวกัน ส่งผลให้ยวดยานที่ต้องการเลี้ยวขวาต้องชะลอและใช้เวลาผ่านทางแยกมากขึ้นกว่าปกติ เมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟเขียวอาจมียวดยานตกค้างบนช่องจราจรรอเลี้ยวที่ไม่สามารถผ่านทางแยกไปได้ ดังนั้นในการพิจารณาปริมาณจราจรกรณีออกแบบสัญญาณไฟเฟสเลี้ยวขวาเฉพาะ จำเป็นต้องแปลงยวดยานที่กลับรถให้เทียบเท่าจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา

ในส่วนของการคำนวณ รถเลี้ยวขวาบนช่องจราจรเลี้ยวขวาเฉพาะ จะใช้วิธีการเทียบสัดส่วนเวลาห่างรถ โดยเทียบสัดส่วนเวลาห่างระหว่าง เวลาห่างเฉลี่ยกลับรถและเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาเพื่อสะท้อนจากกลุ่มยวดยานที่กลับรถว่าเป็นกี่เท่าของกลุ่มยวดยานที่เลี้ยวขวา ในหัวข้อนี้จะแบ่งการพิจารณาเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถออกเป็น 4 กลุ่มคือ แบบไม่แยกประเภท รถกระบะ รถเก๋ง และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก และในส่วนของเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวา จะพิจาณา

เพียง 2 กรณีคือ เวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท และเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา สาเหตุที่พิจารณาเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาเพียง 2 กรณีนี้ เนื่องจากต้องการให้ได้หน่วยยวดยานหลังจากการแปลงด้วยค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาให้อยู่ในหน่วยรถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Car Unit: PCU) เพื่อให้สอดคล้องเช่นเดียวกับกรณีศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลบนช่องจราจรวิ่งตรง รวมทั้งกรณีเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภทที่ประกอบไปด้วย รถกระบะ รถเก๋ง และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก ซึ่งสามารถมองเป็นรถยนต์ส่วนบุคคลได้ (Sarraj, 2014) ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการเทียบสัดส่วนเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาของทั้ง 2 กรณีดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาที่ได้ว่ามีความแตกต่างหรือใกล้เคียงกัน จากข้อมูลในตารางที่ 4.14 และ 4.15สามารถคำนวณค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาได้จากสมการที่ 4.2 ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.16 และ 4.17

ตารางที่ 4.16 ค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาจากการเทียบเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท

ประเภท	เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (Avg. headway of U turning) (วินาที)	เวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวาไม่แยกประเภท (Mixed flow right only) (วินาที)	ค่าเทียบเท่าเลี้ยวขวา (ERT)
ไม่แยกประเภท	3.30	2.55	1.29
รถกระบะ	3.42	2.55	1.34
รถเก๋ง	3.20	2.55	1.25
รถยนต์ขนาดเล็ก	3.28	2.55	1.28

ตารางที่ 4.17 ค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาจากการเทียบกับเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา

ประเภท	เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (Avg. headway of U turning) (วินาที)	เวลาอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Sedan right only) (วินาที)	ค่าเทียบเท่าเลี้ยวขวา (ERT)
ไม่แยกประเภท	3.30	2.53	1.30
รถกระบะ	3.42	2.53	1.35
รถเก๋ง	3.20	2.53	1.26
รถยนต์ขนาดเล็ก	3.28	2.53	1.29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.16 และ 4.17 จะเห็นได้ว่าค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวา (ERT) ที่ได้จากการเทียบเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาจาก 2 กรณีมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากพฤติกรรมการเลี้ยวขวาของยวดยานกรณีไม่แยกประเภทและกรณีรถยนต์ส่วนบุคคลนั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับรัศมีวงเลี้ยวแต่อย่างใด และขณะเคลื่อนตัวออกจากทางแยกทั้ง 2 กรณีนี้จะใช้ความเร็วเคลื่อนตัวที่ค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้ค่าเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภทและรถยนต์ส่วนบุคคลไม่แตกต่างกันมาก

จากผลการศึกษาค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาที่ได้ ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบที่มาจากขนาดที่แตกต่างกันของรถยนต์ส่วนบุคคลทั้ง 3 ประเภทของกลุ่มที่กลับรถ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความล่าในแถวคอยที่มีต่อกลุ่มยวดยานที่ต้องการเลี้ยวขวาบนช่องจราจรรอเลี้ยวเดียวกัน รวมถึงอาจส่งผลให้ค่าความจุของช่องจราจรลดลงด้วยขณะที่สัดส่วนกลับรถสูงขึ้น ดังนั้นค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาที่ได้แสดงในตารางที่ 4.16 และ 4.17 ของการศึกษานี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น เพศ อายุ ความเร็วขณะกลับรถและเลี้ยวขวาเป็นต้น ที่อาจส่งผลต่อพฤติกรรมการขับขี่ที่แตกต่างกันบนช่องจราจรรอเลี้ยวขวา ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันว่ายวดยานแต่ละประเภทมีพฤติกรรมการขับขี่อย่างไร รวมถึงควรมีการเก็บข้อมูลศึกษาทางแยกที่มีลักษณะเดียวกันให้มากขึ้น เพื่อตรวจสอบผลที่ได้ว่ามีความแตกต่างหรือเหมือนกันหรือไม่ อย่างไรต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Equivalent for right turning: ERT) ที่ทางแยกสัญญาณไฟในเขตเมืองนครราชสีมา โดยเก็บข้อมูล 5 วัน (จันทร์ – ศุกร์) เวลา 10.00 – 15.00 รวมทั้งสิ้น 538 รอบสัญญาณไฟ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาเป็นค่าที่ใช้แปลงยวดยานที่กลับรถบริเวณทางแยกให้เทียบเท่าเป็นจำนวนยวดยานเลี้ยวขวา โดยได้จากวิธีการเทียบสัดส่วนค่าเวลาห่างรถจากการออกตัว ซึ่งผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีต่อค่าเวลาห่างรถออกตัวที่ทางแยกในการศึกษานี้ได้ถูกตรวจสอบ ดังนั้นในการศึกษาหาค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลกระทบของตำแหน่งในแถวคอยที่มีต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว

จากการศึกษาผลกระทบของตำแหน่งต่างๆ ในแถวคอยที่ มีต่อระยะเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว ของกลุ่มยวดยานที่กลับรถ และเลี้ยวขวาของ รถกระบะ รถเก๋ง และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก พบว่าตำแหน่งต่างๆในแถวคอยไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัวของยวดยานทั้งสองกลุ่ม เนื่องจากขณะที่ยวดยานเคลื่อนตัวผ่านทางแยกในช่วงเวลาไฟเขียวไปนั้นจะต้องชะลอความเร็วลงให้ใกล้เคียงกันเมื่อเข้าใกล้เส้นหยุดเพื่อเลี้ยวผ่านทางแยกไปได้อย่างปลอดภัย มีเพียงแต่ค่าเวลาสูญเสียจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นเวลาไฟเขียวและความล่าช้าที่เกิดจากกลุ่มจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านหน้าของแถวคอยที่ทำให้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัวมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value 0.000)

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนกลับรถและค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนยวดยานที่กลับรถกับเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว ของยวดยานทุกประเภทบนช่องจราจรรอเลี้ยวขวา พบว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าพยากรณ์ (R^2) เท่ากับ 0.0081 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองยังคงมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันหรือมีความสัมพันธ์เชิงเส้น และพบว่า สัมประสิทธิ์ของสัดส่วนยวดยานที่กลับรถ

เท่ากับ 0.006 สามารถเขียนแบบจำลองความสัมพันธ์ เชิงเส้นระหว่างสัดส่วนยวดยานที่กลับรถกับเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัวได้ดังสมการที่ 5.1

$$Avg.dis.he\ adway_i = 2.669 + 0.006\ (U_{all\ types}) \tag{5.1}$$

เมื่อ Avg.di.he $adway_i$ คือ ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว (วินาที)

$U_{all\ types}$ คือ สัดส่วนยวดยานที่กลับรถทุกประเภท

จากแบบจำลองสามารถอธิบายได้ว่า ถ้าสัดส่วนกลับรถของยวดยานทุกประเภทเพิ่มขึ้นทุกๆ ร้อยละ 1 จะทำให้ค่าเวลาห่างรถออกตัวเพิ่มขึ้น 0.006 วินาที นอกจากนั้นได้ทำการทดสอบสมมติฐาน (Two – tail test) เพื่อตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ของสัดส่วนยวดยานที่กลับรถทั้งสามประเภทมีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ พบว่าสัมประสิทธิ์ของสัดส่วนยวดยานที่กลับรถทั้งสามประเภทมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value 0.000) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สัดส่วนยวดยานที่กลับรถทั้งสามประเภท เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.1.3 เวลาห่างเฉลี่ยรถอิ่มตัวเลี้ยวขวาและเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถ

ในหัวข้อนี้ทำการ ศึกษาเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาและเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถ ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มของยวดยานคือ แบบไม่แยกประเภท รถกระบะ รถเก๋ง และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก ได้แสดงผลดังตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 ผลเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาของยวดยานทั้ง 4 กลุ่ม

กลุ่ม	ตำแหน่งอิ่มตัวในแถวคอย	เวลาอิ่มตัว (วินาที)
ไม่แยกประเภท	6 – 15	2.55
กระบะ	6 – 17	2.59
รถเก๋ง	6 – 15	2.53
รถยนต์นั่งขนาดเล็ก	5 - 13	2.58

ตารางที่ 5.2 ผลเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถของยวดยานทั้ง 4 กลุ่ม

กลุ่ม	ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (วินาที)
ไม่แยกประเภท	3.30
รถกระบะ	3.42
รถเก๋ง	3.20
รถยนต์นั่งขนาดเล็ก	3.28

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาและค่าเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถของรถกระบะจะมีค่าสูงที่สุด เนื่องมาจากรถกระบะมีช่วงความยาวตัวรถยาวที่สุดเมื่อเทียบขนาดกับรถเก๋งและรถยนต์นั่งขนาดเล็ก ขณะที่เวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาของรถยนต์นั่งขนาดเล็กมีค่าสูงว่ารถเก๋งเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่ของรถยนต์นั่งขนาดเล็กเป็นผู้สูงอายุหรือเป็นเพศหญิง ซึ่งขณะขับขี่มักจะรักษาระยะห่างระหว่างคันที่วิ่งนำหน้าไว้พอสมควรเพื่อความปลอดภัยและป้องกันการชนท้าย จึงทำให้ค่าเวลาห่างเฉลี่ยเลี้ยวขวาและเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถสูงกว่ารถเก๋งเล็กน้อย

5.1.4 ค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวา

การแปลงยวดยานที่สนใจในกระแสจราจรด้วยค่าเทียบเท่า จะต้องแปลงให้อยู่ในหน่วยมาตรฐานคือ รถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Car Unit: PCU) ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการแปลงยวดยานที่กลับรถให้เทียบเท่าเป็นจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวาด้วยค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวา เพื่อให้สามารถเทียบเท่าเป็นจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา และสะท้อนจากสภาพจราจรเดียวกันที่ประกอบด้วยยวดยานทั้งหมดเพียงสามประเภท จึงเลือกพิจารณาเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาเพียง 2 กรณีคือ เวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา และเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 โดยมีค่าเท่ากับ 2.53 และ 2.55 ตามลำดับ

ในการศึกษาค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวานี้ ใช้ วิธีการเทียบสัดส่วน ระหว่าง เวลาห่างเฉลี่ยกลับรถและเวลาห่างเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวา ซึ่งในส่วนของเวลาห่างเฉลี่ยกลับรถได้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ แบบไม่แยกประเภท รถกระบะ รถเก๋ง และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก ซึ่งได้แสดงดไว้ในตารางที่ 5.2 ดังนั้นค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาจากการศึกษาได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.3 ผลจากการเทียบเวลาอิ่มตัวแบบไม่แยกประเภท (Mixed flow right only)

ประเภท	เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (Avg. headway of U turning) (วินาที)	เวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวาไม่แยกประเภท (Mixed flow right only) (วินาที)	ค่าเทียบเท่าเลี้ยวขวา (ERT)
ไม่แยกประเภท	3.3	2.55	1.29
รถกระบะ	3.42	2.55	1.34
รถเก๋ง	3.20	2.55	1.25
รถยนต์ขนาดเล็ก	3.28	2.55	1.28

ตารางที่ 5.4 ผลจากการเทียบเวลาอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Sedan right only)

ประเภท	เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (Avg. headway of U turning) (วินาที)	เวลาอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Sedan right only) (วินาที)	ค่าเทียบเท่าเลี้ยวขวา (ERT)
ไม่แยกประเภท	3.30	2.53	1.30
รถกระบะ	3.42	2.53	1.35
รถเก๋ง	3.20	2.53	1.26
รถยนต์ขนาดเล็ก	3.28	2.53	1.29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวานี้ยังมีเป็นเพียงการศึกษาเริ่มต้นที่พิจารณาผลกระทบจากขนาดรถยนต์ส่วนบุคคลแต่ละประเภท บนช่องจราจรรอเลี้ยวขวา และยังคงมีข้อจำกัดที่ทำให้ค่าเทียบเท่ารถเลี้ยวขวาที่ได้จากการศึกษายังไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการขับขี่ของยวดยานทั้งสามประเภท เช่น เพศ อายุ ความเร็วยวดยานขณะเลี้ยวขวา ความเร็วยวดยานขณะกลับรถ เป็นต้น นอกจากนั้นควรเก็บข้อมูลหลายๆ ทางแยกในลักษณะเดียวกันด้วย เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือแตกต่างกัน รวมทั้งควรศึกษาหรือเก็บข้อมูลในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้าและตอนเย็นเพิ่มเติม ซึ่งเป็นไปได้ว่าพฤติกรรมการขับขี่หรือเวลาห่างยวดยานอาจเปลี่ยนแปลงไปตามความหนาแน่นของกระแสจราจรได้

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า เวลาห่างเฉลี่ยออกตัวกลับรถหรือเลี้ยวขวาของรถยนต์นั่งขนาดเล็กมีค่าสูงกว่ารถเก๋งเล็กน้อย ซึ่งในความเป็นจริงแล้วควรจะมีค่าน้อยกว่ารถเก๋ง เนื่องมาจากช่วงความยาวรถที่แตกต่างกัน ดังนั้นก็เป็นไปได้ที่ปัจจัย เพศ อายุ อาจส่งผลต่อพฤติกรรมของผู้ขับขี่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

สุนาริน จันทะ . (2545). **การศึกษาช่วงห่างระหว่างรถบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร.** สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ . กรุงเทพมหานคร , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: 117.

วินัย รักสุนทร. (2547). **ค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวและอัตราการไหลที่จุดอิ่มตัวของจักรยานยนต์สำหรับทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร.** Paper presented at the การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (TRP24).

บวรรัตน์ ศรีจันทร์. (2556). **การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลบริเวณทางแยก.** (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต) , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิรัช หิรัญ. (2543). **ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกและรถโดยสารบนทางหลวงหลายช่องจราจรในประเทศไทย.** (วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Adnan, M. (2014). **Passenger Car Equivalent Factors in Heterogenous Traffic Environment-are We Using the Right Numbers? Procedia Engineering**, 77, 106-113. doi: 10.1016/j.proeng.2014.07.004

Agent, K.R. and Crabtree, J.D. (1982). **Analysis of saturation flow at signalized intersections**. University of Kentucky.

Chen, P., Nakamura, H., and Asano, M. (2011). **Saturation Flow Rate Analysis for Shared Left-turn Lane at ignalized Intersections in Japan. Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 16, 548-559. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.04.475

Cruz-Casas, C. O. (2007). **Development of pasenger car equivalency values for trucks at signalized intersections**. (MASTER OF ENGINEERING), UNIVERSITY OF FLORIDA.

Jumsan, K., Zunhwan, H., and Sungmo, R. (2005). **Vehicle passing behavior through the stop line of signalized intersection.** Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 1509 - 1517.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Rahman, M., Okura, I., and Nakamura, F. (2003). **Measuring passenger car equivalents (PCE) for large vehicles at signalized intersections.** Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS), 5, 1223-1233.

SARVI, M. and Ejtemai, O. (2011). **Exploring heavy vehicles car-following behaviour.** Paper presented at the Australasian Transport Research Forum, Adelaide, Australia

Saha, P., Hossain, Q.S., Mahmud, H.M.I., and Islam, Z. (2009). **Passenger car equivalent (PCE) of through vehicles at signalized intersections in Dhaka Metropolitan city, Bangladesh**

International Association of Traffic and Safety Sciences, 33(2), 99-104.

Benekohal, R.F. and Zhao, W. (2000). **Delay based passenger car equivalents for trucks at signalized intersections.** Transportation research Part A, 34, 437-457.

Shang, H., Zhang, Y., and Fan, L. (2014). **Heterogeneous Lanes' Saturation Flow Rates at Signalized Intersections. Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 138, 3-10. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.07.175

Sun, H., Yang, J., Wang, L., Li, L., and Wu, B. (2013). **Saturation Flow Rate and Start-up Lost Time of Dual-left Lanes at Signalized Intersection in Rainy Weather Condition**. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 96, 270-279. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.08.034

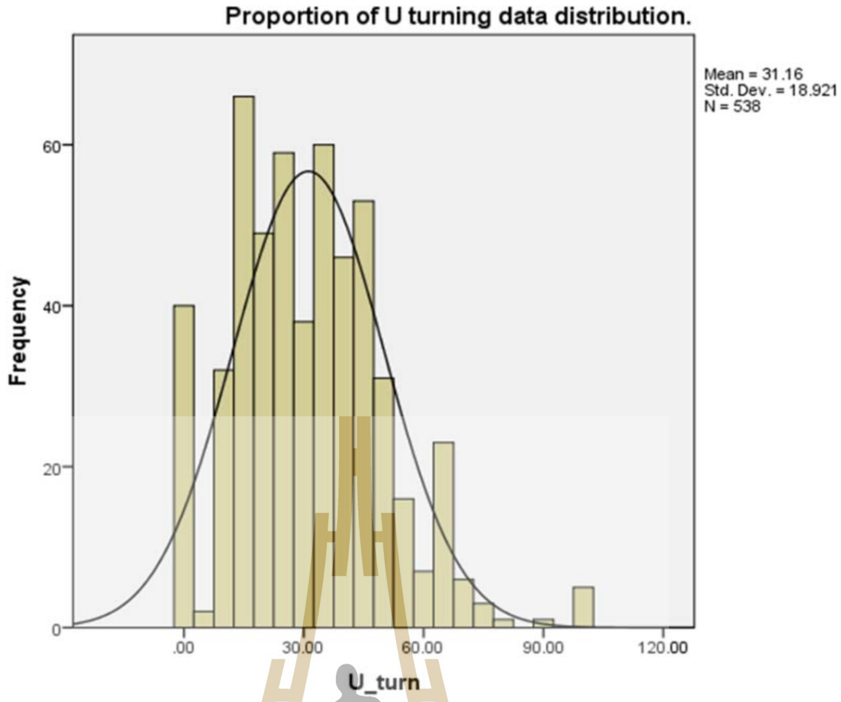
Limanonda, T., Chookerd, S., and Roubtonglang, N. (2009). **Effects of countdown timers on queue discharge characteristics of through movement at a signalized intersection.** Transportation Research Part C, 17, 662–671. doi: 10.1016/j.trc.2009.05.005

Wang, X. (2008). **Effects of U-turns on capacity at signalized intersections and simulation of U-turning movement by synchro.** University of South Florida.

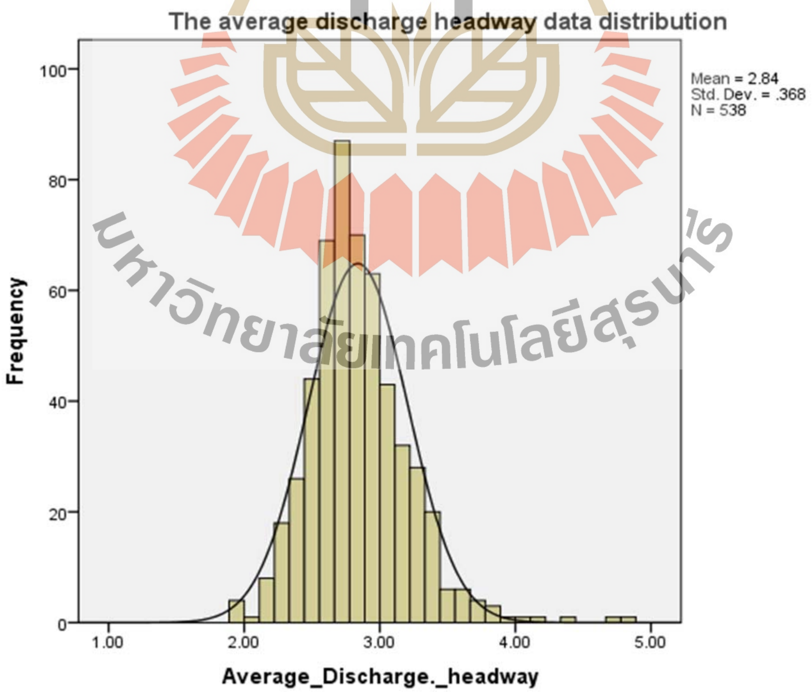
Sarraj, Y.R. (2014). **Passenger car equivalents at signalized intersections for heavy and medium trucks and animal driven carts in Gaza, Palestine.** International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 4(2).

ภาคผนวก ก

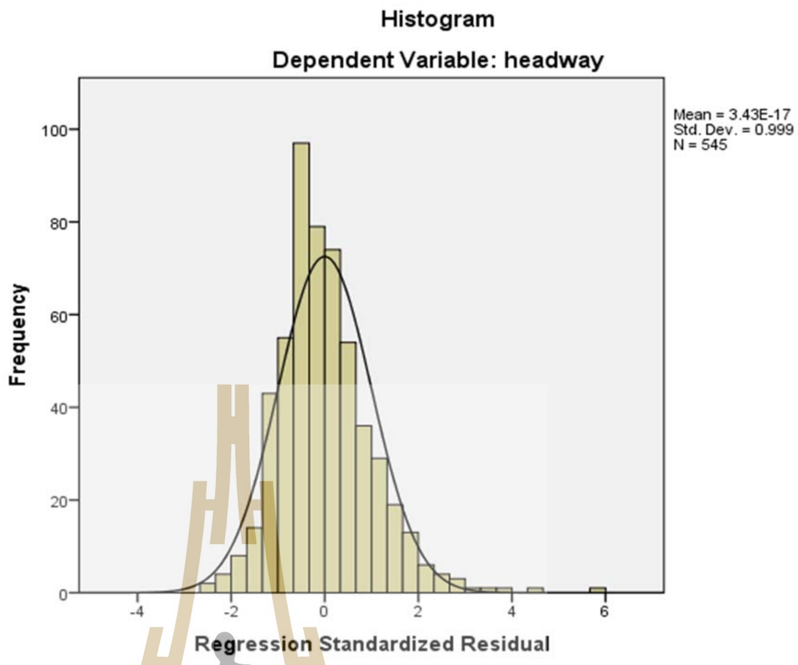
กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลและกราฟ
ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งในแถวคอยและเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัว



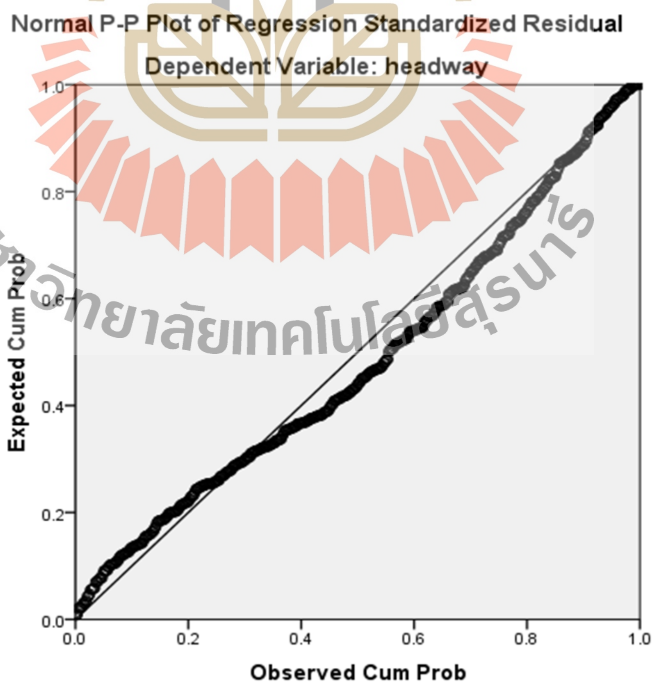
รูปที่ ก.1 การกระจายตัวของสัดส่วนยวดยานที่กลับรถ



รูปที่ ก.2 การกระจายตัวของเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัวยวดยานทุกประเภท

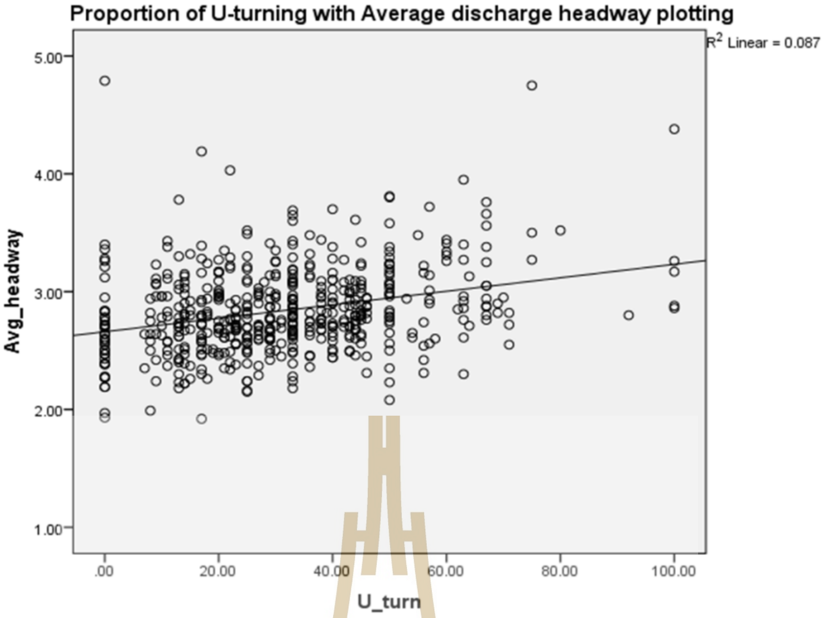


รูปที่ ก.3 การกระจายตัวของ Regression Standardized Residual

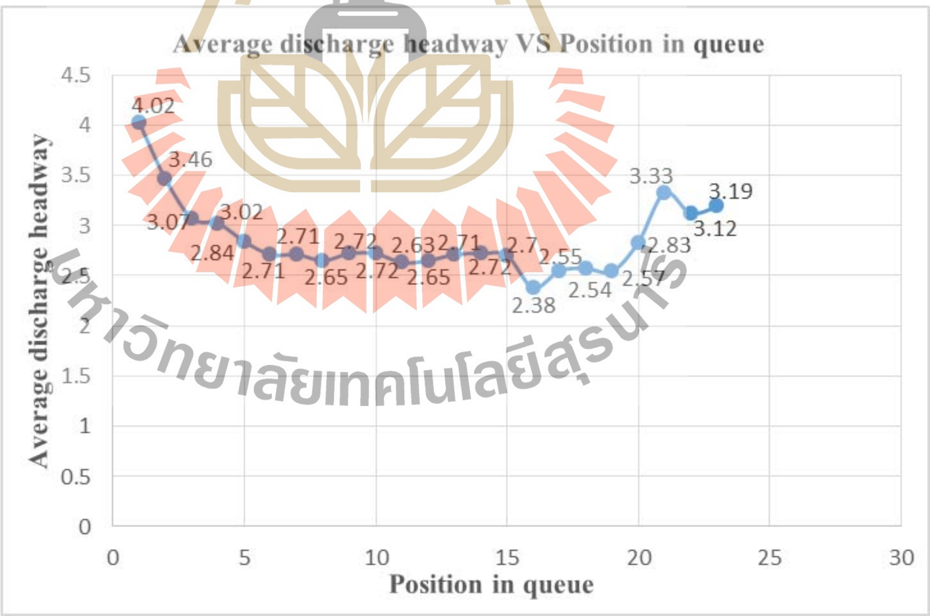


รูปที่ ก.4 กราฟแสดง Normal P-P plot

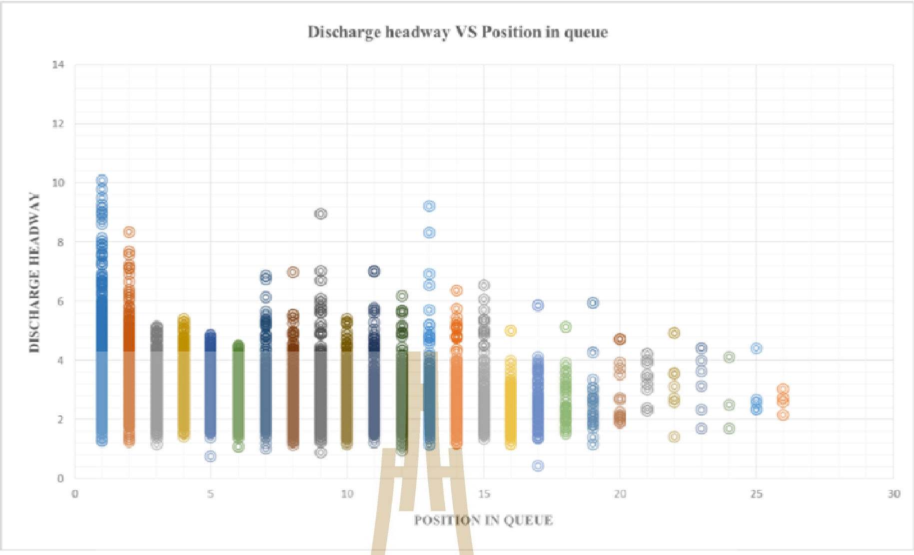
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



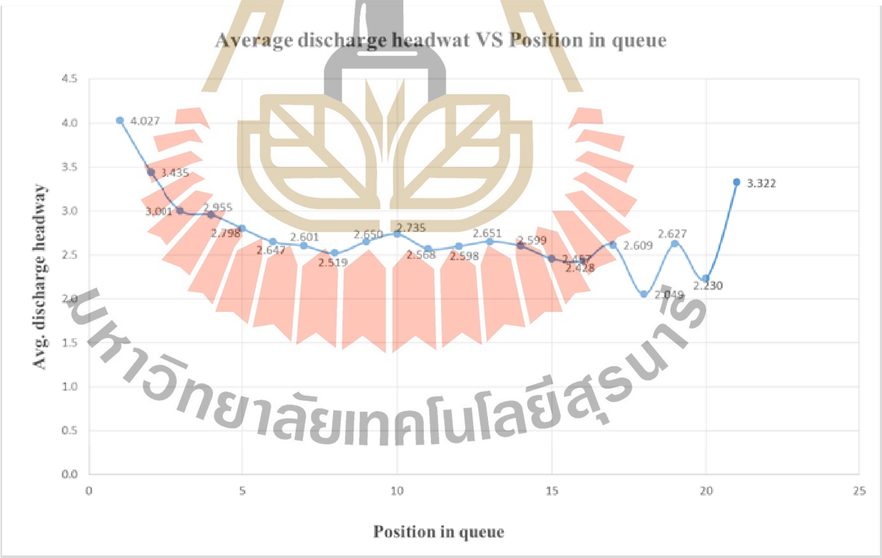
รูปที่ ก.5 กราฟความสัมพันธ์สัดส่วนการกลับรถและเวลาห่างรถเฉลี่ยจากการออกตัว



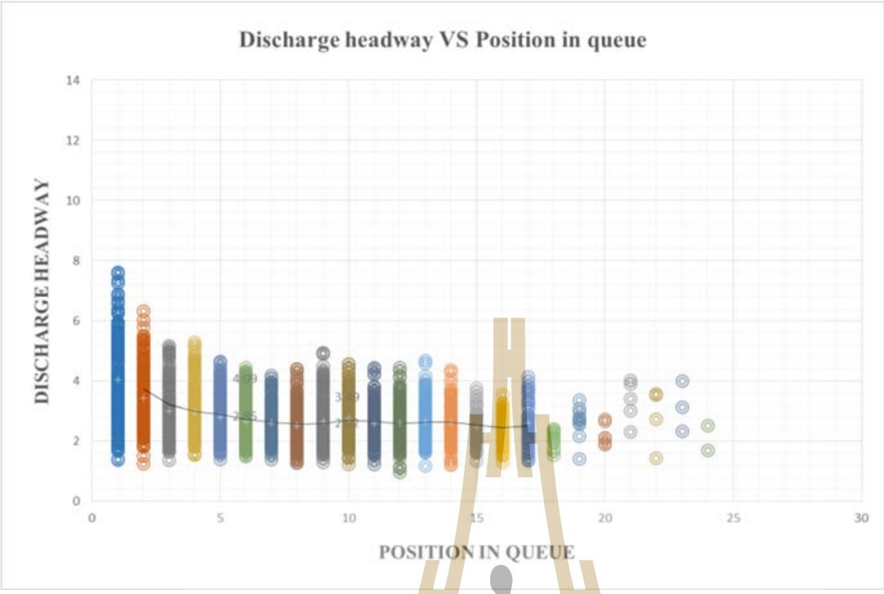
รูปที่ ก.6 แสดงกราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท (Mixed flow of right turn)



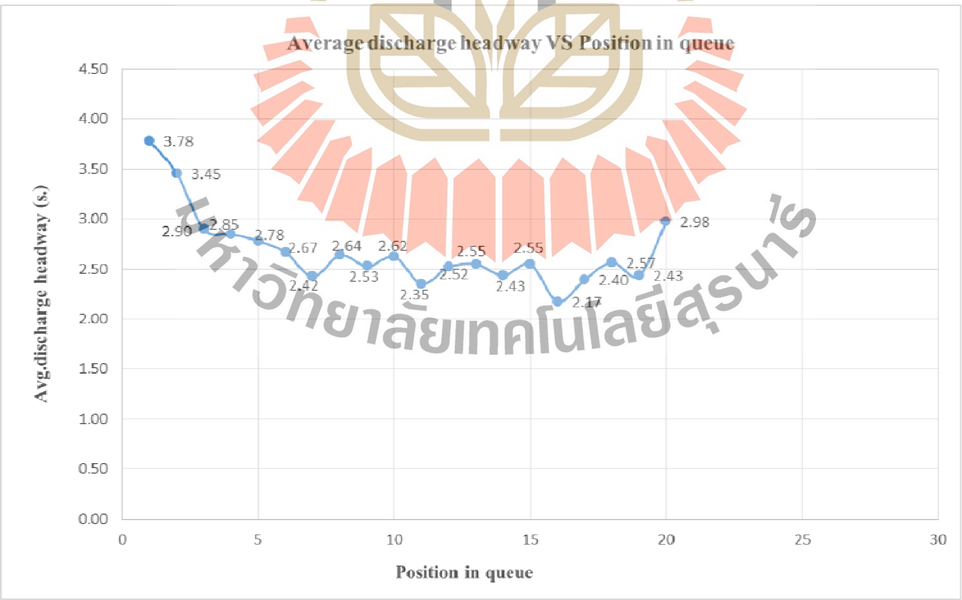
รูปที่ ก.7 แสดงกราฟค่าเวลาห่างรถเลี้ยวขวาไม่แยกประเภทแบบจุด (Mixed flow of right turn)



รูปที่ ก.8 แสดงกราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวของกระบะเลี้ยวขวา (Pick up right turn)

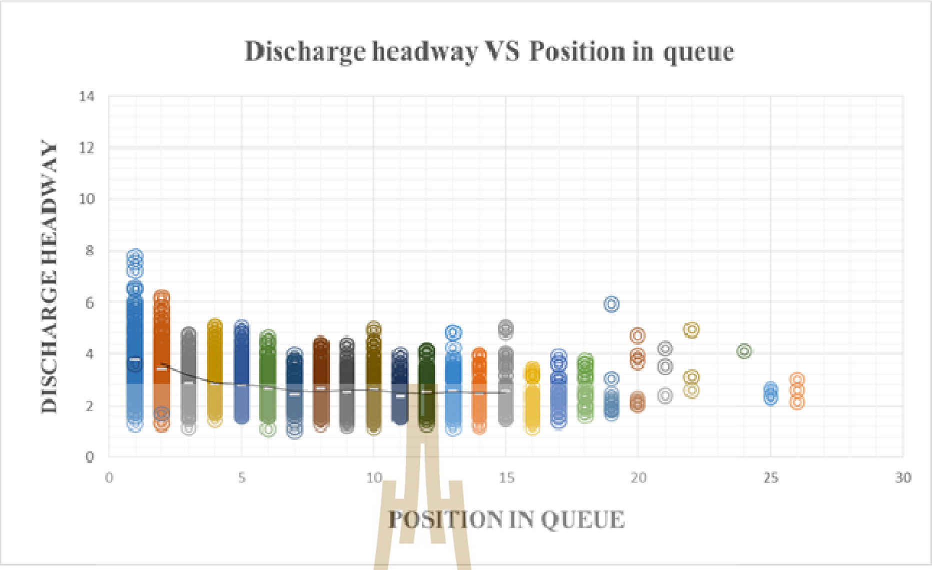


รูปที่ ก.9 แสดงกราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวของกระบะเลี้ยวขวาแบบจุด (Pick up right turn)

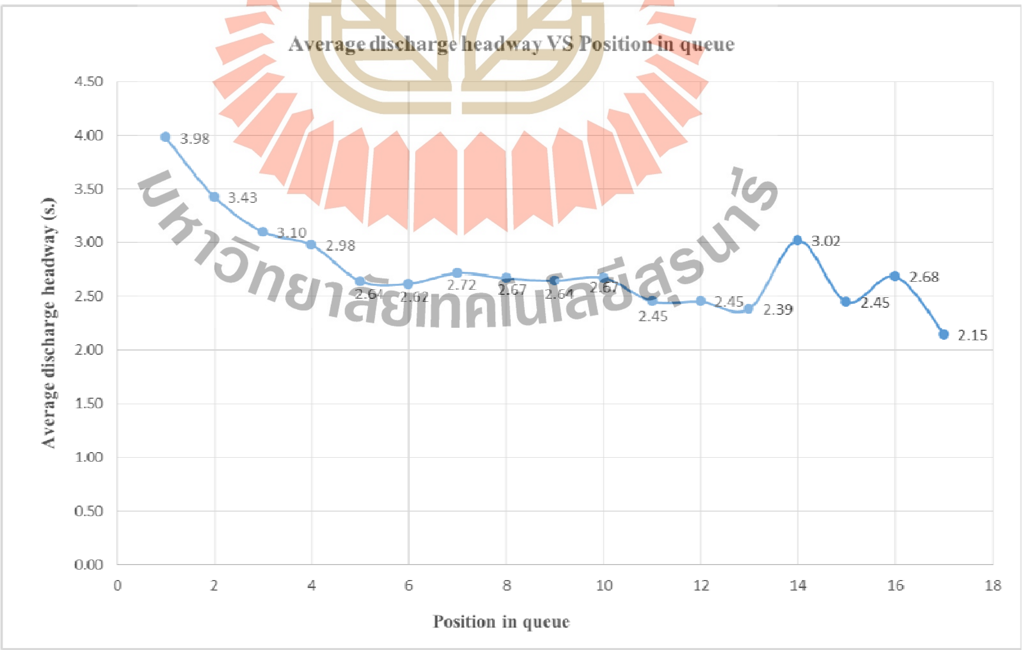


รูปที่ ก.10 แสดงกราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของรถเก๋ง (Sedan right only)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

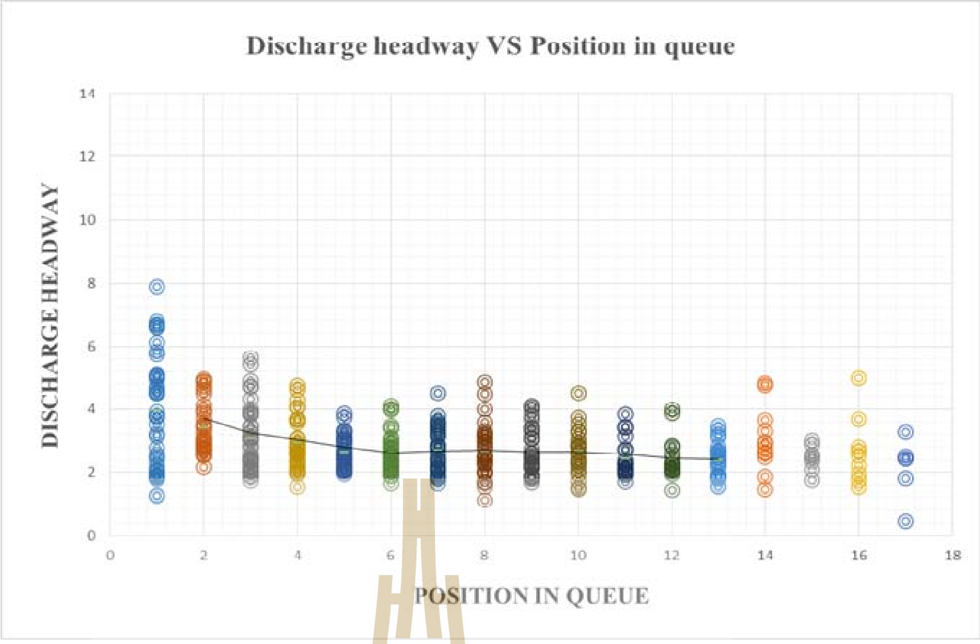


รูปที่ ก.11 แสดงกราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยขณะออกตัวที่ทางแยกของรถเก๋งแบบจุด (Sedan right only)



รูปที่ ก.12 แสดงกราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (Eco car)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ก.13 แสดงกราฟค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวที่ทางแยกของรถยนต์นั่งขนาดเล็กแบบจุด (Eco car)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ตารางผลการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล

ตารางที่ ข.1 ตารางผลทดสอบ (T test) ของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถกระบะทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวาตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง j (วินาที)	P-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.04	3.47	0.000	แตกต่างกัน
2-3	3.47	3.14	0.009	แตกต่างกัน
3-4	3.15	3.02	0.281	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.02	2.86	0.081	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.86	2.71	0.063	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.71	2.81	0.230	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.81	2.64	0.070	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.64	2.81	0.108	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.81	2.79	0.813	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.79	2.70	0.368	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.70	2.64	0.578	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.64	2.79	0.180	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.79	2.71	0.542	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.71	2.64	0.602	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.2 ตารางผล (T test) ของเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาของรถกระบะทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i	กลับรถ ตำแหน่ง i	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวาตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถตำแหน่ง i (วินาที)	P - value	วิเคราะห์ผล
1	1	4.04	4.45	0.046	แตกต่างกัน
2	2	3.47	3.78	0.034	แตกต่างกัน
3	3	3.14	3.69	0.001	แตกต่างกัน
4	4	3.02	3.62	0.000	แตกต่างกัน
5	5	2.86	3.42	0.000	แตกต่างกัน
6	6	2.71	3.61	0.000	แตกต่างกัน
7	7	2.81	3.25	0.000	แตกต่างกัน
8	8	2.64	3.20	0.000	แตกต่างกัน
9	9	2.81	3.25	0.002	แตกต่างกัน
10	10	2.79	3.12	0.003	แตกต่างกัน
11	11	2.70	3.18	0.001	แตกต่างกัน
12	12	2.64	3.06	0.015	แตกต่างกัน
13	13	2.79	2.97	0.243	แตกต่างกัน
14	14	2.71	3.09	0.016	แตกต่างกัน
15	15	2.63	3.09	0.008	แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.3 ตารางผลทดสอบ (T test) ของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถกระบะกลับรถทุกตำแหน่ง

กลับรถตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง j (วินาที)	P-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.45	3.7	0.003	แตกต่างกัน
2-3	3.78	3.69	0.618	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.69	3.62	0.680	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.62	3.42	0.241	ไม่แตกต่างกัน
5-6	3.42	3.61	0.298	ไม่แตกต่างกัน
6-7	3.61	3.25	0.024	แตกต่างกัน
7-8	3.25	3.20	0.788	ไม่แตกต่างกัน
8-9	3.20	3.25	0.740	ไม่แตกต่างกัน
9-10	3.25	3.12	0.349	ไม่แตกต่างกัน
10-11	3.12	3.18	0.721	ไม่แตกต่างกัน
11-12	3.18	3.06	0.567	ไม่แตกต่างกัน
12-13	3.06	2.97	0.645	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.97	3.09	0.486	ไม่แตกต่างกัน
14-15	3.09	3.09	0.98	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.4 ตารางผลทดสอบ (T test) ของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวาของรถเก๋งทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวาตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง j (วินาที)	P-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.00	3.55	0.008	แตกต่างกัน
2-3	3.55	2.99	0.000	แตกต่างกัน
3-4	2.99	2.95	0.752	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.95	2.85	0.419	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.85	2.76	0.379	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.76	2.56	0.060	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.56	2.69	0.196	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.69	2.60	0.365	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.60	2.65	0.60	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.65	2.56	0.394	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.56	2.56	0.946	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.56	2.63	0.517	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.63	2.61	0.877	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.61	2.81	0.311	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.5 ตารางผล (T test) ของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาของรถเก๋งทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i	กลับรถ ตำแหน่ง i	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวาตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถตำแหน่ง i (วินาที)	P - value	วิเคราะห์ผล
1	1	4.00	4.38	0.175	ไม่แตกต่างกัน
2	2	3.55	3.56	0.984	ไม่แตกต่างกัน
3	3	2.99	3.75	0.000	แตกต่างกัน
4	4	2.95	3.35	0.360	ไม่แตกต่างกัน
5	5	2.85	3.13	0.760	ไม่แตกต่างกัน
6	6	2.76	3.49	0.000	แตกต่างกัน
7	7	2.56	3.11	0.000	ไม่แตกต่างกัน
8	8	2.69	3.06	0.013	แตกต่างกัน
9	9	2.60	3.00	0.006	แตกต่างกัน
10	10	2.65	2.96	0.047	แตกต่างกัน
11	11	2.56	2.78	0.110	ไม่แตกต่างกัน
12	12	2.55	2.57	0.897	ไม่แตกต่างกัน
13	13	2.63	2.85	0.198	ไม่แตกต่างกัน
14	14	2.61	2.91	0.146	ไม่แตกต่างกัน
15	15	2.81	3.08	0.248	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.6 ตารางผล (T test) ของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถเก๋งกลับรถทุกตำแหน่ง

กลับรถตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยกลับรถตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถตำแหน่ง j (วินาที)	P-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.38	3.55	0.004	แตกต่างกัน
2-3	3.55	3.75	0.402	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.75	3.35	0.114	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.35	3.13	0.314	ไม่แตกต่างกัน
5-6	3.13	3.49	0.104	ไม่แตกต่างกัน
6-7	3.49	3.11	0.067	ไม่แตกต่างกัน
7-8	3.11	3.07	0.818	ไม่แตกต่างกัน
8-9	3.07	3.00	0.771	ไม่แตกต่างกัน
9-10	3.00	2.96	0.803	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.96	2.78	0.303	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.78	2.57	0.185	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.57	2.85	0.059	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.85	2.91	0.772	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.91	3.08	0.490	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.7 ตารางผลทดสอบ (T test) ของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยเลี้ยวขวารถนั่งขนาดเล็กทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวาตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวา ตำแหน่ง j (วินาที)	P-value	วิเคราะห์ผล
1-2	3.97	3.52	0.185	ไม่แตกต่างกัน
2-3	3.52	3.18	0.221	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.18	2.90	0.353	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.90	2.74	0.559	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.74	2.73	0.962	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.73	2.71	0.910	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.71	2.64	0.710	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.64	2.65	0.997	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.65	2.61	0.883	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.61	2.56	0.828	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.56	2.74	0.557	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.74	2.43	0.290	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.43	3.01	0.054	ไม่แตกต่างกัน
14-15	3.01	2.51	0.307	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.8 ตารางผลทดสอบ (T test) ของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถและเลี้ยวขวาทุกตำแหน่ง

เลี้ยวขวา ตำแหน่ง i	กลับรถ ตำแหน่ง i	ค่าเฉลี่ยเลี้ยวขวาตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถ ตำแหน่ง i (วินาที)	P - value	วิเคราะห์ผล
1	1	3.97	4.46	0.442	ไม่แตกต่างกัน
2	2	3.52	3.87	0.306	ไม่แตกต่างกัน
3	3	3.18	3.87	0.062	ไม่แตกต่างกัน
4	4	2.90	3.70	0.087	ไม่แตกต่างกัน
5	5	2.74	3.14	0.183	ไม่แตกต่างกัน
6	6	2.73	2.73	0.992	ไม่แตกต่างกัน
7	7	2.71	2.74	0.924	ไม่แตกต่างกัน
8	8	2.67	2.98	0.244	ไม่แตกต่างกัน
9	9	2.64	2.83	0.359	ไม่แตกต่างกัน
10	10	2.61	3.50	0.181	ไม่แตกต่างกัน
11	11	2.56	3.32	0.018	ไม่แตกต่างกัน
12	12	2.74	2.72	0.966	ไม่แตกต่างกัน
13	13	2.43	2.75	0.305	ไม่แตกต่างกัน
14	14	3.01	3.19	0.696	ไม่แตกต่างกัน
15	15	2.51	3.15	0.197	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.9 ตารางผลทดสอบ (T test) ของค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยรถยนต์นั่งขนาดเล็กกลับรถทุกตำแหน่ง

กลับรถตำแหน่ง i – j	ค่าเฉลี่ยกลับรถตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยกลับรถตำแหน่ง j (วินาที)	P-value	วิเคราะห์ผล
1-2	4.46	3.87	0.202	ไม่แตกต่างกัน
2-3	3.87	3.87	0.998	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.87	3.70	0.762	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.70	3.14	0.296	ไม่แตกต่างกัน
5-6	3.14	2.73	0.320	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.73	2.74	0.982	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.74	2.98	0.406	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.98	2.84	0.592	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.84	3.50	0.183	ไม่แตกต่างกัน
10-11	3.50	3.32	0.755	ไม่แตกต่างกัน
11-12	3.32	2.72	0.122	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.72	2.75	0.949	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.75	3.19	0.339	ไม่แตกต่างกัน
14-15	3.19	3.16	0.949	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.10 แสดงผล T test เวลาห่างรถเฉลี่ยอิ่มตัวเลี้ยวขวาแบบไม่แยกประเภท

ตำแหน่งที่ i - j	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง j (วินาที)	P - value	ผลการวิเคราะห์
1-2	4.01	3.45	0.000	แตกต่างกัน
2-3	3.45	3.07	0.000	แตกต่างกัน
3-4	3.07	3.02	0.477	ไม่แตกต่างกัน
4-5	3.02	2.84	0.013	แตกต่างกัน
5-6	2.84	2.71	0.026	แตกต่างกัน
6-7	2.71	2.70	0.939	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.70	2.65	0.384	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.65	2.72	0.330	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.72	2.72	0.992	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.72	2.63	0.198	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.63	2.64	0.816	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.64	2.70	0.460	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.70	2.72	0.885	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.72	2.70	0.834	ไม่แตกต่างกัน
15-16	2.70	2.37	0.005	แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.11 แสดงผล T test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยออกตัวรถกระบะ (Pick up) เลี้ยวขวา

ตำแหน่งที่ i - j	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง j (วินาที)	P - value	ผลการวิเคราะห์
1-2	4.03	3.44	0.000	แตกต่างกัน
2-3	3.44	3.00	0.000	แตกต่างกัน
3-4	3.00	2.96	0.555	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.96	2.79	0.047	แตกต่างกัน
5-6	2.79	2.65	0.041	แตกต่างกัน
6-7	2.65	2.60	0.473	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.60	2.52	0.210	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.52	2.65	0.089	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.65	2.74	0.306	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.74	2.57	0.031	แตกต่างกัน
11-12	2.57	2.59	0.705	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.59	2.65	0.531	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.65	2.60	0.584	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.60	2.46	0.178	ไม่แตกต่างกัน
15-16	2.46	2.43	0.765	ไม่แตกต่างกัน
16-17	2.43	2.61	0.122	ไม่แตกต่างกัน
17-18	2.61	2.05	0.000	แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.12 ตารางแสดงผล T test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของรถเก๋ง (Sedan) เลี้ยวขวา

ตำแหน่งที่ i - j	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง j (วินาที)	P - value	ผลการวิเคราะห์
1-2	3.78	3.45	0.02	แตกต่างกัน
2-3	3.45	2.90	0.000	แตกต่างกัน
3-4	2.90	2.85	0.624	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.85	2.78	0.452	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.78	2.67	0.212	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.67	2.42	0.003	แตกต่างกัน
7-8	2.42	2.64	0.011	แตกต่างกัน
8-9	2.64	2.53	0.234	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.53	2.62	0.333	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.62	2.35	0.003	แตกต่างกัน
11-12	2.35	2.52	0.037	แตกต่างกัน
12-13	2.52	2.55	0.790	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.55	2.43	0.356	ไม่แตกต่างกัน
14-15	2.43	2.55	0.427	ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.13 แสดงผล T test ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยของรถยนต์นั่งขนาดเล็กเลี้ยวขวา (Eco car)

ตำแหน่งที่ i - j	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง i (วินาที)	ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง j (วินาที)	P - value	ผลการวิเคราะห์
1-2	3.98	3.43	0.145	ไม่แตกต่างกัน
2-3	3.43	3.10	0.166	ไม่แตกต่างกัน
3-4	3.10	2.98	0.599	ไม่แตกต่างกัน
4-5	2.98	2.64	0.063	ไม่แตกต่างกัน
5-6	2.64	2.62	0.869	ไม่แตกต่างกัน
6-7	2.62	2.72	0.52	ไม่แตกต่างกัน
7-8	2.72	2.67	0.794	ไม่แตกต่างกัน
8-9	2.67	2.64	0.912	ไม่แตกต่างกัน
9-10	2.64	2.67	0.897	ไม่แตกต่างกัน
10-11	2.67	2.45	0.323	ไม่แตกต่างกัน
11-12	2.45	2.45	0.999	ไม่แตกต่างกัน
12-13	2.45	2.39	0.732	ไม่แตกต่างกัน
13-14	2.39	3.02	0.019	แตกต่างกัน

ตารางที่ ข.14 แสดงค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ 4 กลุ่ม (Average U turn headway)

กลุ่ม	ค่าเวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (วินาที)
ไม่แยกประเภท	3.3
รถกระบะ	3.42
รถเก๋ง	3.20
รถยนต์นั่งขนาดเล็ก	3.28

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.15 แสดงค่าเทียบเท่าที่ได้จากการเทียบกับเวลาห่างรถอิ่มตัวแบบไม่แยกประเภท

ประเภท	เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (Avg. headway of U turning) (วินาที)	เวลาห่างรถอิ่มตัวเลี้ยวขวาไม่แยกประเภท (Mixed flow right only) (วินาที)	ค่าเทียบเท่าเลี้ยวขวา (ERT)
ไม่แยกประเภท	3.3	2.69	1.23
รถกระบะ	3.42	2.69	1.27
รถเก๋ง	3.20	2.69	1.19
รถยนต์ขนาดเล็ก	3.28	2.69	1.22

ตารางที่ ข.16 แสดงค่าเทียบเท่าที่ได้จากการเทียบกับเวลาห่างรถอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา

ประเภท	เวลาห่างรถเฉลี่ยกลับรถ (Avg. headway of U turning) (วินาที)	เวลาอิ่มตัวรถยนต์ส่วนบุคคลเลี้ยวขวา (Sedan right only) (วินาที)	ค่าเทียบเท่าเลี้ยวขวา (ERT)
ไม่แยกประเภท	3.30	2.53	1.30
รถกระบะ	3.42	2.53	1.35
รถเก๋ง	3.20	2.53	1.26
รถยนต์ขนาดเล็ก	3.28	2.53	1.30

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายยศวัฒน์ เศรษญกุลสิทธิ์ เกิดวันอังคารที่ 6 ตุลาคม พ.ศ.2530 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนเซนต์ยอแซฟสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นศึกษาที่โรงเรียนธาตุนารายณ์วิทยา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายศึกษาที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากนั้นปี 2549 เริ่มศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมยานยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ขณะที่ทำการศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้เข้าฝึกงานสหกิจศึกษากับบริษัท เอช.เค.เอส (HKS) ประเทศไทย จำกัด หลังจากสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี ในปี 2553 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรการผลิต บริษัท ไทเซอิ พลาส (Taisei Plast) ประเทศไทย จำกัด เป็นระยะเวลา 1 ปี จากนั้นเข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรการผลิต บริษัท เจเอฟอี สตีลกัลวาไนซิ่ง (JFE Galvanizing) ประเทศไทย จำกัด เป็นระยะเวลา 2 ปี 6 เดือน จากนั้นศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ณ สถาบันการศึกษาเดิม ขณะที่ได้กำลังศึกษาในระดับปริญญาโท ได้รับการว่าจ้างเขียนแบบวิศวกรรมจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ระยะเวลารวมทั้งสิ้น 4 เดือนภายใต้โครงการรายงานชิ้นส่วนระบบราง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี