

การวิเคราะห์ความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย

โดย

นาย กนก ผจญจิตยางกูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาขนส่งและสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

การวิเคราะห์ความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย

โดย

นาย กนก ผจญจิตยางกูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาขนส่งและสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายณก ฝงจิตยางกูร

เรื่อง

การวิเคราะห์ความล้าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

วีรญา จิมอ้อย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรญา จิมอ้อย)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

วินัย รักสุนทร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย รักสุนทร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

พลเทพ เลิศวรรณิช

(ดร.พลเทพ เลิศวรรณิช)

คณบดี

อุรยา วิสกุล

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรยา วิสกุล)

บทคัดย่อ

ความล่าช้าเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของการให้บริการและสภาพการจราจรของวงเวียน Highway Capacity Manual (HCM) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่าความล่าช้าคือเวลาที่ผู้ขับขี่ใช้ในแถวคอยเพื่อรอช่องว่างในการนำรถเข้าสู่การจราจรในวงเวียน ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำเสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยระบบ M/M/1 ซึ่งมีรูปแบบการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน เพื่อใช้ประมาณค่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียน นอกจากนี้ยังศึกษาเปรียบเทียบความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีของ Highway Capacity Manual (HCM) และความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีของ Signalized and Unsignalized Intersection Design and Research Aid (SIDRA) และค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นบนวงเวียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ผลจากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ทฤษฎีแถวคอยสามารถใช้ในการประมาณค่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนได้ และเมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนโดยทฤษฎี HCM พบว่าค่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยมีค่าใกล้เคียงกับค่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนโดยทฤษฎี HCM ในช่วงที่ปริมาณจราจรมีค่าอัตราส่วนปริมาณยวดยานต่อขีดจำกัด (v/c) ต่ำถึงปานกลาง ขณะที่ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนที่ได้จากทฤษฎีของ SIDRA พบว่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยจะมีค่าสูงกว่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนที่ได้จาก SIDRA และผลจากการศึกษาค่าความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม พบว่าการเก็บข้อมูลความล่าช้าของยวดยานบนวงเวียนทำได้ยากและบ่อยครั้งที่ผู้ขับขี่ฝ่าฝืนกฎจราจร ซึ่งทำให้ในบางครั้ง ความล่าช้าที่ได้จากแบบจำลองทั้งทฤษฎีแถวคอย ทฤษฎีของ HCM และทฤษฎีของ SIDRA ไม่ใกล้กับค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นจริง

Abstract

Delay is an important parameter that can be used to quantify the quality of service and traffic condition for roundabouts. The Highway Capacity Manual (HCM) identifies the delay as the time that a driver spends queuing and waiting for a gap for entering circulating flow. The purpose of this thesis is to apply queue model M/M/1 which is simpler than the HCM's method, the Signalized and Unsignalized Intersection Design and Research Aid's (SIDRA) method, and field delay measurements.

It was found that the Queue theory can estimate vehicle delays at roundabout accurately. Moreover, Queue theory gives similar delay results compared to the delay given by the HCM method when the volume to capacity ratio (v/c) is low to medium. However, Queue theory gives a higher vehicle delay at roundabout than the vehicle delay estimated by the SIDRA. Furthermore, field measurement is difficult to obtain at roundabout because drivers at roundabout often violate traffic regulation. Thus, the delay results given by all three methods could not represent the vehicle delays at roundabout for this situation.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า นายกนก ผจงจิตยางกูร ของลงกิตติกรรมประกาศ เพื่อเป็นเกียรติแก่ผู้มีพระคุณ ในการดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จ ได้แก่ บิดามารดาของข้าพเจ้า ผู้ให้กำเนิด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย รักสุนทร และดร.พลเทพ เลิศวรรณิช กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณา ให้โอกาส ความรู้ ความเมตตา และให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ รวมถึงการดักเตือนและ ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ รวมทั้ง รอง ศาสตราจารย์ ดร.วีรยา ฉิมอ้อย ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ที่คอยติดตามให้คำแนะนำ และ แนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยตลอด

กนก ผจงจิตยางกูร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
Abstract	(2)
กิตติกรรมประกาศ.....	(3)
สารบัญ.....	(4)
สารบัญตาราง.....	(6)
สารบัญภาพประกอบ.....	(7)
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 คุณค่าของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2.....	4
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3.....	17
วิธีการศึกษา.....	17
3.1 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับทฤษฎี HCM.....	17
3.2 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับโปรแกรม SIDRA.....	17
3.3 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับความล่าช้า ในภาคสนาม.....	18
บทที่ 4.....	22
การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษา.....	22
4.1 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับทฤษฎี HCM.....	22
4.2 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับโปรแกรม SIDRA.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับความล่าช้า ในภาคสนาม.....	34
บทที่ 5.....	39
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
บรรณานุกรม.....	42
ภาคผนวก.....	45

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ช่องว่างวิกฤติและเวลาติดตามสำหรับวงเวียน.....	12
3.1 ประเภทยานพาหนะและตัวปรับแก้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล.....	20
4.1 ปริมาณการจราจรในการเปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอย กับทฤษฎี HCM.....	22
4.2 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับทฤษฎี HCM.....	25
4.3 ปริมาณการจราจรในการเปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับ โปรแกรม SIDRA.....	28
4.4 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับโปรแกรม SIDRA.....	30
4.5 ข้อมูลประเภทของยานพาหนะที่เข้ามาให้บริการวงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก.....	34
4.6 ปริมาณของยานพาหนะหลังการปรับเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลในการเข้ามา ให้บริการของวงเวียนแบ่งตามทิศทางการจราจร.....	35
4.7 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับความล่าช้าในภาคสนาม.....	36

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะทั่วไปของวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจร.....	9
2.2 ทิศทางการจราจรของวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจร.....	10
2.3 การพิจารณาขีดจำกัดในการให้บริการ.....	12
2.4 รูปแบบของแถวคอยแบบ 1 ช่องบริการ.....	15
3.1 ภาพวงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก.....	19
3.2 ภาพถ่ายทางอากาศของวงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก.....	19
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอย และทฤษฎี HCM กับ v/c	27
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอย และโปรแกรม SIDRA กับ v/c	33
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอย, ทฤษฎี HCM และโปรแกรม SIDRA และความล่าช้าในภาคสนามกับ v/c	38
5.1 การฝ่าฝืนหลักการให้ทางรถในวงเวียน.....	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การจัดการการจราจรบริเวณทางแยก มีวิธีการจัดการด้วยกันหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การจัดการทางแยกโดยใช้สัญญาณไฟจราจร, การใช้ป้ายจราจร หรือการเลือกใช้วงเวียน (Roundabout) ซึ่งในการพิจารณาว่าจะเลือกใช้วิธีใดนั้น จะต้องมีการศึกษาความสามารถในการให้บริการของการจัดการทางแยกในด้านต่างๆ เช่น ความปลอดภัย (Safety), ความล่าช้า (Delay), ความยาวของแถวคอย (Queue Length), ความสิ้นเปลืองในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา (Operation and Maintenance Costs) เป็นต้น เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ก่อนทำการตัดสินใจ ซึ่งแนวความคิดการใช่วงเวียนได้ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกในสหราชอาณาจักร ในปี 1966 เพื่อแก้ไขปัญหาการจราจร โดยนำหลักการ "ให้ทาง" มาใช้โดยที่รถที่จะเข้าสู่วงเวียน จะต้องให้ทางรถในวงเวียนก่อนและต้องรอจนมีช่องว่างที่เพียงพอในการนำรถเข้าสู่วงเวียน ซึ่งวงเวียนมีประโยชน์ต่อระบบการจราจรในหลายๆด้าน เช่น ในด้านความปลอดภัย วงเวียนให้ความปลอดภัยมากกว่าทางแยกรูปแบบอื่นตามจำนวนสถิติการเกิดอุบัติเหตุซึ่งพิจารณาได้จากจำนวนจุดตัดบริเวณทางแยก สำหรับปริมาณจราจรที่น้อยจนถึงปานกลาง ในด้านความล่าช้าและความยาวของแถวคอย รถที่เข้าสู่วงเวียนไม่จำเป็นต้องหยุดสนิทก่อนเข้าสู่วงเวียนในกรณีที่มีช่องว่างที่เพียงพอในการเข้าสู่วงเวียน โดยเพียงลดความเร็วลงเท่านั้น และรวมถึงรถที่อยู่ในแถวคอยก็สามารถเคลื่อนที่ได้โดยตลอดด้วย โดยเห็นผลได้ชัดในช่วงนอกเวลาเร่งด่วน เป็นต้น

ความล่าช้าเป็นปัจจัยหนึ่งในการประมาณความสามารถในการให้บริการของทางแยก ซึ่งจำเป็นต่อการวิเคราะห์, ออกแบบ รวมไปถึงช่วยในการวางแผนของระบบจราจร ปัจจุบันมีวิธีการประมาณค่าความล่าช้าด้วยกันหลายวิธี เช่นวิธีของ Highway Capacity Manual (HCM) โปรแกรม SIDRA (Akcelik & Associates Signalised & Unsignalised Intersection Design and Research Aid), โปรแกรม DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Micro-simulation), โปรแกรม Paramics (PARAllel MICroscopic Simulation) และโปรแกรม Synchro (Traffic Signal Timing Software) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะประมาณค่าความล่าช้าแตกต่างกันออกไป งานวิจัยนี้จึงต้องการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอย (Queue Theory)

ในการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนและศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีHCM, ค่าความล่าช้าของวงเวียนที่ได้จากโปรแกรม SIDRA และค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นของวงเวียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยในการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนและศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM, ค่าความล่าช้าของวงเวียนที่ได้จากโปรแกรม SIDRA และค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นของวงเวียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยในประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนได้ทำการวิจัยภายใต้ขอบเขต ดังนี้

1.3.1 ศึกษาวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจร

1.3.2 วิธีการวิเคราะห์การเข้าแถวคอยของรถ ใช้หลักการ 1 ช่องบริการ, การเข้ามาของรถเป็นแบบกระจายไม่คงที่, ไม่มีขีดจำกัดของจำนวนรถที่รอ และให้บริการแบบมาก่อนรับบริการก่อน M/M/1(∞ , FCFS)

1.3.3 เก็บข้อมูลปริมาณการจราจร และความล่าช้าในการให้บริการของวงเวียน จำนวน 1 วงเวียน

1.3.4 ศึกษาปริมาณจราจรและความล่าช้าในการให้บริการของวงเวียน จำนวน 1 วัน
ในช่วงเวลาเร่งด่วน 7.00 น. ถึง 9.00 น. และ 16.00 น. ถึง 18.00 น.

1.4 คุณค่าของงานวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1.4.1 สามารถให้ความมั่นใจในการนำวิธีการวิเคราะห์การเข้าแถวรอของรถ ไปใช้ในการวิเคราะห์ความล่าช้าของการจราจรของวงเวียนได้

1.4.2 เป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ เพื่อนำไปศึกษาเพิ่มและใช้เป็นต้นแบบ หรือแนวทาง ในการค้นคว้าวิจัยในการวิเคราะห์ความล่าช้าของการจราจรของวงเวียนประเภทอื่นๆโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การเข้าแถวรอของรถ

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้เป็นการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สำหรับนำมาทบทวนซึ่งใช้เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลในการทำวิทยานิพนธ์

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กมล บุนศิริ (2542) ประยุกต์ใช้โปรแกรม SIDRA วิเคราะห์สัญญาณไฟจราจร ณ ทางแยกเดี่ยวภายในเมืองหาดใหญ่และเมืองอุบลราชธานี รวมจำนวน 4 ทางแยกได้แก่ สี่แยกหน้ามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สี่แยกโนรา สี่แยกสนามบิน และสี่แยกเขื่อนธานี โดยใช้วิธีการคำนวณหาค่าสัญญาณไฟของโปรแกรม SIDRA หรือการค้นหาค่าการเคลื่อนที่ 7 วิฤตบริเวณทางแยกที่ศึกษา เพื่อเปรียบเทียบผลสำรวจข้อมูลภาคสนามของความล่าช้าเฉลี่ย และความยาวแถวคอยสูงสุด ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของความล่าช้าเฉลี่ยและความยาวคิวสูงสุดของแต่ละทางแยกในเมืองหาดใหญ่และอุบลราชธานี มีค่าเฉลี่ยประมาณ 20-27% และจากการสำรวจพื้นที่จริงและจากแบบจำลองของโปรแกรม SIDRA สรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์ความล่าช้าและความยาวแถวคอยมีความสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จากพื้นที่จริงเมื่อไม่นำปริมาณรถจักรยานยนต์มาคิดรวม นอกจากนี้ ยังได้กล่าวถึงการนำโปรแกรม SIDRA มาวิเคราะห์สภาพการจราจรของทางแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อเป็นทางแยกเดี่ยวและไม่ใกล้กับทางแยกใกล้เคียงจนเกินไป ส่วนข้อจำกัดของโปรแกรม SIDRA ก็คือ การจำลองลักษณะของทางเรขาคณิตของทางแยกไม่สามารถทำได้ถูกต้องตามมาตรฐาน คงทำได้เพียงแสดงรูปร่างลักษณะของทางแยกเท่านั้น

Rahmi Akcelik (2003) ทำการเปรียบเทียบการประมาณค่าขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจรในสหรัฐอเมริกาโดยการใช้โปรแกรม SIDRA, HCM2000, NAASRA 1986 และทฤษฎี UK Linear regression พบว่าใน โปรแกรมแต่ละชนิดประมาณค่าขีดจำกัดในการให้บริการแตกต่างกันเนื่องจากสมมติฐานและลักษณะทางภูมิประเทศของวงเวียนในแต่ละประเทศแตกต่างกัน โดยค่าขีดจำกัดในการให้บริการขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรในวงเวียน และ

แบ่งช่วงในการพิจารณาเป็น 3 ช่วงได้ดังนี้ ในกรณีที่มีปริมาณการจราจรในวงเวียนน้อย (ประมาณ 0 – 300 คัน/ชั่วโมง) โปรแกรม NAASRA 1986 ประมาณค่าขีดจำกัดในการให้บริการสูงที่สุด รองลงมาคือโปรแกรม SIDRA, ทฤษฎี UK Linear regression และ HCM2000 ตามลำดับ ในกรณีที่มีปริมาณการจราจรในวงเวียนปานกลาง (ประมาณ 300 – 900 คัน/ชั่วโมง) โปรแกรม NAASRA 1986 ประมาณค่าขีดจำกัดในการให้บริการสูงที่สุด รองลงมาคือทฤษฎี UK Linear regression, SIDRA และ HCM2000 ตามลำดับ ในกรณีที่มีปริมาณการจราจรในวงเวียนมาก (มากกว่า 900 คัน/ชั่วโมงขึ้นไป) ทฤษฎี UK Linear regression ประมาณค่าขีดจำกัดในการให้บริการสูงที่สุด รองลงมาคือโปรแกรม NAASRA 1986, HCM2000 และ SIDRA ตามลำดับ

Timothy Oketch (2004) ศึกษาเรื่องการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนในเมือง Ottawa ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยการใช้โปรแกรม PARAMICS เปรียบเทียบกับโปรแกรม SYNCHRO ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบมหภาค (Micro-Simulation Model) พบว่าความล่าช้าที่ประมาณได้จากโปรแกรม SYNCHRO มีค่ามากกว่าที่ได้จากโปรแกรม PARAMICS ในทุกๆกรณี นอกจากนั้นจากการศึกษาโดยใช้โปรแกรม PARAMICS เปรียบเทียบความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากขนาดวงเวียนขนาดต่างๆพบว่า ขนาดของวงเวียนก็มีผลในการประมาณค่าความล่าช้าโดยที่ขนาดวงเวียนที่ใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้ความล่าช้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากวงเวียนมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ผู้ขับขี่รถยนต์สามารถใช้ความเร็วในวงเวียนได้มากขึ้น เป็นผลให้ผู้ที่ต้องการขับรถเข้าสู่วงเวียนจะหาช่องว่างที่เหมาะสมในการเข้าสู่วงเวียนได้ยากขึ้น

Rahmi Akcelik (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับขีดจำกัดในการให้บริการและประสิทธิภาพในการให้บริการของวงเวียนที่ทำการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่ Melbourne ประเทศออสเตรเลีย โดยใช้โปรแกรม SIDRA พบว่า ในการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรให้กับวงเวียนที่มีปริมาณจราจรที่ไม่สมดุล (Unbalanced Flow) นั้นจะทำให้ระดับการให้บริการของวงเวียนดีขึ้นโดยการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรให้กับทิศทางที่มีปริมาณการจราจรน้อยและทำการปล่อยอิสระกับทิศทางที่มีปริมาณการจราจรมาก ซึ่งการกระทำอย่างนั้นจะทำให้ความล่าช้าและปริมาณรถในแถวคอยของทิศทางที่ทำการปล่อยอิสระลดลงแต่จะเพิ่มความล่าช้าและปริมาณรถในแถวคอยในทิศทางที่ทำการติดตั้งสัญญาณไฟ

Mark C. Smith (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความแม่นยำของแบบจำลองการวิเคราะห์การให้บริการของวงเวียน โดยพิจารณาเลือกวงเวียนที่ City of Nashua, New Hampshire ที่มีลักษณะเป็นวงเวียนขนาด 1 ช่องการจราจร โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1.เปรียบเทียบระหว่างการประมาณความล่าช้าโดยวิธี HCM กับวิธีการเก็บข้อมูลภาคสนาม (Traffic Data Collector, TDC) พบว่า โดยทั่วไปวิธี HCM ประมาณค่าความล่าช้าได้น้อยกว่าวิธี TDC

2.เปรียบเทียบระหว่างความล่าช้าที่เก็บข้อมูลโดยวิธี TDC, โปรแกรม RODEL และโปรแกรม SIDRA พบว่าโปรแกรม SIDRA ประมาณความล่าช้าได้ใกล้เคียงกับวิธี TDC ในทางกลับกันโปรแกรม RODEL ประมาณค่าความล่าช้าได้สูงกว่าวิธี TDC และโปรแกรม SIDRA มาก

3.เปรียบเทียบระหว่างเปรียบเทียบระหว่างความล่าช้าที่เก็บข้อมูลโดยวิธี TDC กับโปรแกรม PARAMICS พบว่าโปรแกรม PARAMICS ประมาณค่าความล่าช้าได้ไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรในวงเวียน

Maria de Lurdes Simoes (2007) นำเสนอทฤษฎีแถวคอยเพื่อใช้ในการประมาณค่าความล่าช้าของสามแยกไฟแดงแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Actuated Intersection) ในโปรตุเกส โดยใช้หลักการ M/G/1 พบว่า ทฤษฎีแถวคอยโดยใช้หลักการ M/G/1 สามารถการประมาณค่าความล่าช้าของสามแยกไฟแดงแบบกึ่งอัตโนมัติได้ดี โดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าความล่าช้าที่ได้จากแบบจำลอง Numerical Simulation of an Intersection (Simoes et al., 2002) ในช่วงที่มีความหนาแน่นของการจราจรมากกว่า 0.7 แต่ในช่วงความหนาแน่นของการจราจรอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.7 ค่าความล่าช้าที่ได้จากทฤษฎีแถวคอยจะประมาณค่าความล่าช้าได้ต่ำกว่าแบบจำลอง

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่นำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยทฤษฎีหลักๆ 4 ทฤษฎี คือ ทัวไปเกี่ยวกับความล่าช้า, องค์ประกอบทั่วไปของวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจร, วิธีการวิเคราะห์วงเวียนโดยวิธีของ Highway Capacity Manual (HCM) และ ทฤษฎีแถวคอย

2.2.1 ทัวไปเกี่ยวกับความล่าช้า

ความล่าช้า หมายถึง เวลาที่สูญหายไปในขณะที่เดินทาง ซึ่งเป็นผลมาจากปัญหาสภาพการจราจรติดขัด และระบบที่ใช้ควบคุมการจราจร หรือสาเหตุอื่นๆซึ่งในบางครั้งผู้ขับขี่ไม่สามารถจัดการได้ โดยความล่าช้าที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

2.2.1.1 ความล่าช้าคงที่ (Fixed Delay)

เป็นความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบควบคุมการจราจร ซึ่งต้องเกิดขึ้นเสมอ ไม่ว่าสภาพการจราจรจะมีน้อย หรือมีมาก เช่น ความล่าช้าที่เกิดขึ้นตรงบริเวณทางแยก โดยอาจจะเป็นทางแยกควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจร ไฟกระพริบ ป้ายหยุด ป้ายระวัง หรือจุดตัดกับทางรถไฟ เป็นต้น

2.2.2.2 ความล่าช้าจากปัญหาการจราจร (Operational Delay)

เป็นความล่าช้า ที่มีสาเหตุมาจากความขัดแย้งในส่วนของกระแสจราจร ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการจราจรในส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น รถจอด รถเลี้ยว คนข้ามถนน รถเสีย รถจอดซ้อนคัน หรือรถวิ่งตัดกัน นอกจากนั้นยังเป็นผลมาจากสภาพการจราจรในตัวมันเอง เช่น การติดขัดเนื่องจากปริมาณรถมาก ความจุของถนนไม่เพียงพอ และลักษณะที่มีการแทรกเข้าหา หรือ แยกตัวออกไปจากกระแสจราจร

2.2.2.3 ความล่าช้าในการเดินทาง (Travel Delay)

คือผลต่างระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินทางจริงๆบนช่วงเส้นทางที่ศึกษา กับเวลาที่ควรจะใช้ถ้าวิ่งด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยปกติ และการจราจรมีสภาพคล่องตัวไม่ติดขัด หรือก็คือความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชะลอ (deceleration) เพื่อจะหยุด หรือการเร่ง (acceleration) เพื่อจะเคลื่อนที่ตอนออกตัวของรถจากสภาพหยุดหรือช้าให้เร็วขึ้น

2.2.2.4 ความล่าช้าจากการหยุด (Stopped-Time Delay)

เป็นช่วงเวลาที่รถไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในระหว่างการเดินทางบนช่วงเส้นทางที่ศึกษา ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น การเกิดอุบัติเหตุ เป็นต้น

ความล่าช้า เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงระดับการบริการได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปจะใช้ประโยชน์ ดังนี้

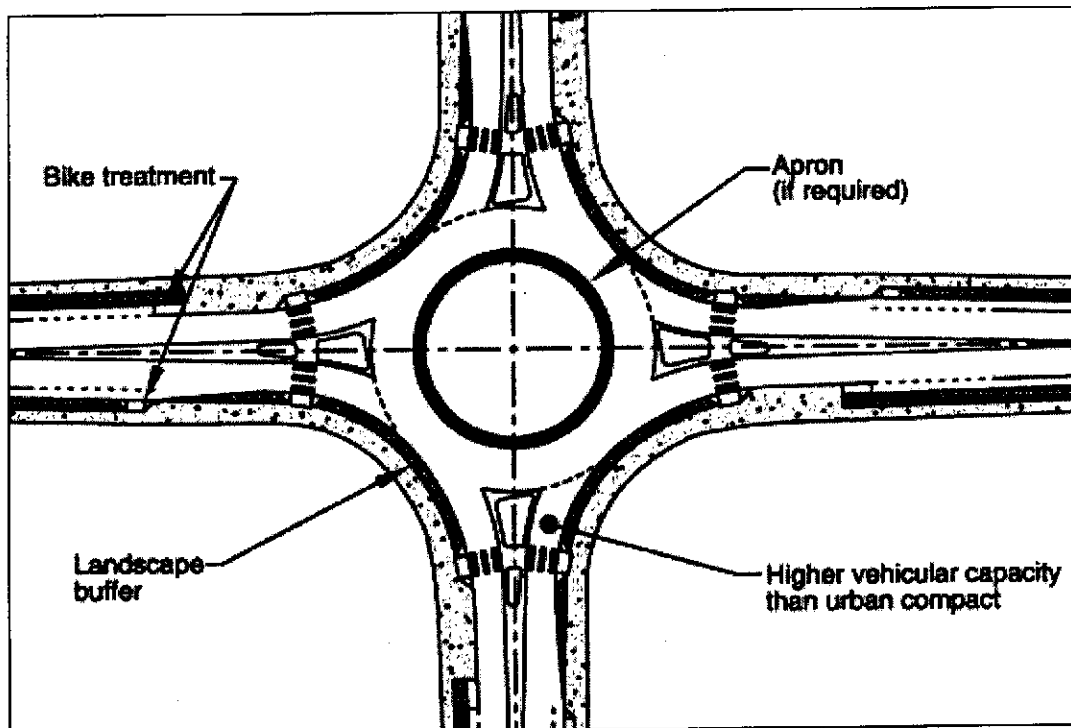
- 1) การประเมินถึงสภาพการแออัดของการจราจร
- 2) ประกอบการพิจารณาเกี่ยวกับความพอเพียงในด้านความจุ และดัชนีความแออัดเพื่อศึกษาถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาคือต่อไป
- 3) การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะก่อนที่จะเกิด และ หลังจากการเกิดโครงการ (Before and After Study) เพื่อให้ทราบถึงผลลัพธ์ ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลง หรือ ปรับปรุงองค์ประกอบ หรือ มาตรการต่างๆทางการจราจร เช่น การห้ามจอดรถ หรือปรับเปลี่ยนช่วงเวลาตลอดจนรูปแบบจังหวะสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น
- 4) การกำหนดปริมาณการจราจรบนโครงข่ายถนน
- 5) การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์
- 6) การศึกษาแนวโน้มที่ควรจะเป็น หรือการคาดคะเนเกี่ยวกับการจราจรเพื่อยกระดับการบริการที่เวลาต่างๆในอนาคต

2.2.2 องค์ประกอบทั่วไปของวงเวียนแบบ 1 ช่องจราจร

คุณสมบัติทั่วไปของวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจรตามที่ FHWA (Federal Highway Administration) กำหนดไว้มีดังต่อไปนี้

- 1) ความเร็วสูงสุดของรถขณะที่เข้าสู่วงเวียน ไม่เกิน 25 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 2) มีจำนวนช่องจราจร 1 ช่องจราจร ก่อนเข้าสู่วงเวียน
- 3) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 25 – 30 เมตร
- 4) รองรับปริมาณการจราจรทั้ง 4 ทิศทางประมาณ 15,000 คัน/วัน และมีลักษณะ

ทั่วไปดังแสดงในภาพที่ 2.1

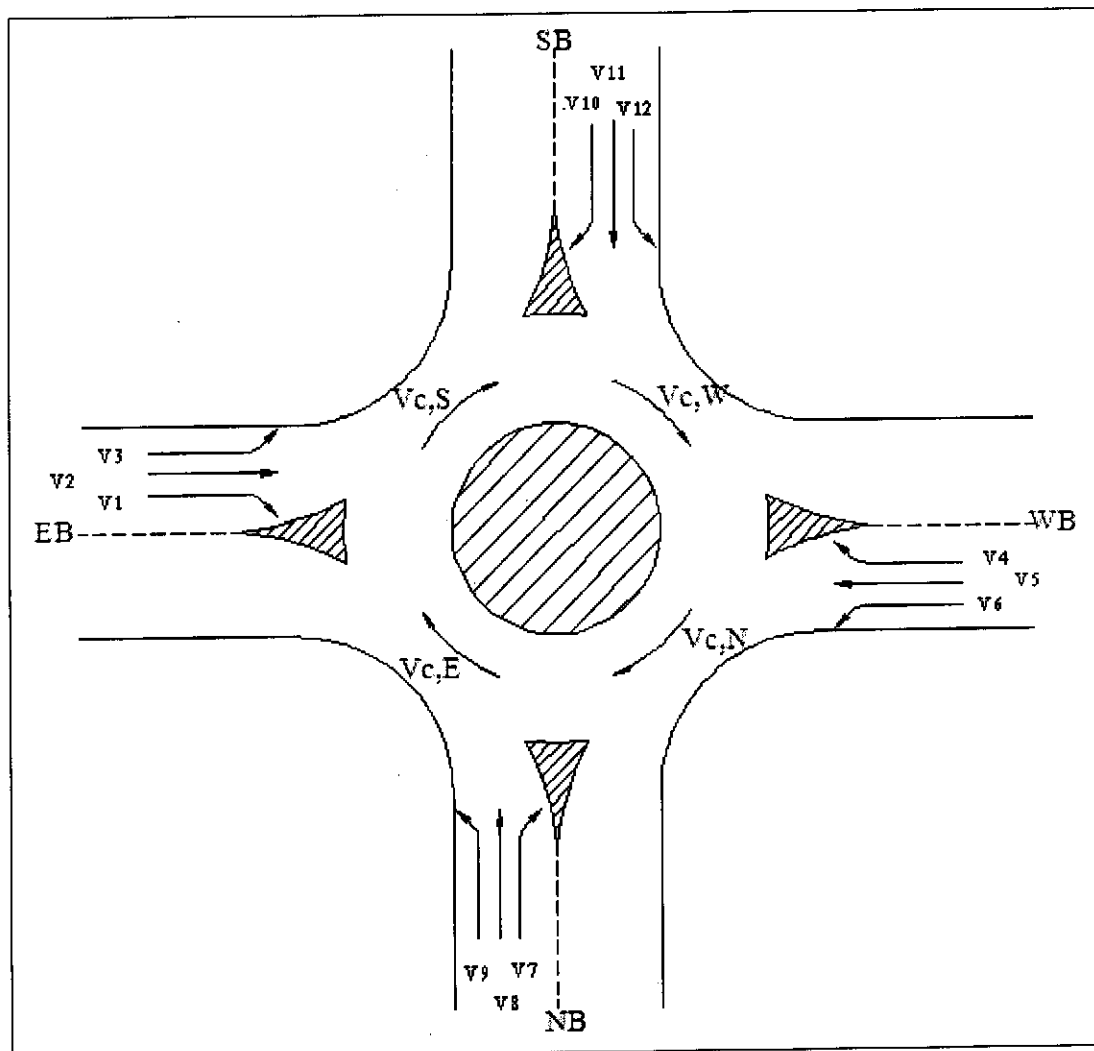


ที่มา: FHWA

ภาพที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจร

2.2.3 วิธีการวิเคราะห์วงเวียนโดยวิธีของ Highway Capacity Manual (HCM)

การจราจรแบบวงเวียนสามารถแบ่งทิศทางการจราจรออกเป็น 4 ทิศทางในช่องทางหลัก ประกอบด้วย การจราจรจากทิศตะวันตก, ทิศตะวันออก, ทิศเหนือ, ทิศใต้ ซึ่งในแต่ละทิศทางหลักจะมีทิศทางการจราจรอีก 3 ทิศทางคือ เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และตรง ตามเครื่องหมายที่ระบุไว้ เช่น V1, V2, V3 และอีก 4 ทิศทางในวงเวียน ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 2.2 ทิศทางการจราจรในวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจร

โดยมีความหมายดังต่อไปนี้

- NB = ทิศทางการจราจรที่เข้าสู่วงเวียนจากทางทิศใต้มุ่งสู่ทิศเหนือ
- SB = ทิศทางการจราจรที่เข้าสู่วงเวียนจากทางทิศเหนือมุ่งสู่ทิศใต้
- EB = ทิศทางการจราจรที่เข้าสู่วงเวียนจากทางทิศตะวันตกมุ่งสู่ทิศตะวันออก
- WB = ทิศทางการจราจรที่เข้าสู่วงเวียนจากทางทิศตะวันออกมุ่งสู่ทิศตะวันตก

ส่วนการจราจรในวงเวียนจะเกิดการเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่ขัดกับทิศทางการเข้าสู่วงเวียน (Conflicting Circulating Traffic) ซึ่งมีความหมายดังนี้

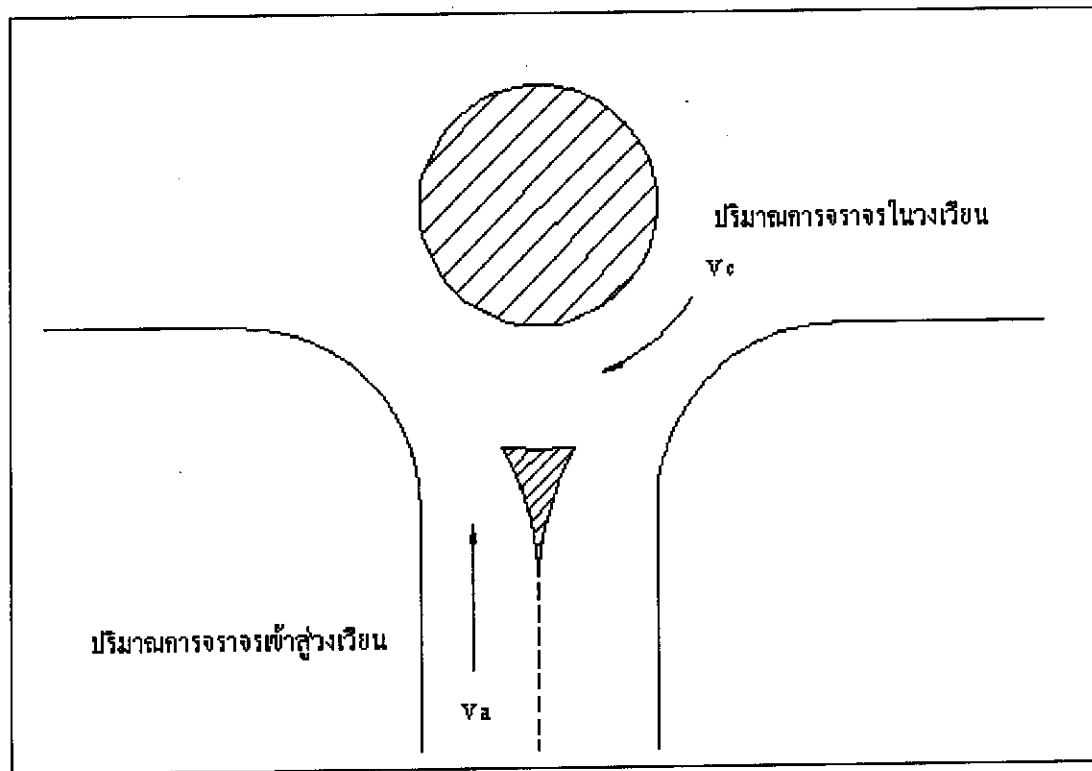
- $V_{C,E}$ = ปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมที่ขัดกับทิศทางการจราจร EB
- $V_{C,W}$ = ปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมที่ขัดกับทิศทางการจราจร EW
- $V_{C,N}$ = ปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมที่ขัดกับทิศทางการจราจร EN
- $V_{C,S}$ = ปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมที่ขัดกับทิศทางการจราจร ES

สามารถทำความเข้าใจเพื่อหาปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมที่ขัดกับทิศทางการจราจรจากทิศทางการจราจรดังต่อไปนี้

- $V_{C,E}$ = $V_4 + V_7 + V_8$
- $V_{C,W}$ = $V_1 + V_{10} + V_{11}$
- $V_{C,N}$ = $V_4 + V_5 + V_{10}$
- $V_{C,S}$ = $V_1 + V_2 + V_7$

2.2.3.1 ขีดจำกัดในการให้บริการ (Capacity)

ขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียนขนาด 1 ช่องจราจรสามารถประมาณค่าได้เป็นอิสระต่อกันในแต่ละทิศทางดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรในวงเวียนที่ขัดกับทิศทางการเข้าสู่วงเวียนในทิศทางนั้นๆด้วย เนื่องจากถ้าปริมาณการจราจรในวงเวียนมากจะส่งผลให้จะส่งผลให้ลดโอกาสในการที่ผู้ขับขี่นำรถเข้าสู่วงเวียน เป็นผลให้ขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียนลดลง



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 2.3 การพิจารณาขีดจำกัดในการให้บริการ

นอกจากนั้นขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียนยังขึ้นอยู่กับช่องว่างวิกฤติ (Critical Gap) และเวลาติดตาม (Follow-Up Time) ของแต่ละทิศทางนั้นๆ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังนี้ ถ้าวงเวียนมีค่าช่องว่างวิกฤติและเวลาติดตามมาก ก็จะส่งผลให้ลดโอกาสในการที่ผู้ขับขึ้นารถเข้าสู่วงเวียน เป็นผลให้ขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียนลดลงเช่นกัน ซึ่งทาง HCM กำหนดค่าที่ใช้สำหรับวงเวียนไว้เป็นช่วงดังข้อมูลในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

ช่องว่างวิกฤติและเวลาติดตามสำหรับวงเวียน

	ช่องว่างวิกฤติ (วินาที)	เวลาติดตาม (วินาที)
ขอบเขตบน	4.1	2.6
ขอบเขตล่าง	4.6	3.1

ที่มา: HCM

จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรในวงเวียนที่ขัดกับทิศทางการเข้าสู่วงเวียน, ช่องว่างวิกฤติและเวลาติดตาม สามารถคำนวณขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียน สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$c_a = \frac{v_c e^{-V_c t_c / 3600}}{1 - e^{-V_c t_f / 3600}} \quad (1)$$

โดยที่

- c_a = ขีดจำกัดในการให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)
 v_a = ปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมที่ขัดกับทิศทางการจราจร (คัน/ชั่วโมง)
 t_c = ช่องว่างวิกฤติ (วินาที)
 t_f = เวลาติดตาม (วินาที)

2.2.3.2 ความล่าช้า (Delay)

ความล่าช้าของแต่ละทิศทางนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรของแต่ละทิศทางกับขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียนของแต่ละทิศทางและระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Analysis Time Period) ดังนั้นความล่าช้าของวงเวียนสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$d = \frac{3600}{c_a} + 900T \times \left[\frac{v_a}{c_a} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_a}{c_a} - 1 \right)^2 + \frac{(3600) \left(\frac{v_a}{c_a} \right)}{450 \times T}} \right] \quad (2)$$

โดยที่

- d = ความล่าช้า (วินาที)
 c_a = ขีดจำกัดในการให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)
 v_a = ปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เข้าสู่วงเวียน (คัน/ชั่วโมง)
 T = ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ชั่วโมง)

2.2.4 ทฤษฎีแถวคอย

ทฤษฎีแถวคอยอาศัยหลักการของความน่าจะเป็นและข้อสมมุติขององค์ประกอบต่างๆหลายประการด้วยกัน ดังนี้

1) การแจกแจงของช่วงเวลาการมาใช้บริการ (Distribution of Arrival Times) คือ ระยะเวลาของการมาใช้บริการ ซึ่งจะมีการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงเวลาระหว่างการมาใช้บริการที่แตกต่างกันออกไป เช่น มีการแจกแจงแบบสุ่ม (Random Distribution) เป็นต้น

2) การแจกแจงของเวลาในการให้บริการ (Distribution of Service Times) คือ ช่วงระยะเวลาของการให้บริการ ซึ่งจะมีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่แตกต่างกันออกไป เช่นเดียวกันกับการแจกแจงของช่วงเวลาการมาใช้บริการ

3) วิธีการให้บริการ (Service Methods) คือ การเลือกวิธีการให้บริการแก่ลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การมาก่อนได้รับบริการก่อน (First in-First out, FIFO) การให้บริการแบบสุ่ม (Service in Random Order, SIRO) หรือมาหลังสุดได้รับบริการก่อน (Last in-First out, LIFO) เป็นต้น

4) ความยาวของแถวคอย (Queue Length) คือ ความยาวที่เกิดจากจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการเข้าแถวคอยเพื่อรอใช้บริการ โดยระบุว่าจะมีการจำกัดความยาวของแถวคอย หรือไม่มีการจำกัดความยาวของแถวคอยเลย โดยวัดเป็นจำนวนลูกค้าที่รอรับบริการอยู่

5) จำนวนช่องบริการ (Service Channels) คือ จำนวนช่องบริการที่ให้บริการแก่ลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ เช่น มี 1 ช่องบริการ หรือหลายช่องบริการ เป็นต้น

6) สถานะภาพของระบบ (System States) คือ สถานะของแถวคอยที่เป็นอยู่ในขณะนั้น จะเป็นไปได้ 2 แบบ คือ แถวคอยที่อยู่ในสภาพเลยจุดอิ่มตัว (Over Saturated Queues) เกิดขึ้นเมื่ออัตราการมาใช้บริการมีมากกว่าอัตราการให้บริการ และแถวคอยที่อยู่ภายใต้สภาพอิ่มตัว (Under Saturated Queues) เมื่ออัตราการมาใช้บริการมีน้อยกว่าอัตราการให้บริการ

รูปแบบทั่วไปที่ใช้แสดงสถานะของระบบแถวคอยจะอยู่ในรูป $A/B/X/Y/Z$ เพื่อใช้แทนคุณลักษณะต่างๆของระบบ โดยที่

A และ B หมายถึง รูปแบบการแจกแจงช่วงเวลาระหว่างการมาใช้บริการ และเวลาการให้บริการตามลำดับซึ่งจะแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

M แทนการแจกแจงแบบพัวซอง (Poisson Distribution) หรือการแจกแจงแบบ

D แทนการแจกแจงแบบคงที่ (Constant)

G แทนการแจกแจงแบบทั่วไป (General and Distribution) เฉพาะของช่วงเวลา
ระหว่างการมาใช้บริการเท่านั้น

E แทนการแจกแจงแบบเออร์แลง (Eroang Distribution)

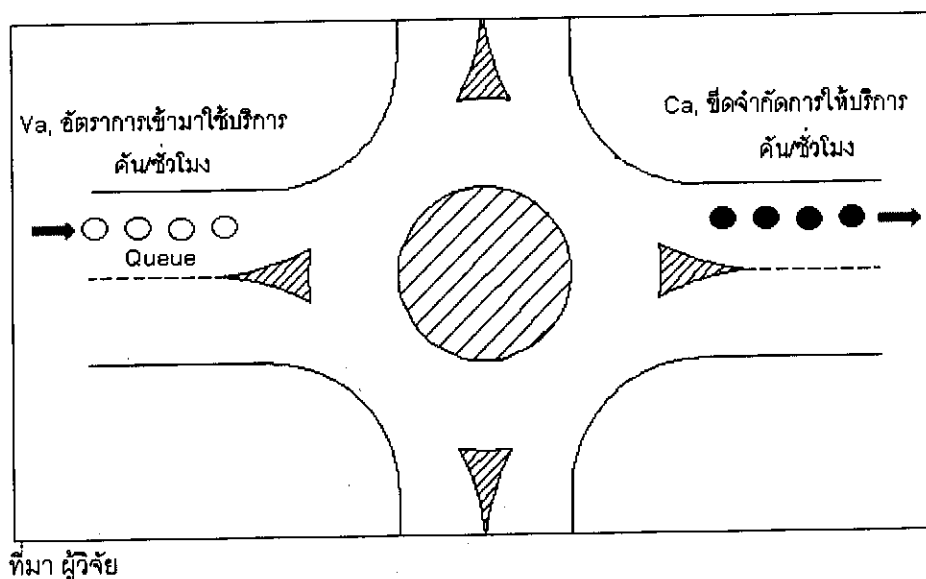
X หมายถึงจำนวนช่องบริการ

Y หมายถึงความยาวสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นของแถวคอย

Z หมายถึงวิธีการให้บริการลูกค้า

ตัวอย่างเช่น M/D/1/∞/FIFO ใช้แทนแถวคอยที่มีการแจกแจงของช่วงเวลาระหว่าง
การมาใช้บริการเป็นแบบสุ่ม ระยะเวลาของการให้บริการเป็นแบบคงที่ ที่มีช่องบริการ 1 ช่อง
บริการ โดยมีความยาวของแถวคอยแบบไม่จำกัด และการให้บริการแก่ลูกค้าเป็นแบบมาก่อน
ได้รับบริการก่อน แต่โดยทั่วไปจะนิยมบอกสถานะของระบบเฉพาะ 3 ตัวแรก เช่น M/D/1 เป็นต้น

แบบจำลองของแถวคอยระบบ M/M/1 ในงานวิศวกรรมจราจรสำหรับวงเวียนขนาด 1
ช่องจราจร เป็นระบบแถวคอยที่มีสูตรการคำนวณไม่ซับซ้อนและมีรูปแบบการแจกแจงของการมา
ใช้บริการเป็นแบบพัวซอง กล่าวคือปริมาณการจราจรที่เข้าสู่วงเวียนในแต่ละช่วงเวลาในช่วงหนึ่ง
ลักษณะเป็นแบบไม่แน่นอน เป็นอิสระต่อกัน มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยมีอัตราเฉลี่ย
ของการมาใช้บริการเป็น v_a คันต่อชั่วโมง และช่วงระยะเวลาของการให้บริการมีลักษณะเป็น
แบบต่อเนื่องซึ่งมีการการแจกแจงเป็นแบบเลขชี้กำลัง ด้วยอัตราเฉลี่ยของการให้บริการเป็น c_a คัน
ต่อชั่วโมง ภายใต้เงื่อนไขที่ยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว (Under Saturated, $c_a > v_a$) มีช่องบริการ 1 ช่อง
บริการดังแสดงในภาพที่ 2.4



ที่มา ผู้วิจัย

ภาพที่ 2.4 รูปแบบของแถวคอยแบบ 1 ช่องบริการ

จากเงื่อนไขดังกล่าว เราสามารถคำนวณความล่าช้าที่เกิดขึ้นในแถวคอยระบบ M/M/1 ได้ดังนี้

$$d = \frac{1}{c_a - v_a} * 3600 \quad (3)$$

โดยที่

- d = ความล่าช้า (วินาที)
- c_a = ขีดจำกัดในการให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)
- v_a = ปริมาณรถที่เคลื่อนที่เข้าสู่วงเวียน (คัน/ชั่วโมง)

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาและการเก็บข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยนี้จะแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนกว้างๆ ในส่วนแรกจะทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM ส่วนที่สองจะทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนที่ได้จากโปรแกรม SIDRA ส่วนสุดท้ายจะทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยทั้ง 3 ส่วนมีวิธีการศึกษาดังนี้

3.1 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับทฤษฎี HCM

ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าที่ได้จากการประมาณโดยทฤษฎี HCM ที่เกิดขึ้นในทิศตะวันตก (EB) โดยทำการจำลองปริมาณการเข้ามาใช้บริการในทิศตะวันตกของวงเวียนให้มีปริมาณการเข้ามาใช้บริการเพิ่มขึ้นจากน้อยไปหามากโดยเพิ่มในทิศทางเลี้ยวขวา จนกระทั่งเต็มขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียนส่วนในทิศทางอื่นๆ กำหนดให้ปริมาณการเข้ามาใช้บริการของวงเวียนคงที่เท่ากับ 25 คัน/ชั่วโมง และเลือกใช้ค่าช่องว่างวิกฤติและเวลาติดตาม โดยใช้ค่ากึ่งกลางของขอบเขตบนและขอบเขตล่างตามที่ HCM แนะนำให้ใช้(ตารางที่ 2.1) คือ ช่องว่างวิกฤติเท่ากับ 4.35 วินาที และเวลาติดตามเท่ากับ 2.85 วินาที โดยจะให้ค่าความคลาดเคลื่อน ระหว่าง $\pm$ ร้อยละ 10 ซึ่งจะเป็นค่าที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Units, PCU) ใช้ในการเดินทางเข้าสู่วงเวียน และงานวิจัยนี้ จะเลือกเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ 15 นาที ($T = 0.25$ สำหรับช่วงเวลา 15 นาที)

3.2 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับโปรแกรม SIDRA

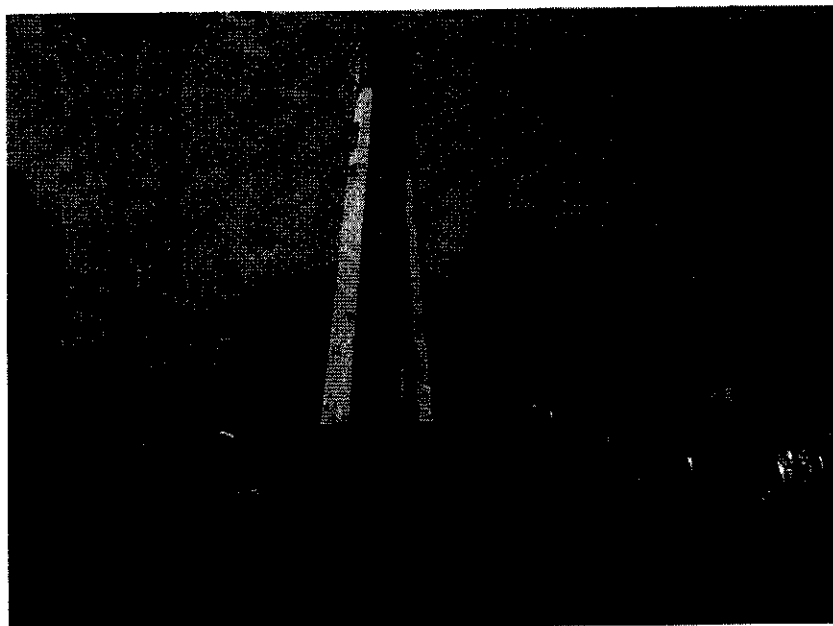
ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าที่ได้จากการประมาณโดยโปรแกรม SIDRA ที่เกิดขึ้นในทิศตะวันตก (EB) โดยทำการจำลองปริมาณการเข้ามาใช้บริการในทิศตะวันตกของวงเวียนให้มีปริมาณการเข้ามาใช้บริการเพิ่มขึ้นจาก

น้อยไปหามากโดยเพิ่มในทิศทางเลี้ยวขวา จนกระทั่งเต็มขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียน ส่วนในทิศทางอื่นๆ กำหนดให้ปริมาณการเข้ามาใช้บริการของวงเวียนคงที่เท่ากับ 25 คัน/ชั่วโมง ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ค่าตัวแปรที่สำคัญต่างๆ ที่มีผลต่อการวิจัยดังต่อไปนี้

อัตราการไหลของกระแสจราจร	= 60 นาที
ไม่คิดผลกระทบของรถบรรทุก	
เส้นผ่าศูนย์กลางของเกาะกลางวงเวียน	= 20 เมตร
ความกว้างของช่องจราจรในวงเวียน	= 5 เมตร
จำนวนช่องจราจรในวงเวียน	= 1 ช่อง
จำนวนช่องจราจรก่อนเข้าสู่วงเวียน	= 1 ช่อง
ความชันของช่องจราจร	= 0 องศา
ความกว้างของช่องจราจรก่อนเข้าสู่วงเวียน	= 3.6 เมตร
อัตราการไหลที่จุดอิมตัว	= 1800 คัน/ชั่วโมง
อัตราความเร็วก่อนเข้าสู่วงเวียน	= 25 กิโลเมตร/ชั่วโมง

3.3 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับความล่าช้าในภาคสนาม

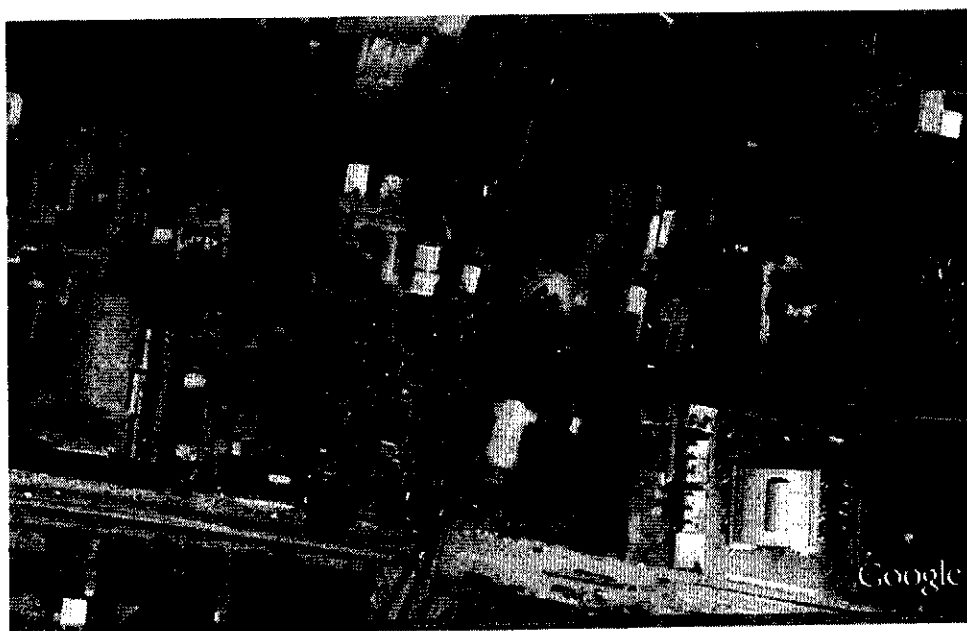
งานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกวงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร เป็นจุดที่ทำการสำรวจข้อมูล มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเกาะกลางวงเวียนมีขนาด 20 เมตร ความกว้างของช่องจราจรในวงเวียนมีขนาด 5 เมตร ความกว้างของช่องจราจรก่อนเข้าสู่วงเวียนมีขนาด 4 เมตร จำนวนช่องจราจรก่อนเข้าสู่วงเวียนมีจำนวน 1 ช่องและจำนวนช่องจราจรในวงเวียนมีจำนวน 1 ช่อง ดังแสดงตามภาพที่ 3.1



ที่มา ผู้วิจัย

ภาพที่ 3.1 ภาพวงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก

วงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก เป็นวงเวียนบนจุดตัดระหว่างถนนเชื่อมสัมพันธ์และถนนบุรี
ภิรมย์ ตามภาพที่ 3.2



ที่มา Google Earth

ภาพที่ 3.2 ภาพถ่ายทางอากาศของวงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก
การสำรวจข้อมูลการจราจรครั้งนี้ประกอบด้วย

1) ปริมาณการจราจรบริเวณวงเวียน โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณการจราจร และบันทึกเป็นช่วงเวลาทุกๆ 15 นาที ในช่วงเวลา 7.00 น. - 9.00 น. และในช่วง 16.00 น. - 18.00 น. โดยแยกตามทิศทางการเคลื่อนตัวของจราจรที่บริเวณวงเวียน อันได้แก่ รถเลี้ยวซ้าย, รถตรง, และรถเลี้ยวขวาของแต่ละด้านของวงเวียน นอกจากนี้ยังจำแนกประเภทของรถออกเป็น 8 ประเภท หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบประเภทของรถทั้ง 8 ประเภทให้เป็นหน่วยค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (หน่วยค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นหน่วยที่ใช้แปลงยวดยานแต่ละประเภทที่มีทั้งขนาดและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ให้มาอยู่ในหน่วยเดียวกัน หรือเรียกว่า PCE) ดังข้อมูลในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

ประเภทยานพาหนะและตัวปรับแก้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ประเภทยานพาหนะ	ตัวปรับแก้
รถจักรยานยนต์ และสามล้อเครื่อง	0.25
รถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถบรรทุกเล็ก 4 ล้อ	1
รถโดยสารขนาดเล็ก และรถโดยสารขนาดกลาง	1.5
รถโดยสารขนาดใหญ่	2.0
รถบรรทุกขนาดกลาง 6 ล้อ	2.0
รถบรรทุกขนาดใหญ่	2.5
รถพ่วง และรถกึ่งพ่วง	2.5
รถประเภทอื่นๆ	1.0

ที่มา : โครงการศึกษาแนวทางพัฒนา โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร

ส่วนต่อขยายโดยรวม, พ.ศ.2547

หลังจากนั้นนำปริมาณการจราจรบริเวณวงเวียนที่สำรวจได้ในแต่ละช่วงเวลามาทำการคำนวณหาค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย, ทฤษฎี HCM และโปรแกรม SIDRA

2) ความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการใช้บริการวงเวียน โดยทำการเก็บข้อมูลความล่าช้าจำนวน 1 ทิศทาง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกทิศทางที่มุ่งเข้าสู่วงเวียนจากทิศเหนือเป็นทิศทางที่ใช้เก็บข้อมูล โดยทำการเก็บข้อมูลความล่าช้าและบันทึกเป็นช่วงเวลาทุกๆ 15 นาที ในช่วงเวลา 7.00 น. - 9.00 น. และในช่วง 16.00 น. - 18.00 น. หลังจากนั้นนำค่าความล่าช้าที่สำรวจได้ในแต่ละ

จะช่วงเวลามาทำการเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย, ทฤษฎี HCM และโปรแกรม SIDRA

ลำดับ	ปริมาณจราจร (คัน/ชั่วโมง)											
	ทิศตะวันตก			ทิศตะวันออก			ทิศใต้			ทิศเหนือ		
	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย
33	825	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
34	850	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
35	875	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
36	900	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
37	925	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
38	950	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
39	975	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
40	1000	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
41	1025	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
42	1050	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
43	1075	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
44	1100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
45	1125	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

ที่มา: ผู้วิจัย

ผลของประยุกต์ใช้ทฤษฎีแวกคอยในการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) และศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแวกคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) โดยใช้ข้อมูลข้อมูลปริมาณการจราจรในตารางที่ 4.1 สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

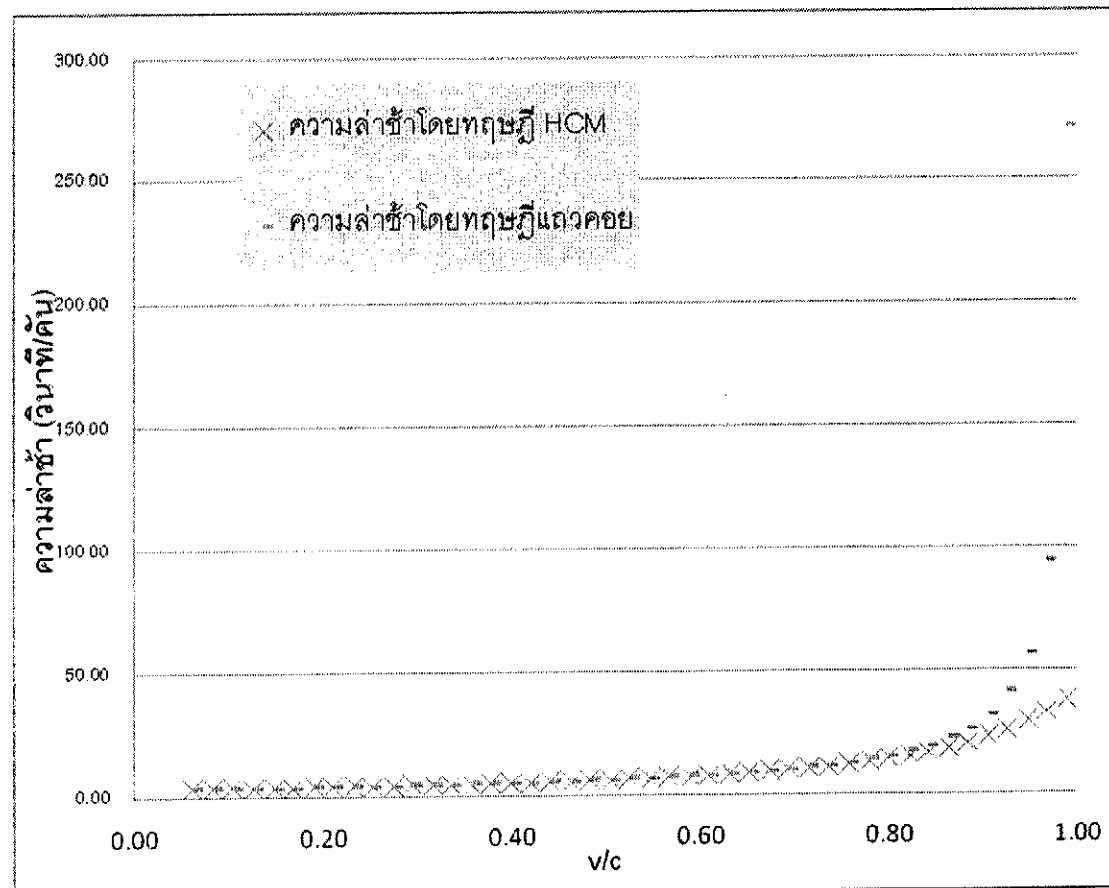
ผลของการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยเปรียบเทียบกับทฤษฎี HCM

ลำดับ	ปริมาณการจราจร ในทิศตะวันตก (คัน/ชั่วโมง)	ขีดจำกัดใน การให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)	v/c	ความล่าช้า (วินาที/คัน)		ความแตกต่าง (ร้อยละ)
				ทฤษฎี HCM	ทฤษฎีแถวคอย	
1	75	1188	0.06	3.23	3.23	0.00
2	100	1188	0.08	3.31	3.31	0.00
3	125	1188	0.11	3.39	3.39	0.00
4	150	1188	0.13	3.47	3.47	0.00
5	175	1188	0.15	3.55	3.55	0.00
6	200	1188	0.17	3.64	3.64	0.00
7	225	1188	0.19	3.74	3.74	0.00
8	250	1188	0.21	3.83	3.84	0.05
9	275	1188	0.23	3.94	3.94	0.06
10	300	1188	0.25	4.05	4.05	0.08
11	325	1188	0.27	4.17	4.17	0.09
12	350	1188	0.29	4.29	4.29	0.12
13	375	1188	0.32	4.42	4.43	0.14
14	400	1188	0.34	4.56	4.57	0.17
15	425	1188	0.36	4.71	4.72	0.21
16	450	1188	0.38	4.86	4.88	0.25
17	475	1188	0.40	5.03	5.05	0.30
18	500	1188	0.42	5.21	5.23	0.35
19	525	1188	0.44	5.40	5.43	0.42
20	550	1188	0.46	5.61	5.64	0.49
21	575	1188	0.48	5.84	5.87	0.58
22	600	1188	0.50	6.08	6.12	0.69
23	625	1188	0.53	6.34	6.39	0.81
24	650	1188	0.55	6.62	6.69	0.96
25	675	1188	0.57	6.93	7.01	1.13

ลำดับ	ปริมาณการจราจร ในทิศตะวันตก (คัน/ชั่วโมง)	ขีดจำกัดใน การให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)	v/c	ความล่าช้า (วินาที/คัน)		ความแตกต่าง (ร้อยละ)
				ทฤษฎี HCM	ทฤษฎีแถวคอย	
26	700	1188	0.59	7.27	7.37	1.34
27	725	1188	0.61	7.65	7.77	1.59
28	750	1188	0.63	8.06	8.21	1.89
29	775	1188	0.65	8.52	8.71	2.26
30	800	1188	0.67	9.03	9.27	2.71
31	825	1188	0.69	9.60	9.91	3.27
32	850	1188	0.72	10.24	10.64	3.96
33	875	1188	0.74	10.96	11.49	4.84
34	900	1188	0.76	11.78	12.49	5.96
35	925	1188	0.78	12.73	13.67	7.41
36	950	1188	0.80	13.82	15.11	9.33
37	975	1188	0.82	15.08	16.88	11.92
38	1000	1188	0.84	16.55	19.12	15.49
39	1025	1188	0.86	18.28	22.04	20.58
40	1050	1188	0.88	20.32	26.03	28.09
41	1075	1188	0.90	22.73	31.77	39.79
42	1100	1188	0.93	25.57	40.77	59.42
43	1125	1188	0.95	28.92	56.86	96.66
44	1150	1188	0.97	32.82	93.98	186.37
45	1175	1188	0.99	37.31	270.51	625.02

ที่มา: ผู้วิจัย

โดยเมื่อนำค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยและค่าความล่าช้าของวงเวียน
โดยทฤษฎี HCM จากตารางที่ 4.2 มาสร้างกราฟระหว่างความล่าช้าของวงเวียนกับ v/c จะได้ดัง
ภาพที่ 4.1



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการประมาณค่าความล่ำช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแอกคอยและทฤษฎี HCM กับ v/c

ผลของการเปรียบเทียบค่าความล่ำช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแอกคอยกับค่าความล่ำช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM พบว่าความล่ำช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแอกคอยมีค่าใกล้เคียงกับความล่ำช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎี HCM ในช่วงที่มีค่า v/c ตั้งแต่ 0.00 จนถึง 0.50 และความล่ำช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแอกคอยจะเริ่มมากกว่าความล่ำช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎี HCM โดยตลอดจนกระทั่ง v/c มีค่าเท่ากับ 1.00

ลำดับ	ปริมาณจราจร (คัน/ชั่วโมง)											
	ทิศตะวันตก			ทิศตะวันออก			ทิศใต้			ทิศเหนือ		
	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย
43	1075	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
44	1100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
45	1125	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

ที่มา: ผู้วิจัย

ผลของประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยในการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) และศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA โดยใช้ข้อมูลข้อมูลปริมาณการจราจรในตารางที่ 4.3 สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4

เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับโปรแกรม SIDRA

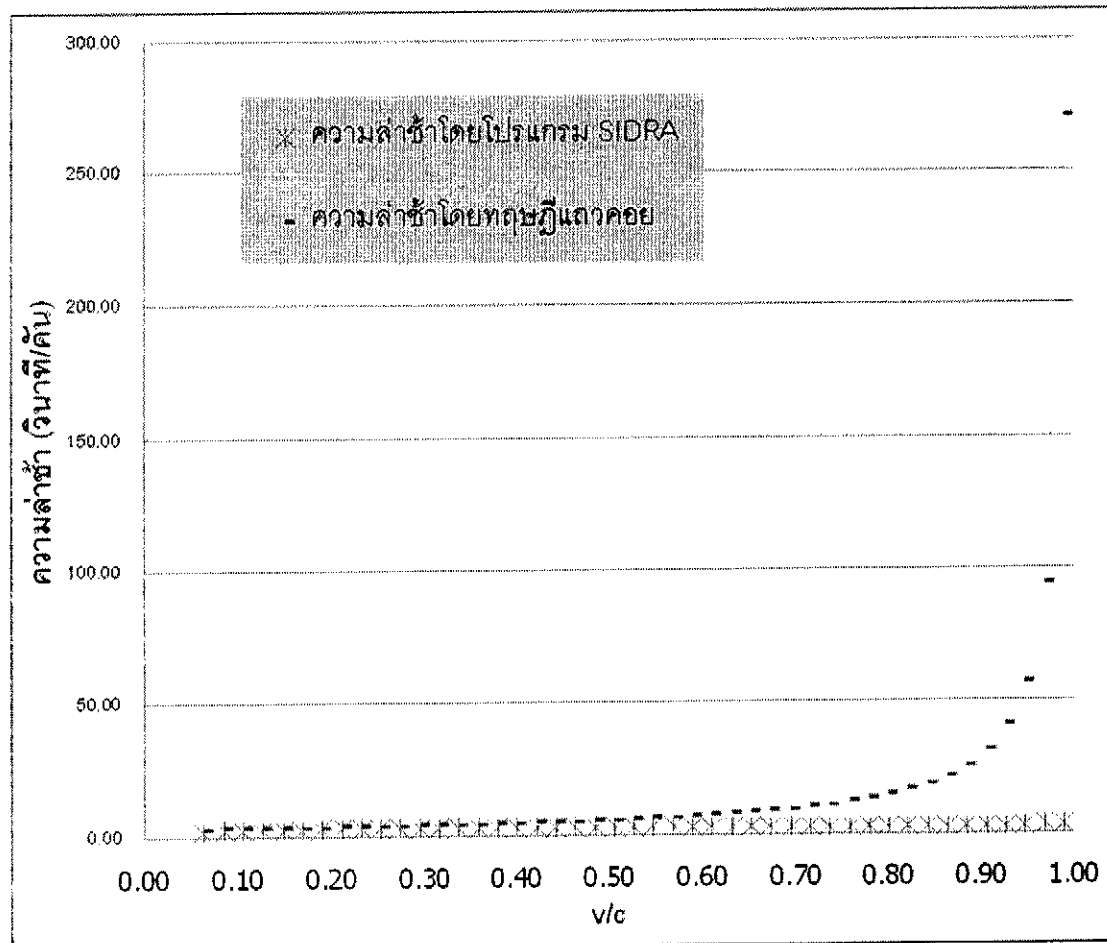
ลำดับ	ปริมาณการจราจร ในทิศตะวันตก (คัน/ชั่วโมง)	ขีดจำกัดใน การให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)	v/c	ความล่าช้า (วินาที/คัน)		ความ แตกต่าง (ร้อยละ)
				โปรแกรม SIDRA	ทฤษฎีแถวคอย	
1	75	1188	0.06	2.30	3.23	40.59
2	100	1188	0.08	2.50	3.31	32.32
3	125	1188	0.11	2.60	3.39	30.22
4	150	1188	0.13	2.70	3.47	28.41
5	175	1188	0.15	2.70	3.55	31.58
6	200	1188	0.17	2.70	3.64	34.91
7	225	1188	0.19	2.80	3.74	33.47
8	250	1188	0.21	2.80	3.84	37.02
9	275	1188	0.23	2.80	3.94	40.78
10	300	1188	0.25	2.80	4.05	44.74
11	325	1188	0.27	2.90	4.17	43.79

ลำดับ	ปริมาณการจราจร ในทิศตะวันตก (คัน/ชั่วโมง)	ขีดจำกัดใน การให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)	v/c	ความล่าช้า (วินาที/คัน)		ความ แตกต่าง (ร้อยละ)
				โปรแกรม SIDRA	ทฤษฎีแถวคอย	
12	350	1188	0.29	2.90	4.29	48.08
13	375	1188	0.32	2.90	4.43	52.63
14	400	1188	0.34	2.90	4.57	57.47
15	425	1188	0.36	2.90	4.72	62.63
16	450	1188	0.38	2.90	4.88	68.14
17	475	1188	0.40	3.00	5.05	68.23
18	500	1188	0.42	3.00	5.23	74.34
19	525	1188	0.44	3.00	5.43	80.91
20	550	1188	0.46	3.00	5.64	88.00
21	575	1188	0.48	3.00	5.87	95.66
22	600	1188	0.50	3.00	6.12	103.97
23	625	1188	0.53	3.00	6.39	113.03
24	650	1188	0.55	3.00	6.69	122.92
25	675	1188	0.57	3.00	7.01	133.78
26	700	1188	0.59	3.10	7.37	137.82
27	725	1188	0.61	3.10	7.77	150.65
28	750	1188	0.63	3.10	8.21	164.95
29	775	1188	0.65	3.10	8.71	180.97
30	800	1188	0.67	3.10	9.27	199.06
31	825	1188	0.69	3.10	9.91	219.64
32	850	1188	0.72	3.10	10.64	243.26
33	875	1188	0.74	3.10	11.49	270.65
34	900	1188	0.76	3.10	12.49	302.80
35	925	1188	0.78	3.10	13.67	341.04
36	950	1188	0.80	3.20	15.11	372.08
37	975	1188	0.82	3.20	16.88	427.41
38	1000	1188	0.84	3.20	19.12	497.43
39	1025	1188	0.86	3.20	22.04	588.88
40	1050	1188	0.88	3.20	26.03	713.40

ลำดับ	ปริมาณการจราจร ในทิศตะวันตก (คัน/ชั่วโมง)	ขีดจำกัดใน การให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)	v/c	ความล่าช้า (วินาที/คัน)		ความ แตกต่าง (ร้อยละ)
				โปรแกรม SIDRA	ทฤษฎีแถวคอย	
41	1075	1188	0.90	3.20	31.77	892.87
42	1100	1188	0.93	3.20	40.77	1173.95
43	1125	1188	0.95	3.20	56.86	1677.03
44	1150	1188	0.97	3.30	93.98	2747.73
45	1175	1188	0.99	3.30	270.51	8097.38

ที่มา: ผู้วิจัย

โดยเมื่อนำค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยและค่าความล่าช้าของวงเวียน
โดยโปรแกรม SIDRA จากตารางที่ 4.4 มาสร้างกราฟระหว่างความล่าช้าของวงเวียนกับ v/c จะได้
ดังภาพที่ 4.2



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการประมาณค่าความล้าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยและโปรแกรม SIDRA กับ v/c

ผลของการเปรียบเทียบค่าความล้าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล้าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA พบว่าความล้าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยมีความแตกต่างกับความล้าช้าที่ประมาณได้จากโปรแกรม SIDRA โดยจะมีค่ามากกว่าความล้าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยโดยตลอด ตั้งแต่ช่วง v/c เท่ากับ 0.00 ตลอดจนกระทั่ง v/c เท่ากับ 1.00

4.3 เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับความล่าช้าในภาคสนาม

จากการเก็บข้อมูลที่วงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก เขตหนองจอก สามารถบันทึกประเภทของยานพาหนะที่เข้ามาใช้บริการวงเวียนดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

ข้อมูลประเภทของยานพาหนะที่เข้ามาใช้บริการวงเวียนหอนาฬิกาหนองจอก

เวลา	ปริมาณจราจรบนทางแยก (คัน)									
	Total (PCU)	Total	MC	PC+LT	LB	MB	HB	MT	HT	TR
7.00-7.15	127	297	229	66	1	0	0	1	0	0
7:15-7:30	279	558	398	133	19	0	0	5	3	0
7:30-7.45	400	711	467	201	14	1	3	17	5	3
7.45-8.00	389	620	364	211	14	3	7	11	6	4
8.00-8.15	385	590	319	222	36	0	1	6	0	6
8.15-8.30	384	571	296	237	15	1	6	6	7	3
8.30-8.45	353	556	304	221	15	4	1	4	4	3
8.45-9.00	338	498	241	230	17	1	0	4	4	1
16:00-16:15	384	607	326	250	21	2	3	2	1	2
16:15-16:30	470	720	381	305	7	0	0	16	5	6
16:30-16:45	603	1,179	811	325	25	1	3	10	2	2
16:45-17:00	492	1,029	750	249	18	0	0	4	4	4
17:00-17:15	370	721	484	223	6	1	0	5	2	0
17:15-17:30	579	1208	853	336	14	3	0	2	0	0
17:30-17:45	495	1065	769	284	7	4	1	0	0	0
17:45-18:00	377	808	583	215	7	1	1	1	0	0
Total	6,421	11,738	5,370	2,873	208	14	24	91	43	34

ที่มา ผู้วิจัย

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 นำไปปรับเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลในการเข้ามาใช้บริการของวงเวียนและแบ่งตามทิศทางการจราจร ได้แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

ปริมาณของยานพาหนะหลังการปรับเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลในการเข้ามาใช้บริการของวงเวียนแบ่งตามทิศทางการจราจร

เวลา	ปริมาณจราจรแยกตามทิศทาง (PCU) (คัน/15 นาที)											
	ทิศตะวันตก			ทิศตะวันออก			ทิศใต้			ทิศเหนือ		
	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย	ขวา	ตรง	ซ้าย
7.00-7.15	13	16	17	4	18	6	7	4	8	17	7	10
7.15-7.30	31	38	29	11	48	17	21	12	17	28	11	18
7.30-7.45	65	66	32	17	57	27	29	9	44	27	11	17
7.45-8.00	54	60	33	16	46	30	35	11	51	23	12	20
8.00-8.15	51	79	15	13	49	21	27	11	62	26	14	18
8.15-8.30	36	93	23	22	43	43	13	10	56	19	11	16
8.30-8.45	39	70	19	12	36	25	53	13	42	16	13	17
8.45-9.00	32	81	19	11	49	16	28	11	46	25	7	14
16:00-16:15	52	86	19	9	50	36	45	11	33	12	9	20
16:15-16:30	58	118	26	9	47	32	58	20	48	15	20	22
16:30-16:45	50	141	29	25	105	55	59	13	56	25	8	39
16:45-17:00	36	106	35	26	61	37	48	22	56	19	9	38
17:00-17:15	16	50	23	48	74	31	23	15	28	25	7	31
17:15-17:30	53	116	32	17	101	30	62	15	58	35	23	37
17:30-17:45	42	112	28	21	60	40	60	28	49	16	17	22
17:45-18:00	36	93	21	15	50	29	35	20	41	7	13	17

ที่มา ผู้วิจัย

ผลของประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยในการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) และศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2), ค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA โดยใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรในตารางที่ 4.6 และค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นของวงเวียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.7

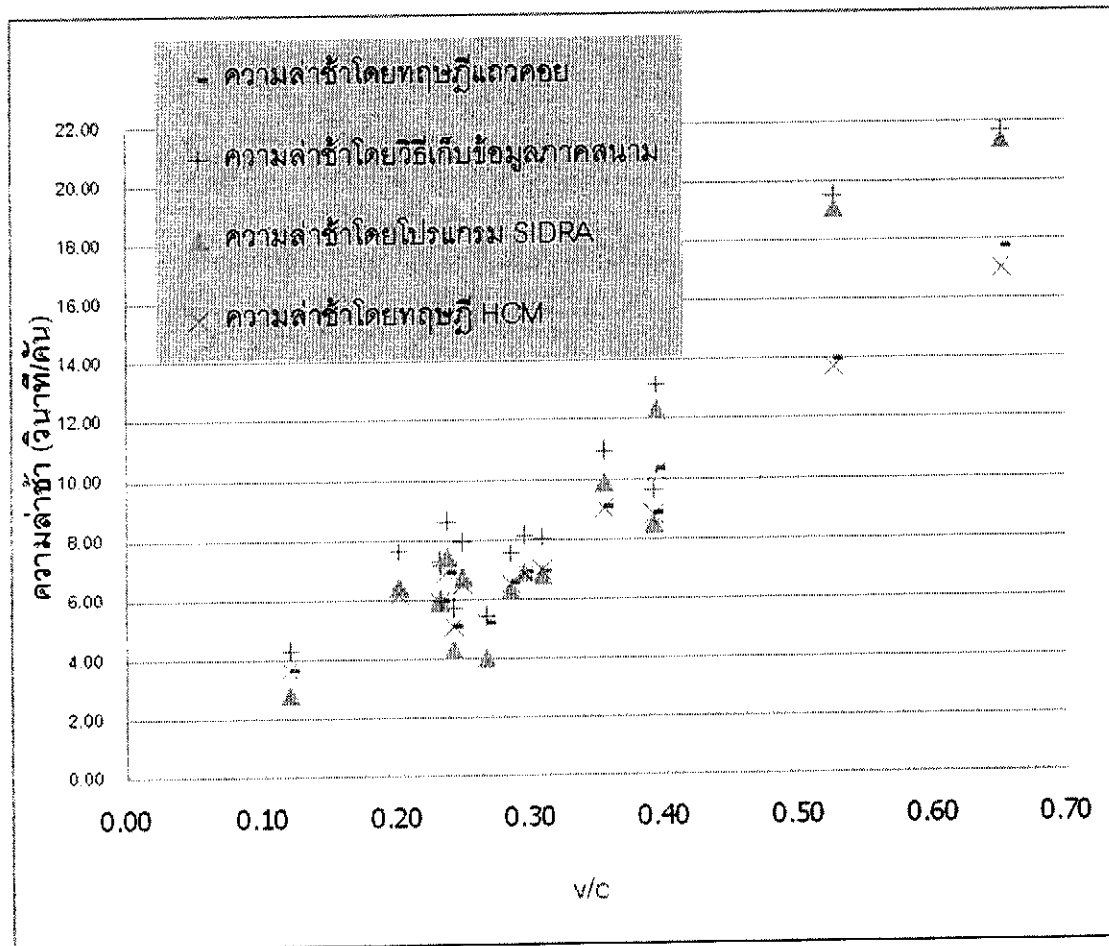
ตารางที่ 4.7

เปรียบเทียบความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแถวคอยกับความล่าช้าในภาคสนาม

เวลา	ปริมาณการจราจร ในทิศเหนือ (คัน/ชั่วโมง)	ขีดจำกัดในการ ให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)	v/c	ความล่าช้า (วินาที/คัน)			
				ข้อมูล ภาคสนาม	ทฤษฎี แถวคอย	โปรแกรม SIDRA	ทฤษฎี HCM
7.00- 7.15	136	1123	0.12	4.27	3.65	2.80	3.65
7.15- 7.30	228	940	0.24	5.68	5.06	4.30	5.05
7.30- 7.45	220	743	0.30	8.11	6.88	6.90	6.87
7.45- 8.00	220	771	0.29	7.55	6.53	6.30	6.52
8.00- 8.15	232	751	0.31	8.01	6.94	6.80	6.93
8.15- 8.30	184	790	0.23	7.17	5.95	5.90	5.94
8.30- 8.45	184	738	0.25	7.92	6.50	6.70	6.49
8.45- 9.00	184	792	0.23	7.27	5.92	6.00	5.91
16.00- 16.15	164	687	0.24	8.58	6.88	7.40	6.87

เวลา	ปริมาณการจราจร ในทิศเหนือ (คัน/ชั่วโมง)	ขีดจำกัดในการ ให้บริการ (คัน/ชั่วโมง)	v/c	ความล่าช้า (วินาที/คัน)			
				ข้อมูล ภาคสนาม	ทฤษฎี แถวคอย	โปรแกรม SIDRA	ทฤษฎี HCM
16:15- 16:30	228	577	0.40	13.16	10.31	12.30	10.25
16:30- 16:45	288	546	0.53	19.52	13.95	19.10	13.71
16:45- 17:00	264	671	0.39	9.60	8.84	8.50	8.80
17:00- 17:15	252	943	0.27	5.40	5.21	4.00	5.21
17:15- 17:30	380	583	0.65	21.67	17.72	21.40	16.98
17:30- 17:45	220	618	0.36	10.91	9.04	9.90	9.01
17:45- 18:00	148	733	0.20	7.64	6.15	6.40	6.15

โดยเมื่อนำข้อมูลการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย เปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าของวงเวียนที่ได้จากวิธีการเก็บข้อมูลภาคสนาม, เปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA และเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM จากตารางที่ 4.7 มาสร้างกราฟระหว่างความล่าช้าของวงเวียนกับ v/c จะได้ดังภาพที่ 4.3



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล้าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแฉกคอย, ทฤษฎี HCM และโปรแกรม SIDRA และความล้าช้าในภาคสนามกับ v/c

ผลของการเปรียบเทียบค่าความล้าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแฉกคอยเปรียบเทียบกับค่าความล้าช้าของวงเวียนที่ได้จากวิธีการเก็บข้อมูลภาคสนาม, เปรียบเทียบกับค่าความล้าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA และเปรียบเทียบกับค่าความล้าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM พบว่า ความล้าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแฉกคอยมีค่าใกล้เคียงกับความล้าช้าในภาคสนาม โดยความล้าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแฉกคอยจะมีค่าต่ำกว่าความล้าช้าภาคสนามเล็กน้อย แต่จะสูงกว่าค่าความล้าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM และความล้าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA ตามลำดับ ในช่วงที่ v/c ต่ำ (น้อยกว่า 0.30) ขณะที่ในช่วง v/c สูง (มากกว่า 0.30) ความล้าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA จะมีค่าใกล้เคียงกับความล้าช้าในภาคสนาม โดยความล้าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA จะมีค่าต่ำกว่าความล้าช้าภาคสนามเล็กน้อย แต่จะสูงกว่าค่าความล้าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีแฉกคอยและความล้าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้สรุปผลของการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยเพื่อใช้ในการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนและศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM, ค่าความล่าช้าของวงเวียนที่ได้จากโปรแกรม SIDRA และค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นของวงเวียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย สามารถสรุปผลได้ออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

5.1.1 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎี HCM

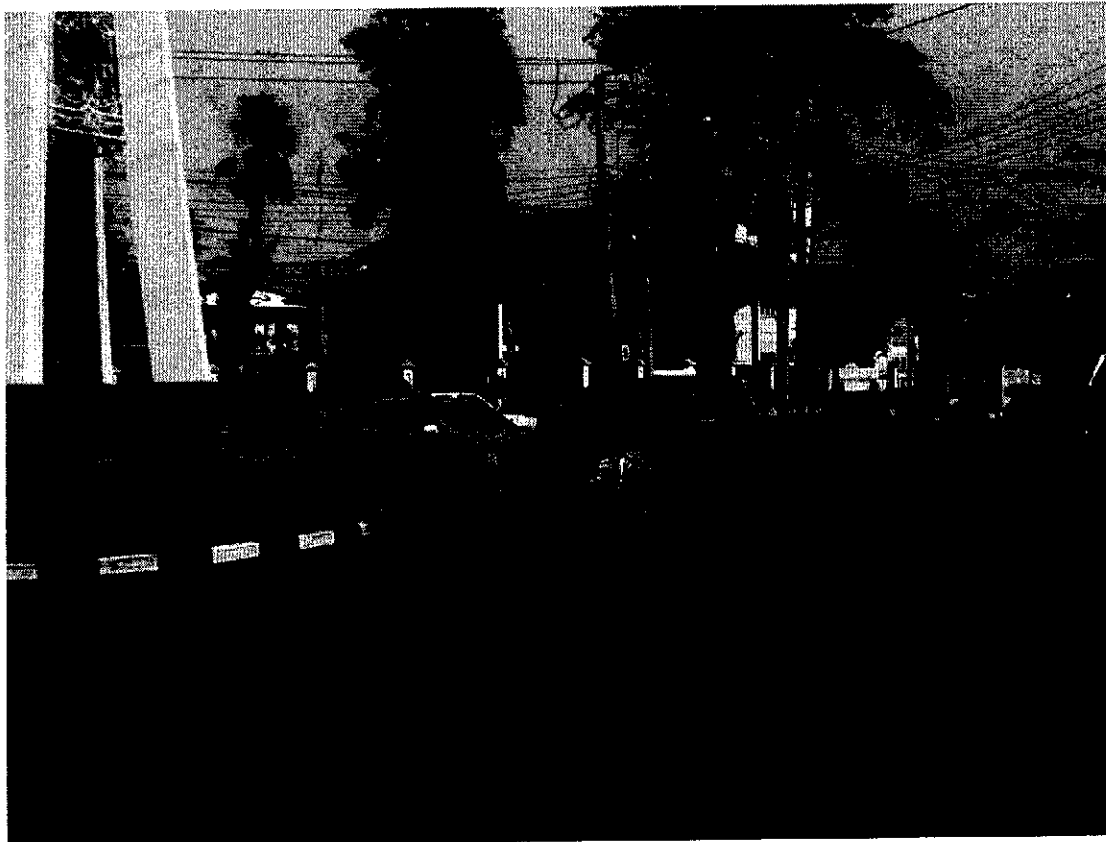
จากผลการวิจัยสามารถอธิบายได้ว่า ความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยมีค่าใกล้เคียงกับความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎี HCM ในช่วง v/c ตั้งแต่ 0.00 จนถึง 0.50 (ร้อยละความแตกต่างน้อยกว่า 1) หลังจากนั้นความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยจะเริ่มมีค่ามากกว่าความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎี HCM โดยผลต่างของความล่าช้าที่ประมาณได้จากทั้งสองวิธีจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อ v/c เพิ่มขึ้น (ร้อยละความแตกต่างอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5) จนกระทั่งเมื่อ v/c มากกว่า 0.75 ผลต่างของความล่าช้าที่ประมาณได้จากทั้งสองวิธีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ร้อยละความแตกต่างอยู่ระหว่าง 5 ถึง 100) แต่ผลต่างของความล่าช้าที่ประมาณได้จากทั้งสองวิธีจะมากที่สุด เมื่อ v/c มากกว่า 0.95 (ร้อยละความแตกต่างมากกว่า 100) และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยเลือกใช้ตัวทดสอบวิธี t-distribution ในช่วง v/c ตั้งแต่ 0.00 จนถึง 0.75 พบว่าความล่าช้าที่ประมาณได้จากทั้ง 2 วิธีไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

5.1.2 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนที่ได้จากโปรแกรม SIDRA

จากผลการวิจัยสามารถอธิบายได้ว่า ความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยมีค่าแตกต่างกับความล่าช้าที่ประมาณได้จากโปรแกรม SIDRA โดยความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยจะเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นของการจราจรเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันความล่าช้าที่ประมาณได้จากโปรแกรม SIDRA ค่อนข้างคงที่และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบการเพิ่มขึ้นของ v/c เป็นเพราะว่าโดยหลักการคำนวณของโปรแกรม SIDRA จะทำการปรับแก้ระยะช่องว่างที่ผู้ขับที่ยอมรับในการขับรถเข้าสู่วงเวียน (gap-acceptance) โดยพิจารณาจากปริมาณการจราจรที่เข้าสู่วงเวียนและปริมาณการจราจรในวง ซึ่งจะมีผลทำให้ช่องว่างวิกฤติและเวลาติดตามของการจราจรนั้นเปลี่ยนไป ส่งผลให้ขีดจำกัดในการให้บริการของวงเวียนเปลี่ยนไปตามปริมาณการจราจรด้วย นอกจากนี้โปรแกรม SIDRA ยังรวมผลกระทบที่เกิดจากลักษณะภูมิประเทศของวงเวียน เช่น ความกว้างของช่องจราจร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงเวียน ความลาดชันของวงเวียน รวมถึงความเร็วของรถขณะที่เข้าสู่วงเวียน

5.1.3 เปรียบเทียบค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยใช้ทฤษฎีแถวคอยกับค่าความล่าช้าของวงเวียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า ความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยมีค่าใกล้เคียงกับความล่าช้าที่ได้จากวิธีการเก็บข้อมูลภาคสนามในช่วง v/c ต่ำ (น้อยกว่า 0.30) ขณะที่ในช่วง v/c สูง (มากกว่า 0.30) ความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยมีค่าแตกต่างกับความล่าช้าที่ได้จากวิธีการเก็บข้อมูลภาคสนามและความล่าช้าที่ประมาณได้จากทฤษฎีแถวคอยจะมีค่าน้อยกว่าความล่าช้าที่ได้จากวิธีการเก็บข้อมูลภาคสนามเสมอ ทั้งนี้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นอันเนื่องมาจากพฤติกรรมรถที่ขับที่รถภายในวงเวียนเช่น การฝ่าฝืนหลักการให้ทาง ซึ่งมีผลทำให้รถในวงเวียนจะต้องหยุดรอ ส่งผลให้เกิดความล่าช้าเพิ่มขึ้น



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 5.1 การผ่านหลักการให้ทางรถในวงเวียน

นอกจากนั้นอาจเกิดจากจากวิธีที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความล่าช้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลความล่าช้าของวงเวียนในทิศเหนือโดยแบ่งช่วงเวลาในการวิจัยเป็นช่วงๆ ช่วงละ 15 นาที โดยใช้วิธีการจับเวลาที่ยานพาหนะทุกคันที่เข้าสู่วงเวียนในทิศเหนือ ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านวงเวียน หลังจากนั้นจึงนำเวลาและจำนวนยานพาหนะที่บันทึกไว้มาคำนวณหาค่าความล่าช้าเฉลี่ย เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและบุคลากร ซึ่งเป็นวิธีที่แตกต่างจากทฤษฎี HCM

โดยทฤษฎี HCM ระบุวิธีการเก็บข้อมูลความล่าช้าไว้ดังนี้ การเก็บข้อมูลความล่าช้าจะต้องให้ผู้สำรวจจำนวน 2 คน โดยที่คนแรกจะทำการบันทึกจำนวนยานพาหนะทุกคันที่เข้าสู่วงเวียนในทิศทางที่ต้องการเก็บข้อมูลและจำนวนยานพาหนะที่หยุด ในช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล คนที่สองจะต้องทำการบันทึกจำนวนยานพาหนะที่อยู่ในแถวคอยที่เกิดขึ้น โดยจะบันทึกจำนวนยานพาหนะที่อยู่ในแถวคอยเป็นช่วงเวลาย่อยๆ โดยปกติในการวิจัยจะกำหนดช่วงเวลาย่อยนี้เป็น 15 วินาที เช่น 8 คัน/15 วินาที เป็นต้น

หลังจากนั้นทำการคำนวณหาความล่าช้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแถวคอยได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$d_{vq} = (I_s * \frac{\sum v_{iq}}{v_{tot}}) * 0.9 \quad (4)$$

โดยที่

d_{vq}	=	ความล่าช้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแถวคอย (วินาที)
I_s	=	ช่วงเวลาระหว่างการนับรถในแถวคอย (วินาที)
v_{iq}	=	จำนวนยานพาหนะที่อยู่ในแถวคอย (คัน)
v_{tot}	=	จำนวนยานพาหนะที่เข้าสู่วงเวียน (คัน)

และคำนวณความล่าช้าที่เกิดจากการเร่ง/ลดความเร็วของยานพาหนะได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$d_{ad} = \frac{v_{stop}}{v_{tot}} * CF \quad (5)$$

โดยที่

d_{ad}	=	ความล่าช้าที่เกิดจากการเร่ง/ลดความเร็ว (วินาที)
v_{stop}	=	จำนวนยานพาหนะที่หยุด(คัน)
v_{tot}	=	จำนวนยานพาหนะที่เข้าสู่วงเวียน (คัน)
CF	=	ค่าปรับแก้เนื่องจากการเร่ง/ลดความเร็วของยานพาหนะ (วินาที)

ซึ่งความล่าช้าที่ระบุไว้ในทฤษฎี HCM คือผลรวมของความล่าช้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแถวคอย กับความล่าช้าที่เกิดจากการเร่ง/ลดความเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

ข้อเสนอแนะที่จะทำให้งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์และปรับปรุงต่อยอดไปได้อีกดังต่อไปนี้

1. จำลองปริมาณการเข้ามาใช้บริการของวงเวียนให้มีความละเอียดมากขึ้น และจำลองรูปแบบการเข้ามาใช้บริการวงเวียนให้มีความหลากหลายมากขึ้นเช่น การเข้ามาใช้บริการวงเวียนแบบสมมาตร หรือไม่สมมาตร เป็นต้น และศึกษาการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยทฤษฎีอื่นเพิ่มเติม
2. ศึกษาการประมาณค่าความล่าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่นเพิ่มเติม เช่น Paramics หรือ Synchro เป็นต้น เพื่อสนับสนุนความน่าเชื่อถือของทฤษฎีแถวคอย รวมทั้งประยุกต์ใช้กับระบบอื่นๆของทฤษฎีแถวคอยเช่น M/G/1 เป็นต้น
3. เก็บข้อมูลปริมาณและความล่าช้าของการจราจรให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้น โดยอ้างอิงหลักการเก็บข้อมูลจาก HCM ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลที่ต้องมีความละเอียดและต้องมียกประมาณในการเก็บข้อมูล

บรรณานุกรม

- [1] กมล ปุนศิริ. การประยุกต์ใช้โปรแกรม SIDRA ในการวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรในเมืองหาดใหญ่และในเมืองอุบลราชธานี.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมโยธา(การขนส่ง)มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2542.
- [2] Rahmi Akcelik. A Roundabout Case study Comparing Capacity Estimates from Alternative Analytical Model.2nd Urban Street Symposium (Anaheim, California) -July 28-30 2003.
- [3] Timothy Oketch. EVALUATION OF PERFORMANCE OF MODERN ROUNDABOUTS USING PARAMICS MICRO-SIMULATION MODEL.TAC 2004
- [4] Rahmi Akcelik. Capacity and Performance Analysis of Roundabout Metering Signals. TRB National Roundabout Conference, Vail, Colorado, USA, 22-25 May 2005
- [5] Mark C. Smith. Assessing the Accuracy of Roundabouts Analysis Procedures against Field Observations: Preliminary Results from a Case Study in Northern New England.TRB Paper #07-2868 2006.
- [6] Maria de Lurdes Simoes. Queues with sever vacation in urban traffic control. Actas do IX Congresso Annual da SPE 2007, pp.1181-1186.

ภาคผนวก

ความล่าช้าของวงเวียนโดยโปรแกรม SIDRA

1.เมื่อทำการจำลองการเข้ามาใช้บริการของวงเวียนในทิศตะวันตก

Title

Subtitle

Intersection ID: 1

Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
North: North Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
West: West Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
INTERSECTION:						
300	0.19	2.3	0.196	0.29	13.68	24.5

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.05	2.4	0.235	0.31	3.44	24.5
North: North Approach						
75	0.05	2.4	0.235	0.31	3.44	24.5
West: West Approach						
100	0.07	2.5	0.193	0.31	4.59	24.5
INTERSECTION:						
325	0.22	2.4	0.213	0.31	14.88	24.5

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.05	2.6	0.268	0.33	3.45	24.5
North: North Approach						
75	0.05	2.6	0.268	0.33	3.45	24.5
West: West Approach						
125	0.09	2.6	0.190	0.33	5.76	24.5
INTERSECTION:						
350	0.25	2.5	0.225	0.32	16.08	24.5

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.01	0.3	0.196	0.29	3.43	24.5
East: East Approach						
75	0.02	0.7	0.298	0.34	3.47	24.4
North: North Approach						
75	0.02	0.7	0.298	0.34	3.47	24.4
West: West Approach						
150	0.01	0.3	0.187	0.33	6.94	24.5
INTERSECTION:						
375	0.05	0.5	0.233	0.33	17.31	24.5

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.06	2.8	0.325	0.36	3.48	24.4
North: North Approach						
75	0.06	2.8	0.325	0.36	3.48	24.4
West: West Approach						
175	0.13	2.7	0.183	0.34	8.08	24.5
INTERSECTION:						
400	0.30	2.7	0.238	0.34	18.46	24.5

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.06	3.0	0.349	0.37	3.49	24.4
North: North Approach						
75	0.06	3.0	0.349	0.37	3.49	24.4
West: West Approach						
200	0.15	2.7	0.178	0.34	9.24	24.5
INTERSECTION:						
425	0.32	2.8	0.242	0.34	19.64	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.07	3.1	0.372	0.39	3.51	24.4
North: North Approach						
75	0.07	3.1	0.372	0.39	3.51	24.4
West: West Approach						
225	0.17	2.8	0.174	0.34	10.39	24.5
INTERSECTION:						
450	0.35	2.8	0.243	0.35	20.82	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.07	3.3	0.393	0.40	3.52	24.4
North: North Approach						
75	0.07	3.3	0.393	0.40	3.52	24.4
West: West Approach						
250	0.19	2.8	0.175	0.35	11.56	24.4
INTERSECTION:						
475	0.38	2.9	0.247	0.36	22.02	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.07	3.4	0.413	0.42	3.53	24.3
North: North Approach						
75	0.07	3.4	0.413	0.42	3.53	24.3
West: West Approach						
275	0.22	2.8	0.177	0.35	12.73	24.4
INTERSECTION:						
500	0.41	2.9	0.250	0.36	23.22	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.07	3.6	0.431	0.43	3.55	24.3
North: North Approach						
75	0.07	3.6	0.431	0.43	3.55	24.3
West: West Approach						
300	0.24	2.8	0.178	0.35	13.90	24.4
INTERSECTION:						
525	0.43	3.0	0.253	0.37	24.41	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.08	3.8	0.449	0.44	3.56	24.3
North: North Approach						
75	0.08	3.8	0.449	0.44	3.56	24.3
West: West Approach						
325	0.26	2.9	0.180	0.35	15.07	24.4
INTERSECTION:						
550	0.46	3.0	0.255	0.37	25.61	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.08	3.9	0.466	0.46	3.57	24.3
North: North Approach						
75	0.08	3.9	0.466	0.46	3.57	24.3
West: West Approach						
350	0.28	2.9	0.182	0.35	16.25	24.4
INTERSECTION:						
575	0.49	3.1	0.258	0.37	26.81	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.08	4.1	0.482	0.47	3.59	24.3
North: North Approach						
75	0.08	4.1	0.482	0.47	3.59	24.3
West: West Approach						
375	0.30	2.9	0.183	0.36	17.42	24.4
INTERSECTION:						
600	0.52	3.1	0.260	0.38	28.01	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.09	4.2	0.498	0.48	3.60	24.3
North: North Approach						
75	0.09	4.2	0.498	0.48	3.60	24.3
West: West Approach						
400	0.32	2.9	0.185	0.36	18.60	24.4
INTERSECTION:						
625	0.55	3.2	0.261	0.38	29.21	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.09	4.4	0.513	0.50	3.61	24.3
North: North Approach						
75	0.09	4.4	0.513	0.50	3.61	24.3
West: West Approach						
425	0.35	2.9	0.187	0.36	19.77	24.4
INTERSECTION:						
650	0.58	3.2	0.263	0.38	30.42	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.10	4.6	0.527	0.51	3.63	24.3
North: North Approach						
75	0.10	4.6	0.527	0.51	3.63	24.3
West: West Approach						
450	0.37	2.9	0.189	0.36	20.95	24.4
INTERSECTION:						
675	0.61	3.2	0.265	0.39	31.62	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.10	4.8	0.541	0.52	3.64	24.2
North: North Approach						
75	0.10	4.8	0.541	0.52	3.64	24.2
West: West Approach						
475	0.39	3.0	0.191	0.36	22.13	24.4
INTERSECTION:						
700	0.64	3.3	0.267	0.39	32.83	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.10	5.0	0.555	0.53	3.65	24.2
North: North Approach						
75	0.10	5.0	0.555	0.53	3.65	24.2
West: West Approach						
500	0.41	3.0	0.193	0.36	23.31	24.4
INTERSECTION:						
725	0.67	3.3	0.268	0.39	34.03	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.11	5.2	0.568	0.54	3.67	24.2
North: North Approach						
75	0.11	5.2	0.568	0.54	3.67	24.2
West: West Approach						
525	0.44	3.0	0.195	0.36	24.49	24.4
INTERSECTION:						
750	0.70	3.4	0.270	0.39	35.24	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.11	5.4	0.581	0.56	3.68	24.1
North: North Approach						
75	0.11	5.4	0.581	0.56	3.68	24.1
West: West Approach						
550	0.46	3.0	0.198	0.36	25.67	24.4
INTERSECTION:						
775	0.73	3.4	0.272	0.39	36.45	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.12	5.6	0.594	0.57	3.69	24.1
North: North Approach						
75	0.12	5.6	0.594	0.57	3.69	24.1
West: West Approach						
575	0.48	3.0	0.200	0.37	26.86	24.4
INTERSECTION:						
800	0.76	3.4	0.274	0.40	37.67	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.12	5.8	0.607	0.58	3.71	24.1
North: North Approach						
75	0.12	5.8	0.607	0.58	3.71	24.1
West: West Approach						
600	0.50	3.0	0.202	0.37	28.04	24.4
INTERSECTION:						
825	0.79	3.5	0.275	0.40	38.88	24.4

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.13	6.0	0.619	0.59	3.72	24.0
North: North Approach						
75	0.13	6.0	0.619	0.59	3.72	24.0
West: West Approach						
625	0.53	3.0	0.205	0.37	29.23	24.4
INTERSECTION:						
850	0.82	3.5	0.277	0.40	40.10	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.13	6.3	0.631	0.60	3.74	24.0
North: North Approach						
75	0.13	6.3	0.631	0.60	3.74	24.0
West: West Approach						
650	0.55	3.0	0.208	0.37	30.42	24.4
INTERSECTION:						
875	0.86	3.5	0.279	0.40	41.32	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.14	6.5	0.643	0.61	3.76	24.0
North: North Approach						
75	0.14	6.5	0.643	0.61	3.76	24.0
West: West Approach						
675	0.57	3.0	0.210	0.37	31.61	24.4
INTERSECTION:						
900	0.89	3.6	0.281	0.40	42.54	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.14	6.8	0.655	0.62	3.77	23.9
North: North Approach						
75	0.14	6.8	0.655	0.62	3.77	23.9
West: West Approach						
700	0.59	3.1	0.213	0.37	32.80	24.4
INTERSECTION:						
925	0.92	3.6	0.284	0.40	43.76	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.15	7.0	0.667	0.63	3.79	23.9
North: North Approach						
75	0.15	7.0	0.667	0.63	3.79	23.9
West: West Approach						
725	0.62	3.1	0.216	0.37	33.99	24.4
INTERSECTION:						
950	0.96	3.6	0.286	0.41	44.99	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.15	7.3	0.678	0.65	3.80	23.8
North: North Approach						
75	0.15	7.3	0.678	0.65	3.80	23.8
West: West Approach						
750	0.64	3.1	0.220	0.37	35.19	24.4
INTERSECTION:						
975	0.99	3.7	0.288	0.41	46.22	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.16	7.6	0.690	0.66	3.82	23.8
North: North Approach						
75	0.16	7.6	0.690	0.66	3.82	23.8
West: West Approach						
775	0.66	3.1	0.223	0.37	36.39	24.4
INTERSECTION:						
1000	1.03	3.7	0.291	0.41	47.45	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.16	7.9	0.701	0.67	3.84	23.8
North: North Approach						
75	0.16	7.9	0.701	0.67	3.84	23.8
West: West Approach						
800	0.69	3.1	0.226	0.37	37.59	24.4
INTERSECTION:						
1025	1.06	3.7	0.294	0.41	48.69	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.17	8.2	0.712	0.68	3.86	23.7
North: North Approach						
75	0.17	8.2	0.712	0.68	3.86	23.7
West: West Approach						
825	0.71	3.1	0.230	0.37	38.79	24.4
INTERSECTION:						
1050	1.10	3.8	0.296	0.41	49.93	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.18	8.6	0.723	0.69	3.88	23.7
North: North Approach						
75	0.18	8.6	0.723	0.69	3.88	23.7
West: West Approach						
850	0.74	3.1	0.234	0.37	40.00	24.4
INTERSECTION:						
1075	1.14	3.8	0.299	0.41	51.17	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.19	8.9	0.734	0.70	3.90	23.6
North: North Approach						
75	0.19	8.9	0.734	0.70	3.90	23.6
West: West Approach						
875	0.76	3.1	0.238	0.37	41.20	24.4
INTERSECTION:						
1100	1.18	3.9	0.303	0.41	52.42	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.19	9.3	0.744	0.71	3.92	23.6
North: North Approach						
75	0.19	9.3	0.744	0.71	3.92	23.6
West: West Approach						
900	0.78	3.1	0.242	0.38	42.41	24.4
INTERSECTION:						
1125	1.22	3.9	0.306	0.42	53.67	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.20	9.6	0.755	0.73	3.94	23.5
North: North Approach						
75	0.20	9.6	0.755	0.73	3.94	23.5
West: West Approach						
925	0.81	3.1	0.246	0.38	43.63	24.4
INTERSECTION:						
1150	1.26	3.9	0.309	0.42	54.93	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.21	10.0	0.765	0.74	3.96	23.4
North: North Approach						
75	0.21	10.0	0.765	0.74	3.96	23.4
West: West Approach						
950	0.83	3.2	0.251	0.38	44.86	24.4
INTERSECTION:						
1175	1.30	4.0	0.313	0.42	56.20	24.3

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.22	10.5	0.775	0.75	3.98	23.4
North: North Approach						
75	0.22	10.5	0.775	0.75	3.98	23.4
West: West Approach						
975	0.86	3.2	0.256	0.38	46.09	24.4
INTERSECTION:						
1200	1.34	4.0	0.317	0.42	57.47	24.2

Title

Subtitle

Intersection ID: 1

Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.23	10.9	0.785	0.76	4.01	23.3
North: North Approach						
75	0.23	10.9	0.785	0.76	4.01	23.3
West: West Approach						
1000	0.88	3.2	0.261	0.38	47.33	24.4
INTERSECTION:						
1225	1.38	4.1	0.321	0.42	58.76	24.2

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.24	11.3	0.795	0.78	4.03	23.3
North: North Approach						
75	0.24	11.3	0.795	0.78	4.03	23.3
West: West Approach						
1025	0.91	3.2	0.267	0.38	48.57	24.3
INTERSECTION:						
1250	1.43	4.1	0.326	0.42	60.05	24.2

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.25	11.8	0.804	0.79	4.06	23.2
North: North Approach						
75	0.25	11.8	0.804	0.79	4.06	23.2
West: West Approach						
1050	0.94	3.2	0.272	0.38	49.81	24.3
INTERSECTION:						
1275	1.48	4.2	0.330	0.42	61.34	24.2

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.26	12.3	0.813	0.80	4.08	23.1
North: North Approach						
75	0.26	12.3	0.813	0.80	4.08	23.1
West: West Approach						
1075	0.96	3.2	0.278	0.38	51.07	24.3
INTERSECTION:						
1300	1.52	4.2	0.335	0.42	62.65	24.2

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.27	12.9	0.822	0.82	4.11	23.0
North: North Approach						
75	0.27	12.9	0.822	0.82	4.11	23.0
West: West Approach						
1100	0.99	3.2	0.285	0.38	52.33	24.3
INTERSECTION:						
1325	1.57	4.3	0.341	0.43	63.97	24.2

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.28	13.4	0.831	0.83	4.14	23.0
North: North Approach						
75	0.28	13.4	0.831	0.83	4.14	23.0
West: West Approach						
1125	1.02	3.2	0.292	0.38	53.59	24.3
INTERSECTION:						
1350	1.62	4.3	0.346	0.43	65.29	24.2

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.29	14.0	0.839	0.84	4.17	22.9
North: North Approach						
75	0.29	14.0	0.839	0.84	4.17	22.9
West: West Approach						
1150	1.04	3.3	0.299	0.38	54.87	24.3
INTERSECTION:						
1375	1.68	4.4	0.352	0.43	66.63	24.2

Title
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
75	0.05	2.3	0.196	0.29	3.42	24.5
East: East Approach						
75	0.31	14.7	0.847	0.86	4.20	22.8
North: North Approach						
75	0.31	14.7	0.847	0.86	4.20	22.8
West: West Approach						
1175	1.07	3.3	0.307	0.38	56.15	24.3
INTERSECTION:						
1400	1.73	4.4	0.359	0.43	67.98	24.2

2. เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

Field

Subtitle

Intersection ID: 1

Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
76	0.06	2.7	0.304	0.34	3.51	24.4
East: East Approach						
112	0.08	2.7	0.297	0.35	5.17	24.4
North: North Approach						
136	0.11	2.8	0.292	0.36	6.31	24.4
West: West Approach						
184	0.10	2.0	0.150	0.27	8.28	24.6
INTERSECTION:						
508	0.35	2.5	0.243	0.32	23.27	24.5

Field

Subtitle

Intersection ID: 1

Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
200	0.23	4.1	0.492	0.50	9.61	24.3
East: East Approach						
304	0.30	3.6	0.456	0.47	14.43	24.3
North: North Approach						
228	0.27	4.3	0.507	0.52	11.03	24.3
West: West Approach						
392	0.30	2.8	0.338	0.37	18.17	24.4
INTERSECTION:						
1124	1.11	3.6	0.432	0.45	53.24	24.3

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
328	0.41	4.5	0.568	0.56	15.94	24.3
East: East Approach						
404	0.55	4.9	0.599	0.59	19.82	24.2
North: North Approach						
220	0.42	6.9	0.676	0.69	11.19	23.9
West: West Approach						
652	0.59	3.2	0.415	0.43	30.70	24.3
INTERSECTION:						
1604	1.97	4.4	0.528	0.53	77.65	24.2

Field

Subtitle

Intersection ID: 1

Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
388	0.43	4.0	0.532	0.52	18.66	24.3
East: East Approach						
368	0.43	4.2	0.541	0.53	17.76	24.3
North: North Approach						
220	0.39	6.3	0.653	0.66	11.06	24.0
West: West Approach						
588	0.57	3.5	0.460	0.46	27.94	24.3
INTERSECTION:						
1564	1.82	4.2	0.524	0.52	75.42	24.2

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
400	0.44	3.9	0.546	0.52	19.21	24.3
East: East Approach						
332	0.40	4.3	0.537	0.54	16.05	24.3
North: North Approach						
232	0.44	6.8	0.674	0.68	11.77	23.9
West: West Approach						
580	0.52	3.2	0.384	0.42	27.24	24.3
INTERSECTION:						
1544	1.79	4.2	0.503	0.51	74.27	24.2

Field

Subtitle

Intersection ID: 1

Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
316	0.31	3.5	0.510	0.48	14.98	24.3
East: East Approach						
432	0.40	3.3	0.461	0.45	20.41	24.3
North: North Approach						
184	0.30	5.9	0.625	0.62	9.17	24.1
West: West Approach						
608	0.49	2.9	0.353	0.39	28.27	24.4
INTERSECTION:						
1540	1.50	3.5	0.448	0.45	72.83	24.3

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
432	0.42	3.5	0.451	0.46	20.52	24.3
East: East Approach						
292	0.28	3.4	0.446	0.45	13.79	24.3
North: North Approach						
184	0.34	6.7	0.667	0.67	9.29	23.9
West: West Approach						
512	0.60	4.2	0.534	0.53	24.80	24.2
INTERSECTION:						
1420	1.64	4.2	0.508	0.51	68.39	24.2

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
340	0.37	3.9	0.519	0.50	16.29	24.3
East: East Approach						
304	0.29	3.4	0.432	0.45	14.36	24.3
North: North Approach						
184	0.31	6.0	0.622	0.63	9.21	24.0
West: West Approach						
528	0.45	3.1	0.377	0.41	24.68	24.4
INTERSECTION:						
1356	1.41	3.8	0.458	0.47	64.54	24.3

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
356	0.37	3.7	0.470	0.48	17.02	24.3
East: East Approach						
380	0.37	3.5	0.482	0.47	18.02	24.3
North: North Approach						
164	0.34	7.4	0.701	0.69	8.36	23.8
West: West Approach						
628	0.65	3.8	0.484	0.49	30.04	24.3
INTERSECTION:						
1528	1.73	4.1	0.504	0.50	73.43	24.2

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
504	0.53	3.8	0.498	0.49	24.14	24.3
East: East Approach						
352	0.42	4.2	0.550	0.54	16.99	24.3
North: North Approach						
228	0.78	12.3	0.821	1.00	12.78	23.1
West: West Approach						
808	1.37	6.1	0.682	0.73	41.44	24.0
INTERSECTION:						
1892	3.10	5.9	0.625	0.66	95.35	24.0

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
512	1.56	11.0	0.807	1.09	29.06	23.3
East: East Approach						
740	0.99	4.8	0.628	0.62	36.60	24.2
North: North Approach						
288	1.53	19.1	0.877	1.39	18.39	22.2
West: West Approach						
880	2.26	9.2	0.794	1.00	48.89	23.6
INTERSECTION:						
2420	6.35	9.4	0.756	0.95	132.93	23.5

Field

Subtitle

Intersection ID: 1

Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
504	0.76	5.4	0.648	0.65	25.18	24.1
East: East Approach						
496	0.47	3.4	0.460	0.46	23.47	24.3
North: North Approach						
264	0.63	8.5	0.756	0.81	13.84	23.7
West: West Approach						
708	1.28	6.5	0.694	0.76	36.59	24.0
INTERSECTION:						
1972	3.13	5.7	0.632	0.66	99.08	24.1

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
264	0.46	6.3	0.665	0.67	13.27	24.0
East: East Approach						
612	0.50	3.0	0.369	0.40	28.53	24.4
North: North Approach						
252	0.28	4.0	0.510	0.50	12.10	24.3
West: West Approach						
356	0.41	4.2	0.527	0.53	17.17	24.3
INTERSECTION:						
1484	1.66	4.0	0.483	0.49	71.07	24.3

Field

Subtitle

Intersection ID: 1

Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
540	1.74	11.6	0.819	1.13	31.07	23.2
East: East Approach						
592	1.15	7.0	0.708	0.80	30.83	23.9
North: North Approach						
380	2.26	21.4	0.895	1.58	25.46	21.9
West: West Approach						
804	1.67	7.5	0.729	0.85	42.74	23.8
INTERSECTION:						
2316	6.82	10.6	0.772	1.02	130.11	23.4

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
548	0.79	5.2	0.630	0.63	27.25	24.2
East: East Approach						
484	0.51	3.8	0.513	0.50	23.15	24.3
North: North Approach						
220	0.61	9.9	0.782	0.85	11.76	23.5
West: West Approach						
728	1.81	8.9	0.775	0.96	39.94	23.6
INTERSECTION:						
1980	3.71	6.7	0.672	0.75	102.11	23.9

Field
 Subtitle
 Intersection ID: 1
 Roundabout

Table S.6 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Total Delay (veh-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
South: South Approach						
384	0.39	3.6	0.479	0.48	18.29	24.3
East: East Approach						
376	0.32	3.1	0.404	0.41	17.59	24.4
North: North Approach						
148	0.26	6.4	0.658	0.64	7.41	24.0
West: West Approach						
600	0.65	3.9	0.511	0.51	28.81	24.3
INTERSECTION:						
1508	1.62	3.9	0.491	0.49	72.10	24.3

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นายกนก ผจงจิตยางกูร
 วันเดือนปีเกิด ศุกร์ ที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2524
 วุฒิการศึกษา มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย, 2542
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546
 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมขนส่งและสารสนเทศ)
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552