การประมาณความยาวแถวคอย โดยการประยุกต์กราฟปริมาณการจราจรสะสมและการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

นายณพล ศรีศักดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

QUEUE LENGTH ESTIMATION AT SIGNALZED INTERSECTION BY APPLYING CUMULATIVE PLOT AND SHOCKWAVE ANALYSIS

Mr. Napon Srisakda

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineerimg

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณความยาวแถวคอย โดยการประยุกต์กราฟปริมาณการจราจรสะสมและการวิเคราะห์คลื่นกระแทก
โดย	นายณพล ศรีศักดา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมพงศ์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติชัย รุจนกนกนาฏ)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พลเทพ เลิศวรวนิช)

ณพล ศรีศักดา : การประมาณความยาวแถวคอย โดยการประยุกต์กราฟปริมาณการจราจรสะสมและการวิเคราะห์คลื่นกระแทก. (QUEUE LENGTH ESTIMATION AT SIGNALZED INTERSECTION BY APPLYING CUMULATIVE PLOT AND SHOCKWAVE ANALYSIS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สรวิศ นฤปิติ, 141 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการประยุกต์ใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมและการวิเคราะห์คลื่นกระแทก เพื่อประมาณความยาวแถวคอย โดยใช้ข้อมูลจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรทุก 5 วินาที บน 1 ช่วงถนน โดยติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจร 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่รถออกจากทางแยก (A), ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงถนน (B), และ ตำแหน่งรถเข้าสู่ช่วงถนน (C) งานวิจัยนี้พิจารณาทั้งสภาพจราจรที่แถวคอยอยู่ในช่วงทางแยกถึงกึ่งกลางช่วงถนน (A-B) และ สภาพจราจรติดขัดที่แถวคอยยาวล้นเกินตำแหน่งกึ่งกลางช่วงถนน (B-C) ผลการประมาณในแต่ละวิธี จะเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนกับแถวคอยที่วัดจริงจากการสังเกตในภาคสนาม ทั้งในกรณีที่แถวคอยล้นและไม่ล้นตำแหน่ง B ผลการศึกษา พบว่า วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากจำนวนรถสะสมที่ยังไม่ได้ติดแถวคอย การเปลี่ยนช่องจราจรของรถ และ การเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสม ขณะที่วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก ถ้าไม่ได้พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น ความคลาดเคลื่อนจะเกิดจากความแปรผันของค่าคลื่นกระแทก แต่หากใช้กราฟนี้ ความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกจะน้อยลง มีผลทำให้มีความคลาดเคลื่อนลดลง เมื่อเปรียบเทียบผลการประมาณทั้ง 2 วิธี การวิเคราะห์คลื่นกระแทกจะให้ผลการประมาณที่ใกล้เคียงกว่าการใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม นอกจากนี้การพิจารณาตำแหน่ง B-C สามารถช่วยประมาณแถวคอยในสภาพการจราจรที่ติดขัดได้

ภาควิชา …วิศวกรรมโยธา... ลายมือชื่อนิสิต……
สาขาวิชา …วิศวกรรมโยธา..ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์……
ปีการศึกษา …2555……

5370541321 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : QUEUE LENGTH / DETECTOR / ARTERIAL ROAD / SIGNALIZED INTERSECTION

NAPON SRISAKDA : QUEUE LENGTH ESTIMATION AT SIGNALZED INTERSECTION BY APPLYING CUMULATIVE PLOT AND SHOCKWAVE ANALYSIS. ADVISOR : ASSOC. PROF SORAWIT NARUPITI, Ph.D, 141 pp.

This research applied cumulative plot and shockwave analysis to estimate queue length on arterial road in using five seconds interval traffic data collected from traffic detectors. Three detectors: at the downstream (A); at the middle of section (B); and at the upstream (C), were installed on the section. The queue estimation was carried out for both the traffic condition that the queue did not reach the mid-section detector (A-B), and the traffic condition that the queue grew beyond the mid-section (B-C). The observed queue in the field was brought to compare with estimated queue in both detector B spillover and non-spillover cases. The results found significant error of cumulative plot estimation from non-stop vehicles in section considered, lane change, and time lag. For shockwave analysis, without using flow-density curve had error from fluctuation of shockwave values in each five seconds, but using q-k curve was able to reduce it and gave less error. To summarize, shockwave analysis gave more reliable estimation than cumulative plot, and B-C estimation could help to estimate queue in traffic congestion period.

Department : Civil Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Civil Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจสอบและแก้ไขวิยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง และผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมพงศ์ ซึ่งเป็นประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติชัย รุจนกนกนาฏ และ ดร.พลเทพ เลิศวรวนิช ซึ่งเป็นกรรมการ ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้เขียนจนสามารถดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณการทางพิเศษแห่งประเทศไทยที่อำนวยความสะดวกในการขอใช้เครื่องมือเพื่อช่วยในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี รวมไปถึงขอขอบคุณ คุณกัมพล กิตติพงษ์พัฒนา และ คุณศศิภัทร์ อภิชิตชาต นิสิตระดับปริญญาตรี ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนามและรวบข้อมูลได้เป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณ ดร.ปิติ โรจน์วรรณสินธุ์ ที่คอยช่วยให้แนวทาง คำแนะนำ และชี้แนะข้อบกพร่องในการทำวิจัย อีกทั้งรุ่นพี่เพื่อนๆ และน้องๆที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำชี้แนะเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา และพี่สาวที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ อีกทั้งบุคคลหนึ่งที่ให้กำลังผู้เขียนก่อนการสอบวิทยานิพนธ์ด้วย ซึ่งทำให้ผู้เขียนสามารถดำเนินมาถึงจุดนี้ได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 ทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจรที่เกี่ยวข้องกับการประมาณความยาวแถวคอย 7

2.2 วิธีการเก็บข้อมูลจราจร 13

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

2.4 สรุปผลการทบทวนงานวิจัย 30

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 32

3.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษา 33

3.2 การเก็บข้อมูลจราจร 34

3.3 การดำเนินงานวิจัย 43

บทที่ 4 ข้อมูลจราจร 56

4.1 ข้อมูลปริมาณจราจร 56

4.2 ข้อมูลความเร็ว 61

4.3 ข้อมูลแถวคอยที่ได้จากการสังเกตในภาคสนาม 63

4.4 การหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นบนช่วงถนน..... 65

4.5 การระบุช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นหรือไม่ล้นตำแหน่ง B..... 68

หน้า

บทที่ 5 การประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม..... 72
5.1 การเลื่อนของกราฟปริมาณจราจรสะสม 72
5.2 การประมาณแถวคอยโดยพิจารณาสัดส่วนของปริมาณรถเข้าให้เท่ากับรถออกในแต่ละช่องจราจร..... 74
5.3 การวิเคราะห์ผลการประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม..... 80
5.4 การปรับแก้กราฟปริมาณจราจรสะสม..... 90
5.5 การเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงระหว่างแถวคอยจากการประมาณกับแถวคอยวัดจริง..... 92
5.6 สรุปผลการประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม..... 100
บทที่ 6 การประมาณแถวคอยโดยใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทก..... 102
6.1 การวิเคราะห์คลื่นกระแทกโดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล..... 102
6.2 การวิเคราะห์คลื่นกระแทกโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น..... 108
6.3 การเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงระหว่างแถวคอยจากการประมาณกับแถวคอยวัดจริง..... 114
6.4 สรุปผลการประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก..... 128
บทที่ 7 สรุปผลการศึกษา และ ข้อเสนอแนะ..... 131
7.1 สรุปผลจากการศึกษา..... 131
7.2 ปัญหาและอุปสรรค..... 135
7.3 ข้อเสนอแนะ และ แนวทางการศึกษาในอนาคต..... 137
รายการอ้างอิง..... 139
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 141

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลของค่า MAPE ที่ได้จากการหาแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟจากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 วัน.....	22
3.1	ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลท้ายแถวในระยะต่างๆ	39
3.2	ตัวอย่างตารางเพื่อบันทึกข้อมูลจราจรในกรณีที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น.....	42
3.3	ตัวอย่างตารางเพื่อคำนวณหาความยาวแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก ในกรณีที่ท้ายแถวยังไม่ล้นตำแหน่ง B.....	52
5.1	ค่าเวลาเดินทางของรถที่สุ่มมาในแต่ละรอบสัญญาณไฟ.....	73
5.1	ปริมาณรถที่เข้าสู่ตำแหน่ง B และ ออกจากตำแหน่ง A พร้อมกับแสดงสัดส่วนทั้ง 3 ช่องจราจร ในช่วงเวลาระหว่าง 16:15-16:55น.....	71
5.2	ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการปรับแก้ในแต่ละรอบสัญญาณในช่องจราจรที่ 1	75
5.3	ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการปรับแก้ในแต่ละรอบสัญญาณในช่องจราจรที่ 2	75
5.4	ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการปรับแก้ในแต่ละรอบสัญญาณในช่องจราจรที่ 3	76
5.5	ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการปรับแก้ในแต่ละรอบสัญญาณรวม 2 ช่องจราจรไปตรง.....	76
5.6	ช่วงที่ท้ายแถวเริ่มล้นตำแหน่ง B รวม 2 ช่องจราจรที่ไปตรง.....	86
5.7	สรุปความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณความยาวแถวคอยของ ในวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม ในช่วงเวลาที่ท้ายแถวไม่ล้น และ ล้นตำแหน่ง B.....	93
5.8	ความยาวแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ รวม 2 ช่องจราจร.....	95
5.9	ผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ระหว่างการประมาณกับแถวคอยวัดจริง.....	97
6.1	สรุปค่า MAPE ที่เกิดขึ้นจากการประมาณความยาวแถวคอยในแต่ละกรณีของวิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก.....	122
6.2	สรุปค่า RMSE ที่เกิดขึ้นจากการประมาณความยาวแถวคอยในแต่ละกรณีของวิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก.....	122
6.3	ความยาวแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก.....	124

ตารางที่ หน้า

6.4 ผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ระหว่างการประมาณกับแถวคอยวัดจริง..... 126

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ขอบเขตของการวิจัย	5
2.1	กราฟปริมาณจราจรสะสม	8
2.2	คลื่นกระแทก	10
2.3	แผนภูมิเวลากับระยะทาง	11
2.4	Pneumatic road tubes detector	13
2.5	Inductive loop detector	14
2.6	เครื่องตรวจวัดแบบ Non-intrusive detector โดยใช้กล้องอิมเมจโพรเซสซิ่ง	16
2.7	ข้อมูลจราจรจากกล้องอิมเมจโพรเซสซิ่ง	17
2.8	กราฟการเคลื่อนที่แบบเฉือนที่เกิดขึ้น	18
2.9	การเปลี่ยนแปลงของแถวคอยที่เกิดขึ้น ณ เวลา t_1 และ t_2	19
2.10	การประมาณแถวคอยกรณีที่ความยาวแถวคอยล้นเครื่องตรวจวัดการจราจรโดยพิจารณาจุด Breakpoint	21
2.11	การหาจุด Breakpoint A, B และ C ที่วัดได้จาก Occupancy Time	21
2.12	ช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอย ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร	27
2.13	Occupancy ที่เกิดขึ้นในช่วงถนนที่ทำการศึกษา	29
2.14	แผนภาพเวลา กับ ระยะทางที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะใช้ในการจัดการสัญญาณไฟจราจร	30
3.1	แนวทางการวิจัย	32
3.2	พื้นที่ศึกษาระหว่างแยกประดิพัทธ์ถึงแยกพิบูลย์วัฒนา	33
3.3	ตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดที่ทำการเก็บข้อมูลจราจร	34
3.4	ตำแหน่งและภาพที่ได้จากกล้องตัวที่ 1 (A)	35
3.5	ตำแหน่งและภาพที่ได้จากกล้องตัวที่ 2 (B)	35
3.6	ตำแหน่งและภาพที่ได้จากกล้องตัวที่ 3 (C)	36
3.7	ตัวอย่างการระบุแถวคอยที่ได้จาการสังเกตในภาคสนามในงานวิจัยนี้	37
3.8	ระยะระหว่างตอม่อของพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการวัดแถวคอยจากการสังเกต	38
3.9	การกดตัวเลข 1 2 และ 3 เพื่อจำแนกประเภทรถ และช่องจราจร	39

รูปที่		หน้า
3.10	การใช้งานโปรแกรม Autoscope.....	39
3.11	กระบวนการหาแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม.....	44
3.12	การปรับแก้สัดส่วนปริมาณรถเข้าในแต่ละช่องจราจรให้เท่ากับรถออก ในแต่ละช่องจราจร.....	45
3.13	กระบวนการหาแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก.....	47
3.14	แผนภาพแสดงคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นทั้งในกรณีสภาพการจราจรที่เป็นแบบ Saturation flow (ก) และ Oversaturation flow (ข).....	49
3.15	การหาความยาวแถวคอยจากการวิเคราะห์คลื่นกระแทกในกรณีที่ท้ายแถวยังไม่ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ B.....	50
3.16	การหาความยาวแถวคอยจากการวิเคราะห์คลื่นกระแทกในกรณีที่ท้ายแถวได้ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ B ไปแล้ว.....	50
3.17	การนำปริมาณจราจรเพื่อมาหาความหนาแน่นจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น.....	52
3.18	กระบวนหาแถวคอยในกรณีที่ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดจราจรที่ B ทั้งวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม และ วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก.....	54
4.1	ตัวอย่างปริมาณจราจรที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ในช่องจราจรที่ 1โดยวัดทุก 5 วินาที.....	57
4.2	ท้ายแถวคอยที่ล้นถึงตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร B.....	58
4.3	ท้ายแถวคอยไม่ล้นถึงตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร B.....	59
4.4	ตัวอย่างปริมาณจราจรที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่งในช่องจราจรที่ 1 โดยวัดทุก 15 วินาที.....	60
4.5	การกระจายของความเร็วที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ในช่องจราจรที่ 1.....	62
4.6	ตัวอย่างแถวคอยที่วัดได้จากการสังเกตในช่องจราจรที่ 1.....	63
4.7	แถวคอยที่วัดจริงในภาคสนามโดยอ้างอิงตำแหน่งตอม่อทางพิเศษทั้ง 3 ช่องจราจร.....	64
4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น ทั้งในสภาพการจราจรที่หนาแน่นและเบาบาง ที่ตำแหน่ง A และ B.....	65

รูปที่		หน้า
4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น พร้อมทั้งสมการแบบจำลอง ของช่วงถนนในพื้นที่ศึกษา.....	67
4.10	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองจากการแทนค่าความหนาแน่นต่างๆ.....	67
4.11	ตัวอย่างการล้นของท้ายแถวในช่องจราจรที่ 1 ในช่วงเวลา 5 นาที.....	69
4.12	ช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นตำแหน่ง B ได้ในช่องจราจรที่ 1.....	70
4.13	ช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นตำแหน่ง B ได้ในในช่องจราจรที่ 2.....	70
4.14	ช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นตำแหน่ง B ได้ในในช่องจราจรที่ 3.....	71
4.15	ช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นตำแหน่ง B รวม 2 ช่องจราจรไปตรง.....	72
5.1	ผลจากการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้า.....	73
5.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรสะสม กับ เวลา ในช่องจราจรที่ 1.....	77
5.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรสะสม กับ เวลา ในช่องจราจรที่ 2.....	78
5.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรสะสม กับ เวลา ในช่องจราจรที่ 3.....	79
5.5	การประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมระหว่างตำแหน่ง A กับ B กรณีคิดรวม 2 ช่องจราจรไปตรง.....	80
5.6	ตัวอย่างการวิเคราะห์ Cumulative Plot ในช่วงที่ไม่ล้นตำแหน่ง B (A-B) ระหว่างเวลา 16:35-16:50 น. รวม 2 ช่วงจราจรไปตรง.....	82
5.7	กรณีที่แถวคอยวัดจริงมีค่ามากกว่าแถวคอยที่ได้จากกราฟปริมาณจราจรสะสม..	84
5.8	ตัวอย่างของรอบสัญญาณไฟที่แถวคอยจากการประมาณมีค่ามากกว่าแถวคอยวัดจริง.....	85
5.9	ตัวอย่างของรอบสัญญาณไฟที่แถวคอยจากการประมาณมีค่าน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง.....	85
5.10	การล้นของท้ายแถว ณ ตำแหน่ง B โดยการดูกราฟปริมาณจราจรสะสม และ Occupancy.....	87
5.11	ผลที่ได้จากการประมาณแถวคอยในช่วง B-C รวม 2 ช่องจราจร.....	88
5.12	ตัวอย่างการอภิปรายผลของการประมาณแถวคอยในช่วง B-C ที่เกิดขึ้น.....	89
5.13	ผลการปรับแก้โดยเลื่อนกราฟออกไป 55 วินาที ในช่วงเวลา 16:30-16:40 น. เมื่อเทียบกับการเลื่อนกราฟโดยใช้เวลาเดิม.....	91

รูปที่		หน้า
5.14	ผลการปรับแก้โดยเลื่อนกราฟออกไป 1 นาที 25 วินาที ในช่วงเวลา 16:30-16:40 น. เมื่อเทียบกับการเลื่อนกราฟโดยใช้เวลาเดิม.....	92
5.15	การประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม รวม 2 ช่องจราจร.....	94
5.16	การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากส่วนที่แรเงา.....	95
5.17	ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม.....	96
5.18	ค่า MAPE ที่เกิดขึ้น ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม	97
6.1	ตัวอย่างลักษณะของการเกิดแถวคอย จากกลุ่มรถที่ผ่านตำแหน่ง B ทุก 5 วินาทีที่เข้าไปต่อท้ายแถวคอย (สมมติฐานรถสามารถแซงกันได้).....	103
6.2	ตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล.....	104
6.3	การประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อพิจาณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล.....	105
6.4	ตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล.....	107
6.5	การประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มการพิจาณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล.....	107
6.6	ความเร็วที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นทั้งในสถานะจราจรจาก 1 ไป 2 และ 3 ไป 2.....	108
6.7	ตัวอย่างลักษณะของการเกิดแถวคอย จากกลุ่มรถที่ผ่านตำแหน่ง B ทุก 5 วินาทีที่เข้าไปต่อท้ายแถว (สมมติฐานรถจากสถานะ 1 ไป 2 มีความเร็วคงที่).....	109
6.8	ตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น.....	110
6.9	การประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อพิจาณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น.....	111

รูปที่		หน้า
6.10	ตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น.....	112
6.11	การประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อพิจาณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น.....	113
6.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น ระหว่างการคำนวณแยกช่องจราจร กับ รวม 2 ช่องจราจรไปตรง.....	113
6.13	การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 (ไม่ใช้กราฟ q-k).....	115
6.14	การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 2 (ไม่ใช้กราฟ q-k).....	116
6.15	การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B รวม 2 ช่องจราจรไปตรง (ไม่ใช้กราฟ q-k).....	118
6.16	การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 (ใช้กราฟ q-k)	119
6.17	การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 2 (ใช้กราฟ q-k)	120
6.18	การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B รวม 2 ช่องจราจรไปตรง (ใช้กราฟ q-k).....	121
6.19	การเปรียบเทียบการประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกกับแถวคอยวัดจริง ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ.....	123
6.20	ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก.....	125
6.21	ค่า MAPE ที่เกิดขึ้น ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก.....	125

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แถวคอย (Queue) เป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นและพบเห็นโดยทั่วไป โดยเฉพาะบนถนนที่มีสภาพการจราจรหนาแน่นไม่ว่าจะเป็นถนนที่ไม่มีการรบกวนกระแสจราจรจากการควบคุมการจราจร (Uninterrupted flow) เช่น ทางพิเศษ (ทางด่วน) หรือมอเตอร์เวย์ หรือถนนที่มีการรบกวนกระแสจราจร (Interrupted flow) เช่น ถนนในเขตเมืองที่มีสัญญาณไฟ (Arterial and Urban street) แถวคอยที่เกิดขึ้นบนทางพิเศษ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากสภาพการจราจรที่หนาแน่น และ การชะลอ/เร่งตัวของการจราจรในกระแสจราจร หรือ มีสิ่งกีดขวางการจราจร เช่น มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น ในขณะที่แถวคอยบนถนนในเขตเมืองนั้น สามารถพบเห็นได้เป็นปกติบริเวณทางแยก โดยเกิดจากกลุ่มรถที่ต้องจอดรอเนื่องจากติดสัญญาณไฟแดงจนเป็น วัฏจักร และ แถวคอยประเภทนี้ มีผลกระทบต่อสภาพการจราจรมากที่สุด เพราะจะเกิดอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่แถวคอยบนทางพิเศษอาจเกิดขึ้นเฉพาะช่วงเวลาที่มีปริมาณมาก หรือ มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้แถวคอยยังเป็นข้อมูลการจราจรที่สามารถสะท้อนถึงระดับการให้บริการบนถนน และ เป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผน ออกแบบ และ ควบคุมการจราจรอีกด้วย

ความยาวแถวคอยเป็นการบ่งบอกถึงสภาพการจราจรบนช่วงถนนได้ดี เพราะในแต่ละช่วงเวลา ความยาวแถวคอยจะเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนตัวของการจราจรอยู่ตลอด (Dynamics) ค่าของความยาวแถวคอยนั้น เป็นค่าที่สามารถมองเห็นและวัดได้ด้วยสายตาอย่างเป็นรูปธรรม ส่วนค่าอื่นๆ เช่น ความเร็ว ความหนาแน่น หรือ ปริมาณจราจร แม้ว่าสามารถเห็นได้ด้วยตา แต่ก็ไม่สามารถรับรู้ได้ง่ายจากผู้ขับขี่เท่าความยาวแถวคอย ดังนั้นการแสดงความยาวแถวคอยและการเปลี่ยนแปลงความยาวแถวคอยเหมาะสำหรับการแสดงภาพความคับคั่งของรถบนช่วงถนน สะท้อนถึงความล่าช้า และการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของช่วงถนนนั้นอีกด้วย

ความยาวแถวคอยบนถนนที่มีสัญญาณไฟ มีความสำคัญในด้านวิศวกรรมจราจรอยู่ 2 ประการคือ (1) ใช้ประเมินสภาพการจราจร เช่น เวลารอ ณ ทางแยก ระยะเวลาเดินทางผ่าน

ช่วงถนน ซึ่งค่าการจราจรเหล่านี้สามารถใช้ในการรายงานสภาพจราจร ณ เวลาจริง (Real time) และ (2) ใช้ในการจัดการควบคุมสัญญาณไฟ

(1) การประเมินสภาพจราจร และ การรายงานสภาพจราจร ณ เวลาจริง (Real time) มีความสำคัญโดยเฉพาะต่อผู้ขับขี่ กล่าวคือ เพื่อให้สามารถคาดการณ์สภาพการจราจรที่ผู้ขับขี่จะต้องขับผ่าน รวมถึงการประมาณเวลาที่ใช้ในการเดินทางเพื่อไปถึงที่หมายได้ การรายงานสภาพการจราจรยังรวมถึงการรายงานอุบัติการณ์ หรือ อุบัติเหตุและเหตุการณ์คับขันที่เกิดบนถนน หากการรายงานสภาพการจราจร ณ เวลาจริงสามารถทำได้ครบถ้วนและแม่นยำ สามารถตัดสินใจได้ว่าควรจะเลือกใช้เส้นทางไหน เพื่อได้เวลาให้น้อยที่สุด และ สามารถควบคุมอารมณ์ในการขับขี่ได้อีกด้วย เพราะผู้ขับขี่จะสามารถปรับสภาวะจิตใจได้ดีขึ้นไม่มีความก้าวร้าว นอกจากนี้หากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในด้านการจราจรและขนส่งทราบข้อมูลเวลาเดินทางล่วงหน้าแล้ว ก็สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการเดินทางได้อย่างถูกต้อง และ นำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการจัดการจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าประโยชน์โดยรวมของการรายงานสภาพการจราจรนั้น ส่งผลถึงการตัดสินใจเดินทางที่ดีขึ้น หลีกเลี่ยงสภาพการจราจรติดขัด หรือ อุบัติเหตุ เหตุการณ์คับขันอื่นๆ ช่วยประหยัดเวลา เพิ่มความแน่นอนของการเดินทาง ในภาพรวมของประเทศก็ส่งผลสภาพทางเศรษฐกิจที่ดีขึ้น เนื่องจากการวางแผนการเดินทางที่ดีจะช่วยให้ลดต้นทุนทางด้านเวลาได้มากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ความยาวแถวคอยบนถนนแต่ละเส้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนช่วงถนนในโครงข่ายทางแยกสัญญาณไฟ จะมีค่าที่บ่งชี้ (Surrogate measure) ของสภาพความหนาแน่นของการจราจรที่ดี กล่าวคือ หากการประมาณแถวคอยทำได้จากข้อมูลพื้นฐานการจราจรที่จัดเก็บโดยเครื่องตรวจวัดการจราจร (Traffic Sensor) ก็สามารถประมาณสภาพความหนาแน่นของการจราจรได้ รวมไปถึงสภาพการติดขัดของการจราจรบนช่วงถนน และ สถานะของการติดขัด (เช่น การแทนด้วยเส้นสี เขียว เหลือง แดง) หรือ แม้กระทั่งการประมาณเวลาในการเดินทางได้โดยไม่ต้องใช้ข้อมูลแหล่งอื่นๆ (เช่น ข้อมูลจากวิธี Floating Car Technique หรือ Probe Vehicle)

(2) การควบคุมสัญญาณไฟ หากทราบความยาวแถวคอยในแต่ละช่วงเวลาได้ ก็สามารถควบคุมสัญญาณไฟได้ง่ายขึ้น เช่น ในหนึ่งทางแยกมี 4 ขา ถ้าขาใดขาหนึ่งมีแถวคอยที่ยาวที่สุด ก็จะต้องเปิดช่วงจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่ยาวกว่าอีก 3 ขาที่เหลือ หรือ ถ้าคาดการณ์ได้ว่าแถวคอยอาจจะล้นถึงทางแยกก่อนหน้า ก็สามารถควบคุมสัญญาณไฟไม่ให้แถวคอยล้นไปถึงช่วงถนนถัดไปได้

ทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจรหลายทฤษฎีสามารถนำมาใช้ในการหาความยาวแถวคอย ไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการของกราฟปริมาณจราจรสะสม (Cumulative Plot) แผนภูมิระยะทางกับเวลา (Time-Space diagram) และ การวิเคราะห์คลื่นกระแทก (Shockwave analysis) โดยใช้ข้อมูลส่วนใหญ่คือ ปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่น (หรือในบางทีจะใช้ Occupancy แทนความหนาแน่น) ต่างกับค่าความยาวแถวคอย จะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับทฤษฎีที่ใช้ ลักษณะการจราจร และความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วทฤษฎีการจราจรจะใช้ข้อมูลปริมาณจราจร (กราฟปริมาณจราจรสะสม) ปริมาณจราจรกับความหนาแน่น (การวิเคราะห์คลื่นกระแทก) เพื่อประมาณค่าความยาวแถวคอย อย่างไรก็ดีค่าการจราจรที่นำมาใช้นั้น เป็นค่าที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งหนึ่งบนถนนเท่านั้น แต่ค่าความยาวแถวคอยเป็นค่าที่เกิดขึ้นบนช่วงถนนนั้น คือ แถวคอยจะเกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของ “ปริมาณจราจร” บนช่วงถนน และจอด/ออกตัวจนเกิดเป็นความยาวแถวคอยขึ้นมา หรืออีกนัยหนึ่งคือ แถวคอยจะเกิดจากทั้งพฤติกรรมการหยุดจอด/ออกตัว ร่วมกันกับปริมาณของรถที่เข้าสู่ช่วงถนนที่เกิดแถวคอย ดังนั้นพฤติกรรมของการจอด/หยุดของรถ จึงเป็นอีกส่วนหนึ่งของการเกิดแถวคอย และมีผลต่อความถูกต้องของการประมาณความยาวแถวคอย โดยทั่วไปแล้วพฤติกรรมนี้ จะเกิดอย่างมีรูปแบบจนสามารถที่จะทราบความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแถวคอยกับค่าการจราจร (ปริมาณจราจรกับความเร็ว) ได้ ในสภาพความเป็นจริงบนถนนนั้น ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลกับความสัมพันธ์ เช่น การหยุดชะลอแบบไม่ปกติ การเปลี่ยนช่องจราจร การรบกวนจากสภาพโดยรอบบนช่วงถนน

ในปัจจุบันในกรุงเทพฯ ถึงแม้ว่าจะมีการประเมินสภาพการจราจรโดยผู้เฝ้าระวังสภาพการจราจร (Traffic Monitoring Operator) แต่ก็ยังเป็นการประเมินโดยวิจารณญาณการวัดด้วยสายตา และยังไม่มีการประมาณค่าความยาวแถวคอยที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาความยาวแถวคอยที่ระบุเป็นตัวเลขได้อย่างชัดเจน และงานวิจัยในประเทศไทยก็ยังไม่มีการประมาณแถวคอยด้วยวิธีต่างๆกันมากนัก จากงานวิจัยที่ผ่านมาในต่างประเทศ ซึ่งได้ใช้วิธีการประมาณแถวคอยโดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรอยู่พอสมควร แม้ว่าจะมีการติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรตัวอย่างเช่น กองบังคับการตำรวจจราจร สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ที่ติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยบริษัท Sumitomo Electric จากประเทศญี่ปุ่น เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และติดตามสภาพจราจร ในพื้นที่กรุงเทพฯ จำนวน 45 ทางแยก แต่ระยะของเครื่องตรวจวัดการจราจรส่วนใหญ่จะสั้นกว่าความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้น และให้ข้อมูลจราจรทุก 5 นาที ซึ่งอาจไม่ละเอียดพอ นอกจากนี้ความแม่นยำในการประมาณแถวคอยเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าหากมีการประมาณผิดอาจจะมีผลให้การประเมินสภาพจราจรคลาดเคลื่อนหรือการจัดการจราจรที่ผิดพลาด

ได้ แม้ว่างานวิจัยที่ผ่านมา มีการประมาณแถวคอยที่ใกล้เคียงของจริงมากขึ้น แต่ก็อาจจะใช้ได้กับสภาพถนนในประเทศที่ทำการวิจัยเท่านั้น เนื่องจากในแต่ละประเทศ อาจจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวของการจราจรที่แตกต่างกัน

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจร ได้แก่ กราฟปริมาณจราจรสะสม และการวิเคราะห์คลื่นกระแทก มาใช้ในการประมาณความยาวแถวคอย โดยโจทย์วิจัยคือ ทฤษฎีทั้งสองอย่างจะสามารถอธิบาย (ความยาว) แถวคอยที่จะเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกับแถวคอยที่เกิดขึ้นจริงได้มากน้อยเพียงใด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประมาณความยาวแถวคอยโดยใช้ข้อมูลการจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งใน 2 ตำแหน่งคือ (1) เครื่องตรวจวัดการจราจรที่อยู่ตรงเส้นหยุด ณ ทางแยกซึ่งเป็น Downstream และ (2) เครื่องตรวจวัดการจราจรที่อยู่กึ่งกลางของช่วงถนนซึ่งเป็น Upstream จากนั้นจะประมาณความยาวแถวคอยโดยตรวจสอบท้ายแถวคอย 2 ประเภท ได้แก่ (1) ท้ายแถวคอยยังไม่ยาวล้นจากเครื่องตรวจวัดการจราจรที่อยู่กึ่งกลางช่วงถนน และ (2) ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่อยู่กึ่งกลางช่วงถนนไปแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจราจรมาประมาณความยาวแถวคอยสำหรับถนนในกรุงเทพฯ ในกรณีที่ท้ายแถวคอยยาวไม่ล้น และ กรณีที่ท้ายแถวคอยยาวล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร (Detector) ที่ตั้งอยู่กึ่งกลางช่วงถนนที่มีสัญญาณไฟ โดยมุ่งเน้นในสภาพการจราจรที่ติดขัด

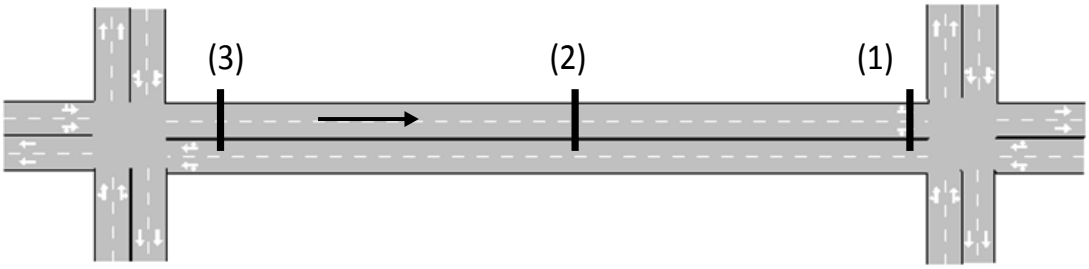
2. เพื่อใช้ข้อมูลจราจรที่ได้เก็บจากภาคสนาม มาสะท้อนให้เห็นถึงพฤติกรรมการเกิดแถวคอย ณ ทางแยกที่มีสัญญาณไฟ

3. เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงระหว่างการประมาณแถวคอยจากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีการจราจร กับ ค่าที่ได้จากการสังเกตในภาคสนาม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้จะประมาณแถวคอย ณ ทางแยกสัญญาณไฟดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรที่ (1) ตำแหน่งรถออกจากทางแยกสัญญาณไฟ (2) ตำแหน่งกึ่งกลางระยะ 200-300 เมตรก่อนถึงสัญญาณไฟ (กึ่งกลางช่วงถนน) และ (3) ตรงบริเวณ

ที่กลุ่มรถออกมาจากทางแยกก่อนหน้า สภาพการจราจรที่ต้องการเก็บข้อมูลนั้นจะเป็นสภาพที่มีการจราจรติดขัด อย่างไรก็ตามจะเก็บข้อมูลจราจรทั้งในช่วที่มีปริมาณรถมากและน้อยด้วย เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณแถวคอย และ จัดทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น โดยจะเก็บช่วงละอย่างน้อย 1 ชั่วโมง



รูปที่ 1.1 ขอบเขตของการวิจัย

1.4 **วิธีดำเนินการวิจัย**

1. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณความยาวแถวคอยในอดีต รวมถึงระบุสิ่งที่ขาดหายหรือช่องว่างเพื่อจะได้เป็นแนวคิดในงานวิจัยนี้

2. กำหนดพื้นที่ศึกษาที่เป็นช่วงถนนและแยกสัญญาณไฟ โดยในที่นี้ทางผู้วิจัยได้เลือกถนนพระรามหกในช่วงระหว่างแยกพิบูลย์วัฒนาถึงแยกประดิพัทธ์ระยะทาง 620 เมตร

3. เก็บข้อมูลจราจรที่เกี่ยวข้องกับการหาความยาวแถวคอย ประกอบไปด้วย ปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่น โดยการเก็บข้อมูลจะตั้งกล้องวีดิทัศน์อยู่ 3 ตำแหน่ง ที่ถูกกำหนดให้เป็นเครื่องตรวจวัดการจราจร คือ (1) ตำแหน่งที่รถออกจากทางแยก (2) ตำแหน่งที่ห่างจากทางแยก 200-300 เมตร (กึ่งกลางช่วงถนน) (3) ตำแหน่งที่กลุ่มรถเพิ่งออกมาจากทางแยกก่อนหน้า

4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำมาคำนวณหาความยาวแถวคอย ทั้งใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม และการวิเคราะห์คลื่นกระแทก จากนั้นพิจารณาผลการประมาณทั้งกรณีที่ความยาวแถวคอยล้น และไม่ล้นระยะจากการติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่กึ่งกลางช่วงถนน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้วิธีการประมาณแถวคอยจากทฤษฎีการจราจรที่มีอยู่ได้สำหรับช่วงถนนที่มีสัญญาณไฟ

2. สามารถพัฒนาวิธีการประมาณแถวคอยโดยเฉพาะในกรณีที่แถวคอยล้นระยะของเครื่องตรวจวัดการจราจรบริเวณกึ่งกลางถนนมาใช้ในการประมาณแถวคอยได้ โดยเฉพาะในกรณีที่มีสภาพการจราจรที่ติดขัด

3. สามารถระบุความถูกต้องของการประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ แถวคอยที่ได้จากวัดจริงโดยการสังเกตในภาคสนาม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการหาความยาวแถวคอย จำเป็นที่ต้องทราบถึงทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจรที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นการใช้กราฟปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Plot) การวิเคราะห์คลื่นกระแทก (Shockwave Analysis) และการใช้แผนภาพเวลากับระยะทาง (Time-Space diagram) วิธีการเก็บข้อมูลจราจรซึ่งใช้เครื่องตรวจวัดการจราจร (Detector) โดยในบทนี้จะอธิบายลักษณะและการใช้งานของเครื่องตรวจวัดการจราจรในแต่ละประเภท และ การสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาความยาวแถวคอยโดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรในอดีตที่ผ่านมา

2.1 ทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจรที่เกี่ยวข้องกับการประมาณความยาวแถวคอย

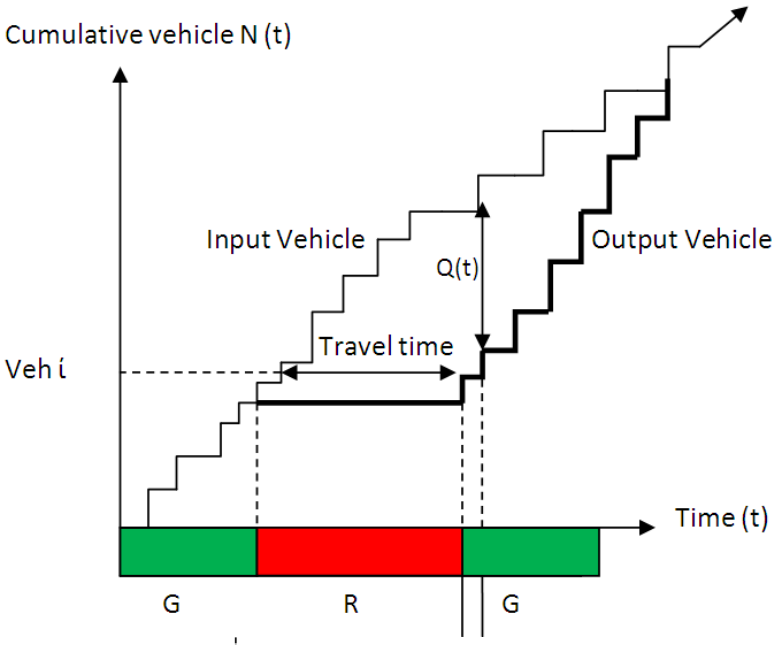
ทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจรที่สามารถประยุกต์ใช้ในการหาความยาวแถวคอยนั้นประกอบไปด้วย 3 ทฤษฎีหลักๆ คือ การใช้กราฟปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Plot) การวิเคราะห์คลื่นกระแทก (Shockwave Analysis) และการใช้แผนภาพเวลากับระยะทาง (Time-Space diagram) โดยในแต่ละทฤษฎีก็ต่างมีจุดเด่นจุดด้อยที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับข้อมูลจราจรที่ได้มา และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ได้อธิบายถึงวิธีการวัดความยาวแถวคอยในภาคสนามที่ได้จากการสังเกต (Observation) เพื่อเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบทฤษฎีดังกล่าว

2.1.1 กราฟปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Plot)

กราฟปริมาณจราจรสะสม (Cumulative Plot) เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถที่นับได้ N(t) กับเวลาที่ผ่านไป t การพิจารณาสภาพจราจร ณ ทางแยกที่มีสัญญาณไฟ มีทั้งการเปิดสัญญาณไฟเขียวสลับกับไฟแดงอยู่สม่ำเสมอ ดังนั้นจะมีปริมาณจราจรที่เข้าและออกจากช่วงถนนตามจังหวะการเปิดปิดสัญญาณไฟ การหาความยาวแถวคอยสามารถทำได้โดยการนับจำนวนสะสมของรถที่เข้าสู่ทางแยก (Input) และออกจากทางแยก (Output) เมื่อเส้นกราฟของปริมาณรถเข้าสูงกว่าปริมาณรถออกจะถือว่ามีรถคงค้างอยู่ระหว่างช่วงถนนที่นับรถเข้าและออกจากทางแยก และถือว่ารถเหล่านั้นจะสะสมเป็นแถวคอย (Queue Length) ณ ทางแยก และ ความยาวแถวคอยสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างปริมาณรถเข้ากับปริมาณรถออก ณ

เวลา t นั้นๆ โดยจะต้องมีการปรับเวลาที่นับ ณ ตำแหน่งเข้าสู่ทางแยก (Time Lag) เพื่อให้เป็นเวลาที่รถเคลื่อนตัวไปถึงตำแหน่งเดียวกันที่รถออกจากทางแยก ดังแสดงในสมการที่ (2.1) และรูปที่ 2.1

$$\text{Queue Length (t)} = \text{Input(t)} - \text{Output}\left(t - t_{lag}\right) + \text{Source}\left(t - t_{lag}\right) - \text{Sink}\left(t - t_{lag}\right) + \text{Residual} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.1 กราฟปริมาณจราจรสะสม

จากสมการที่ (2.1) จะเห็นได้ว่าเวลาในขณะที่รถเข้ากับรถออก ไม่ใช่เวลาเดียวกัน เนื่องจากระยะทางระหว่างตำแหน่งรถเข้ากับรถออก ห่างกันพอสมควร ดังนั้นจึงต้องพิจารณาที่รถเคลื่อนที่จากตำแหน่งเข้าไปตำแหน่งออกซึ่งเรียกว่า Time Lag ในที่นี้จะให้เวลาที่รถออกจากทางแยกเป็นเวลา t ดังนั้นเวลา ณ จุดเข้าก็จะต้องเอาเวลา t มาลบกับ Time Lag อย่างไรก็ดีการพิจารณาเฉพาะตำแหน่งรถเข้ากับรถออกถือว่ายังไม่เพียงพอ เนื่องจากมีปัจจัยบางอย่างเข้ามารบกวน ไม่ว่าจะเป็นการที่มีรถเข้ามาจากซอย (Source) รถออกไปยังซอย (Sink) ที่อยู่บนช่วงถนนนั้น และ จำนวนรถที่ติดค้างสะสมอยู่ (Residual) นอกจากนี้ในตอนเริ่มต้นของการเก็บข้อมูล ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ไม่ได้ระบุไว้ในสมการที่ (2.1) เช่น การเปลี่ยนช่องจราจร หรือ การแซงของรถ รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของการสะสมแถวคอย ณ ทางแยกสัญญาณไฟโดยใช้กราฟปริมาณการจราจรสะสม ให้ปริมาณรถเข้าสู่ทางแยกซึ่งแสดงโดยเส้นกราฟ Input (ปรับเวลาแล้ว) และ ปริมาณรถที่ออกจากทางแยกซึ่งแสดงโดยกราฟ Output เมื่อช่วงเวลาสัญญาณไฟแดง R ซึ่ง

ไม่มีรถออกจากทางแยก เส้นกราฟ Input จะอยู่เหนือเส้นกราฟ Output และเกิดเป็นแถวคอยที่มีความยาว Q (t)

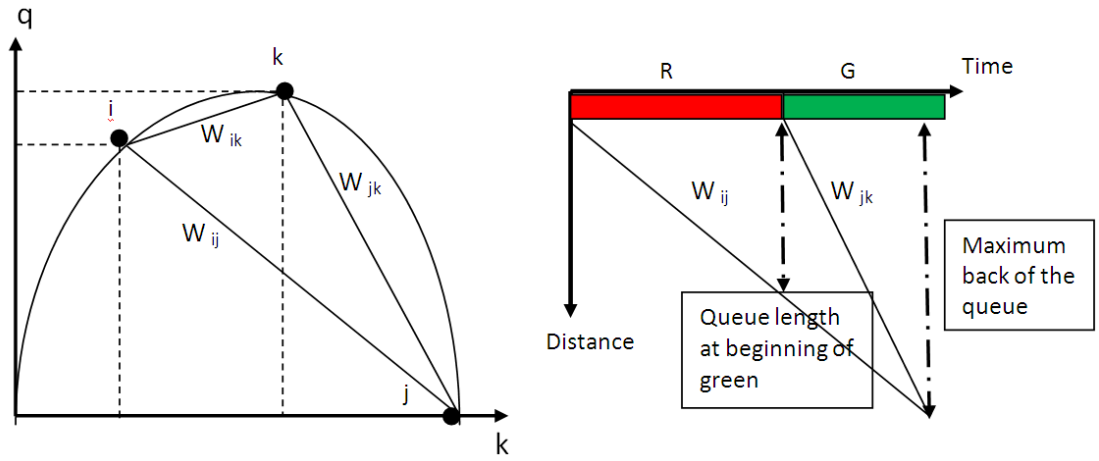
ข้อดีของวิธี Cumulative Plot คือ ไม่ต้องเก็บข้อมูลจราจรที่มาก เพียงแค่นับจำนวนรถที่เข้าและออกจากทางแยกสัญญาณไฟนั้นก็คือปริมาณจราจร แต่ปัญหาของการวิเคราะห์ Cumulative plot คือ ไม่สามารถวิเคราะห์ถึงสิ่งที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างรถเข้ากับรถออกได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอะไรขึ้นบ้างบนช่วงถนน เช่น การแซง หรือ พฤติกรรมการหยุดของรถ

อย่างไรก็ดีการใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมควรจะอยู่ในเงื่อนไขในทฤษฎีแถวคอยในรูปแบบใครมาก่อนได้สิทธิ์ก่อน (First In First Out; FIFO) แต่ในสภาพจราจรตามความเป็นจริงนั้นอาจจะไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่กำหนดไว้ เนื่องด้วยสาเหตุมาจากการเปลี่ยนช่องจราจรและการแซงเป็นต้น ดังนั้นการหาความยาวแถวคอยในวิธีนี้ ควรพิจารณาการเปลี่ยนช่องจราจรและการแซงของรถแต่ละคัน

2.1.2 **การวิเคราะห์คลื่นกระแทก** (Shockwave Analysis)

วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกมาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร (Traffic Volume; q) ความหนาแน่น (Density; k) โดยสมมติให้ค่าการจราจรบนช่วงถนนหนึ่งช่วง เป็นไปตามความสัมพันธ์แบบสถานะ (State) ของค่าการจราจร (ปริมาณจราจร, q; ความเร็ว, v; ความหนาแน่น, k) และ หากมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพการไหลของการจราจรหรือสถานะแล้ว จะเกิดรอยต่อหรือขอบของสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน เรียกว่า คลื่นกระแทก (Shockwave) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การลากเส้นเชื่อมตำแหน่งทั้งสองจุด (เช่นจากตำแหน่ง i ไป j) เส้นกราฟจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงสถานะของการจราจรจาก i ไป j ซึ่งจะก่อให้เกิดคลื่นกระแทกที่มีอัตราเร็ว W_{ij} ค่าของอัตราเร็วของคลื่นกระแทกสามารถหาได้จากสมการที่ (2.2) ในกรณีของการวิเคราะห์ทางแยกสัญญาณไฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของการจราจรเป็นคู่ๆ ได้แก่คลื่นกระแทก ij และ คลื่นกระแทก jk ดังรูปที่ 2.2 (ก) และสามารถหาความยาวแถวคอยโดยการลากเส้น Shockwave ลงจากกราฟ q-k เดียวกัน แล้วนำค่าคลื่นกระแทกที่ได้มาลากบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทางดังรูปที่ 2.2 (ข)

$$\text{Shockwave}\left(w_{ij}\right) = \frac{\Delta q}{\Delta k} = \frac{q_i - q_j}{k_i - k_j} \qquad (2.2)$$



(ก) คลื่นกระแทก ij และ jk บนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับความหนาแน่น

(ข) คลื่นกระแทก ij และ jk บนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทาง

รูปที่ 2.2 คลื่นกระแทก

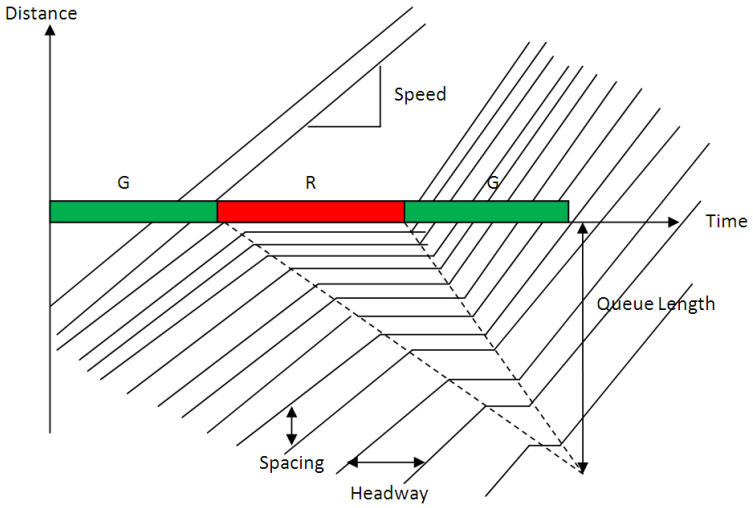
จากรูปที่ 2.2 (ข) สามารถพิจารณาแถวคอยได้ 2 กรณี คือ ระยะแถวคอยที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีรถจอดอยู่ เมื่อเริ่มสัญญาณไฟเขียว (Queue length at the beginning of green) กับระยะแถวคอยที่ไกลสุดที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบสัญญาณไฟ (Maximum back of the queue) การคำนวณหาความยาวแถวคอย ณ ช่วงเวลาใดๆ ทำได้โดยการหาผลต่างระหว่าง คลื่นกระแทก jk (W_{jk}) กับคลื่นกระแทก ik (W_{ij})

ข้อดีของการวิเคราะห์คลื่นกระแทก คือ สามารถทราบถึงอัตราการเกิดของแถวคอยได้ ซึ่งน่าจะให้ผลที่มีความแม่นยำมากกว่าวิธีการใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม แต่ปัญหาของการวิเคราะห์คลื่นกระแทก คือ การที่ต้องวัดความหนาแน่นซึ่งจะต้องพิจารณาตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรเป็นสำคัญ เพราะหากติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม อาจได้ค่าความหนาแน่นที่ไม่สอดคล้องกับสภาพจราจรที่แท้จริงบนถนนนั้นๆได้

2.1.3 แผนภูมิเวลากับระยะทาง (Time-Space Diagram)

แผนภูมิเวลากับระยะทาง (Time-Space Diagram) เป็นแผนภูมิที่อธิบายถึงการเคลื่อนตัวของจราจรด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (Time) กับ ระยะทาง (Distance) ดังรูปที่ 2.3 วิธีการนี้เป็นการศึกษาตำแหน่งของยานพาหนะในกระแสจราจร ณ เวลาใดๆ โดยเส้นกราฟ

ที่แสดงถึงตำแหน่งที่เปลี่ยนไปในแต่ละจุดของเวลา หรือที่เรียกว่าเส้น Trajectory ซึ่งรถหนึ่งคันจะแทนด้วย Trajectory หนึ่งเส้น โดยค่าความชันของ Trajectory คือ อัตราเร็วของรถแต่ละคัน ณ ขณะใดๆ การหาความยาวแถวคอยในวิธีนี้ ทำได้โดยการดูเส้นกราฟในรูปที่ 2.3 นอกจากนี้ แผนภูมิเวลากับระยะทาง ยังสามารถทราบถึงระยะ Headway และ Spacing ของรถแต่ละคัน ณ เวลาใดๆได้อีกด้วย



รูปที่ 2.3 แผนภูมิเวลากับระยะทาง

ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถแปลความหมายจากแผนภูมิได้ง่ายในการหาความยาวแถวคอยเพียงแค่สังเกตแถวคอยที่เกิดขึ้นจากแผนภูมิเวลากับระยะทางเท่านั้น โดยที่ไม่ต้องคำนวณ หรือ ประมาณค่า แต่ข้อจำกัดของแผนภูมิเวลากับระยะทาง คือ มีความยากลำบากในการเก็บข้อมูล ณ สถานที่จริง เพราะต้องจับตำแหน่งของรถแต่ละคันที่เปลี่ยนไปอย่างต่อเนื่อง เท่ากับว่าต้องสร้างการเคลื่อนที่ของรถทุกคันตลอดช่วงระยะทางที่ศึกษา ดังนั้นข้อมูลจะต้องเก็บโดยละเอียด เพราะถ้าเก็บโดยที่เว้นระยะห่างของเวลานานเกินไป อาจทำให้ขาดความละเอียดของข้อมูลก็เป็นได้

2.1.4 **การวัดความยาวแถวคอยภาคสนาม** (Observed queue)

การวัดวามยาวแถวคอยในภาคสนาม สามารถทำได้โดยผู้สำรวจสังเกตแถวคอยบนท้องถนนแล้วบันทึกความยาวแถวคอยในสนาม หรือติดตั้งกล้องวีดิทัศน์แล้วบันทึกภาพแถวคอยที่เกิดขึ้นแล้วมาวัดความยาวแถวคอยในภายหลังก็ได้ การวัดแถวคอยภาคสนามสามารถ

วัดได้ 2 วิธี คือ การวัดแถวคอยโดยตรง กับการวัดแถวคอยที่ได้มาจากการหาความล่าช้า (Delay) ของรถแต่ละคัน

การวัดแถวคอยโดยตรงจะเริ่มจากเวลาที่เริ่มสัญญาณไฟแดง รถแต่ละคันจะเข้ามาจอดเรียงกัน ดังนั้นความยาวแถวคอย ณ ช่วงเวลานั้นๆ คือ จำนวนรถที่จอดอยู่นั้นเอง และจะยาวขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีรถเข้ามาจอดเรียงกันมากขึ้น แต่เมื่อเริ่มสัญญาณไฟเขียว ความยาวแถวคอยบริเวณท้ายแถวก็จะยาวขึ้นเรื่อยจนกระทั่งหดสั้นลงก็ต่อเมื่อรถคันสุดท้ายที่จอดเนื่องจากติดสัญญาณไฟแดงเริ่มเคลื่อนตัว ถ้ารถคันสุดท้ายที่หยุดเริ่มเคลื่อนตัวได้ก็ถือว่า ณ ช่วงเวลานั้นมีความยาวแถวคอยเป็นศูนย์

นอกจากวิธีที่จะทราบความยาวแถวคอยและเวลาที่เกิดแถวคอยแล้ว ยังสามารถพิจารณาสภาพการจราจรได้ว่าเป็นแบบไม่อิ่มตัว (Under saturation) หรือ อิ่มตัว (ติดขัด) (Over saturation) หากรถคันสุดท้ายที่อยู่ในแถวคอยสามารถผ่านไฟเขียวได้ในรอบสัญญาณไฟได้ ถือว่าสภาพการจราจร ณ ขณะนั้น เป็นแบบไม่อิ่มตัว แต่หากรถคันสุดท้ายไม่สามารถผ่านทางแยกได้ในรอบสัญญาณไฟนั้น ก็จะเรียกสภาพการจราจรในขณะนั้นว่า การจราจรอิ่มตัว

การวัดแถวคอยที่ได้มาจากการหาความล่าช้า (Delay) ของรถแต่ละคัน สามารถทำได้โดยการบันทึกเวลาที่รถแต่ละคันขณะเริ่มจอดติดสัญญาณไฟแดง ขณะเริ่มออกตัวเนื่องจากได้สัญญาณไฟเขียว และขณะออกจากทางแยก หลังจากนั้นก็นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถแต่ละคันที่จอด (ลากจุดตั้งแต่เริ่มจอดกับเริ่มเคลื่อนตัว) กับเวลา เมื่อหาพื้นที่ใต้กราฟก็จะได้เป็นความล่าช้าของการจราจรโดยรวม ซึ่งมีหน่วยเป็น คัน-เวลา และสามารถหาความยาวแถวคอยเฉลี่ยในหนึ่งรอบสัญญาณไฟโดยนำพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยช่วงเวลาสัญญาณไฟแดง

ค่าของความยาวแถวคอยที่บันทึกได้นั้น สามารถบอกได้เป็นหน่วยของจำนวนรถ (คัน) หรือหน่วยของความยาว (ฟุต หรือ เมตร) การบอกความยาวแถวคอยเป็นจำนวนคันจะให้ผลที่แน่นอนกว่าการบอกเป็นความยาวที่เป็นฟุตหรือเมตร อย่างไรก็ดี รถแต่ละคันก็อาจจะเป็นรถแต่ละชนิดที่มีความยาวรถไม่เท่ากันโดยเฉพาะบนถนนที่มีทั้งรถยนต์ส่วนบุคคลและรถบรรทุกที่มีปริมาณไม่ต่างกัน ทำให้ผลที่ได้อาจจะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ ดังนั้นจึงต้องใช้หน่วยของรถมาตรฐานมาเป็นค่าที่ให้ความแน่นอนมากยิ่งขึ้นซึ่งจะใช้หน่วยความยาวมาตรฐานของรถยนต์ส่วนบุคคล (Personal Car Unit; PCU) ในที่นี้จะกำหนดให้ความยาวของรถบรรทุกและรถ

โดยสารประจำทางมีค่าเป็น 2 PCU ส่วนรถยนต์ส่วนบุคคลก็มีค่าเป็น 1 PCU เป็นต้น ซึ่งค่า PCU ที่นำมาใช้ ควรสะท้อนลักษณะการครอบครองพื้นที่ (Physical space occupied) ด้วย

แต่ในสภาพจริงในสนามนั้น โดยเฉพาะวิธีการวัดแถวคอยโดยตรง อาจจะพบรถที่มีปริมาณมากจนไม่สามารถวัดความยาวแถวคอยที่เป็นจำนวนรถได้ ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนมาใช้การวัดระยะทางในหน่วยของความยาว (ฟุตหรือเมตร) แทน ซึ่งในการดูระยะความยาวของแถวคอยนั้น อาจจะใช้ระยะของเสาไฟฟ้าหรือตอม่อทางพิเศษเป็นตัวบ่งบอกระยะทางได้

2.2 วิธีการเก็บข้อมูลจราจร

วิธีการเก็บข้อมูลจราจรในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องตรวจวัดการจราจร (Traffic Sensor หรือ Traffic Detector) เครื่องตรวจวัดการจราจรเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการนับปริมาณจราจร (Volume) ความเร็ว (Speed) และ ความหนาแน่น (Density) ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐาน และจำเป็นสำหรับในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังอาจวัดค่า Occupancy ซึ่งสามารถใช้แทนและเข้าใจได้ง่ายกว่าความหนาแน่นได้อีกด้วย เครื่องตรวจวัดการจราจรสามารถแบ่งประเภทได้เป็น เครื่องตรวจวัดที่ต้องติดตั้งบนหรือใต้ผิวถนน (Intrusive road detector) และ เครื่องตรวจวัดที่ไม่ต้องติดตั้งบนหรือใต้ผิวถนน (Non-intrusive road detector) เพื่อเป็นการเข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดการจราจรให้มากขึ้น ในที่นี้จะได้อธิบายถึงลักษณะและหลักการของเครื่องตรวจวัดในแต่ละประเภทดังต่อไปนี้

2.2.1 Intrusive Road Detector

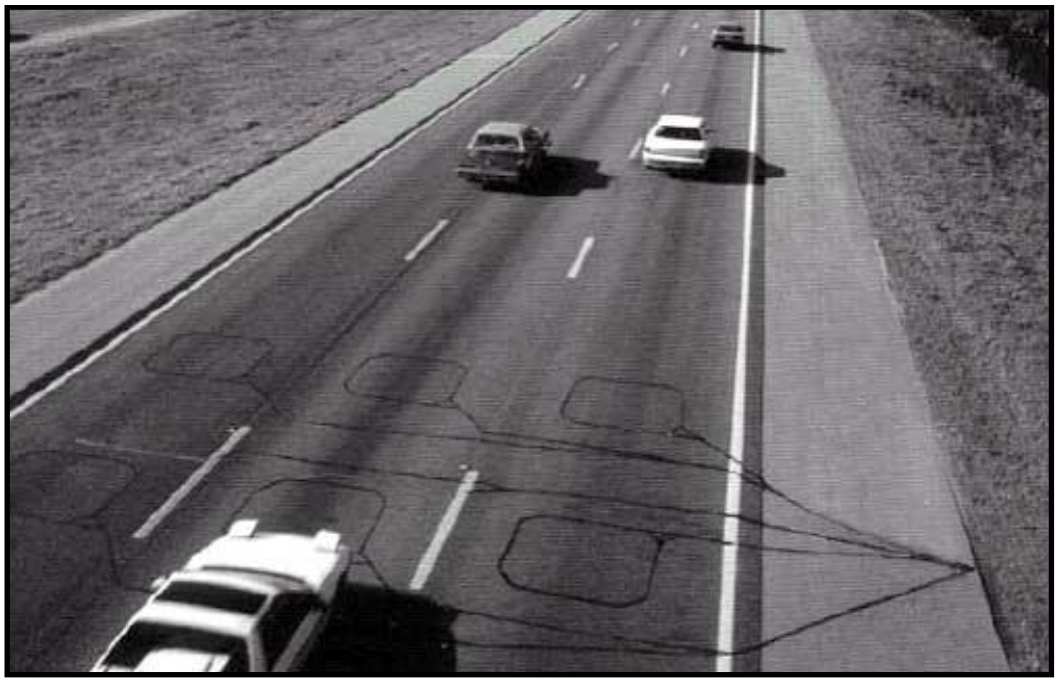
Intrusive road detector เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งบนพื้นผิวหรือใต้ผิวถนนเพื่อนับปริมาณจราจร และความเร็วเป็นส่วนใหญ่ Intrusive road detector ที่ใช้อย่างแพร่หลายสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ Pneumatic road tube และ Inductive loop

Pneumatic road tubes มีลักษณะเป็นเส้นท่อวางขวางบนถนน เมื่อรถวิ่งมาทับท่อ ความดันของท่อจะเกิดการเปลี่ยนแปลง จนสามารถนับจำนวนรถจากความดันท่อที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละครั้งได้ หากมีการติดตั้งเพื่อวัดความเร็ว ก็จะวางท่ออีกตำแหน่งหนึ่งที่ห่างกันประมาณ 2 เมตร (หรือแล้วแต่คำแนะนำของผู้ผลิต) แล้วหาความเร็วจากระยะห่างของเวลาที่ความดันท่อเปลี่ยนแปลงทั้งสองเส้นดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 Pneumatic road tube detector

(ที่มา: http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/meth9en/pneumatic_road_tube)

Inductive loop มีลักษณะเป็นเส้นลวดวงจรไฟฟ้าฝังอยู่ใต้ผิวถนน เวลาที่มีรถวิ่งผ่าน สนามไฟฟ้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นก็สามารถนับปริมาณรถ และความเร็วจากสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในเครื่องตรวจนับได้ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Inductive loop detector

(ที่มา: http://ops.fhwa.dot.gov/freewaymgmt/publications/frwy_mgmt_handbook)

ข้อดีของ Intrusive road detector คือ สามารถวัดค่าต่างๆแทนคนได้ และมีความผิดพลาดน้อยกว่าการใช้คนนับหากมีการติดตั้งและตรวจสอบผลก่อนการใช้งาน แต่มีข้อเสียเปรียบ คือ เครื่องมืออาจจะต้องมีการประมาณค่า เช่น ปริมาณจราจรที่มีรถหลายประเภท ทำให้ส่งผลถึงความถูกต้องแม่นยำ และ ในกรณีที่เครื่องตรวจวัดเป็นแบบ Pneumatic จะค่อนข้างเห็นตัวเครื่องมือได้ชัดเจน จนอาจมีผลต่อพฤติกรรมการขับขี่ซึ่งอาจจะให้ความเร็วการจราจรบิดเบือนไปได้ และบางครั้งอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้โดยเฉพาะรถจักรยานยนต์ จนในปัจจุบันเครื่องตรวจวัดประเภทนี้เริ่มมีการใช้งานที่น้อยลง

2.2.2 Non-intrusive traffic Detector

Non-intrusive detector เป็นเครื่องมือตรวจวัดชนิดที่ไม่ต้องติดตั้งบนหรือใต้พื้นผิวถนน แต่จะติดตั้ง ณ ส่วนอื่นๆของถนนไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งบนเสาข้างถนน ติดตั้งบนเสาที่มีแขนยื่นมายังช่องจราจร เครื่องตรวจนับประเภทนี้มีข้อดี คือ ไม่ต้องติดตั้งบนหรือใต้ผิวถนนซึ่งอาจจะเป็นการทำลายพื้นผิวถนนจนเสียหาย นอกจากนี้ ตัวอุปกรณ์ก็ไม่ต้องถูกรถวิ่งทับและ

บำรุงรักษาง่าย เครื่องตรวจวัดการจราจรประเภทนี้มีเทคโนโลยีที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นการใช้กล้องอิมเมจโพรเซสซิ่ง อุปกรณ์เรดาร์ หรือ อัลตราโซนิค จนสามารถทดแทนการใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรแบบ Intrusive ได้

กล้องอิมเมจโพรเซสซิ่งเป็นเครื่องตรวจวัดการจราจรประเภท Non-intrusive ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงของสภาพจราจรได้ โดยกล้องอิมเมจโพรเซสซิ่งจะฉายภาพแล้วตรวจสอบการเคลื่อนที่ของรถบนถนน จากนั้นใช้โปรแกรมสั่งให้เก็บข้อมูลจราจรโดยการสร้างเส้น หรือ Sensor จำลอง เพื่อตรวจวัดตามช่องจราจรที่ต้องการจะเก็บดังรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งปริมาณจราจร ความเร็ว ความยาวแถวคอย Occupancy รวมไปถึง Headway ดังรูปที่ 2.7

จากรูปที่ 2.7 เป็นตัวอย่างของการประมวลผลข้อมูลจราจรของทางกองบังคับการตำรวจจราจร สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ซึ่งทางบริษัทซูมิโตโม อิเล็กทริค (ประเทศไทย) จำกัด เป็นผู้ติดตั้ง ข้อมูลสามารถประมวลผลได้ทุกๆ 5 นาที ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณจราจรที่สามารถแยกประเภทรถเล็กรถใหญ่ได้ Occupancy ที่บอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ความยาวแถวคอย และ ความเร็ว แต่อย่างไรก็ดีข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลเหล่านี้ก็ยังมีจุดอ่อนอยู่ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1

ก. การติดตั้งกล้องอิมเมจโพรเซสซิ่ง ข. การตั้ง Detector

รูปที่ 2.6 เครื่องตรวจวัดการจราจรแบบ Non-intrusive detector โดยใช้กล้องอิมเมจโพรเซสซิ่ง (ที่มา: บริษัทซูมิโตโม อิเลกทริค (ประเทศไทย) จำกัด)

Traffic Data Collection

Date 30-03-2010 To 30-03-2010
Detector No 1(I-Det No.1) (Lane = Cross Section)
Intersection Bang Krabue
Approach 1

	Traffic Volume			Occupancy	Queue Length (m)		Average Speed (km/hour)	Max. Speed (km/hour)	Classified Speed												Detector Status
	Total	Large	Small		SR-O	SL			0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109	110-120	O/R	
30-03-2010 00:00	25	0	25	6.71	53	45	19	79	2	4	11	1	1	1	1	2	0	0	0	0	2	OK
30-03-2010 00:05	30	0	30	4.51	39	40	31	68	0	2	7	9	5	3	4	0	0	0	0	0	0	OK
30-03-2010 00:10	22	0	22	5.77	28	27	14.5	46	3	8	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	OK
30-03-2010 00:15	13	0	13	3.47	36	0	28	52	0	3	2	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	OK
30-03-2010 00:20	20	1	19	2.82	16	47	24.25	74	1	3	4	2	3	4	2	1	0	0	0	0	0	OK
30-03-2010 00:25	19	0	19	5.59	38	29	14.5	64	3	4	6	2	0	1	1	0	0	0	0	0	2	OK
30-03-2010 00:30	25	0	25	5.03	30	0	32.5	74	0	2	5	8	3	4	1	2	0	0	0	0	0	OK
30-03-2010 00:35	19	0	19	3.4	30	22	27	66	2	1	5	1	4	2	4	0	0	0	0	0	0	OK
30-03-2010 00:40	16	0	16	3.44	26	25	12	61	4	3	5	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	OK
30-03-2010 00:45	14	0	14	3.19	26	0	26.5	78	1	2	5	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	OK

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างข้อมูลจราจรจากกล้องอิมเมจโพรเซสซิ่ง
(ที่มา: บริษัท ซูมิโตโม อิเล็กทริค (ประเทศไทย) จำกัด)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในอดีตที่ผ่านมามีผู้วิจัยหลายท่านได้ประมาณแถวคอยโดยใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยเริ่มจากการอธิบายทฤษฎีการหาความยาวแถวคอยที่เกี่ยวข้องเบื้องต้น การนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาหาความยาวแถวคอยทั้งการใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมและการวิเคราะห์คลื่นกระแทก และ การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการหาความยาวแถวคอย

2.3.1 การทบทวนงานวิจัยที่อธิบายทฤษฎีการหาความยาวแถวคอยที่เกี่ยวข้องเบื้องต้น

Richards (1956) ได้พัฒนาทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรโดยการนำยานพาหนะมาแทนที่ด้วยของไหล ซึ่งได้พิจารณาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่น และ

ความเร็ว จากนั้นได้สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น ดังสมการที่ (2.3) ซึ่งมาจากรูปแบบฟังก์ชันการกระจายแบบต่อเนื่อง

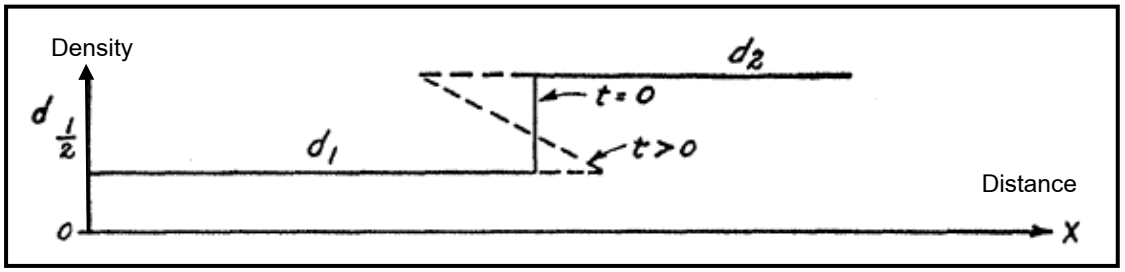
$$V = a\,(D_{max} - D) \tag{2.3}$$

โดยที่ V คือความเร็ว

D คือความหนาแน่น

a คือค่าคงที่

โดยที่ค่า a คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วอิสระที่ความหนาแน่นเป็นศูนย์ (Free Flow Speed) กับ ความหนาแน่นที่มากที่สุด (Jam density) ตามแบบจำลองของ Greenshield เมื่อความหนาแน่นหรือความเร็วเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น การเคลื่อนตัวของรถแต่ละคันสามารถแสดงได้โดยกราฟการเคลื่อนที่แบบเฉือน (Shearing motion graph) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟการเคลื่อนที่แบบเฉือน (ที่มา: Richard, 1956: 45)

จากรูปที่ 2.8 รถแล่นไปตามระยะทางตามแกน x เมื่อความหนาแน่นเปลี่ยนจาก d_1 เป็น d_2 และจะเกิดคลื่นคลื่นกระแทก (Shockwave, U) ที่เป็นเส้นประกราฟดังกล่าวก็สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.4)

$$d_1(V_1 - U) = d_2\,(V_2 - U) \tag{2.4}$$

โดยที่ d_1 และ d_2 คือความหนาแน่นจากสถานะการจราจร 1 ไป 2

V_1 และ V_2 คือความเร็วจากสถานะการจราจร 1 ไป 2

U คือคลื่นกระแทก

จากสมการที่ (2.4) เมื่อย้ายข้างก็จะได้วิธีการคำนวณหาคลื่นกระแทก ซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างผลต่างของอัตราการไหล กับ ผลต่างของความหนาแน่น

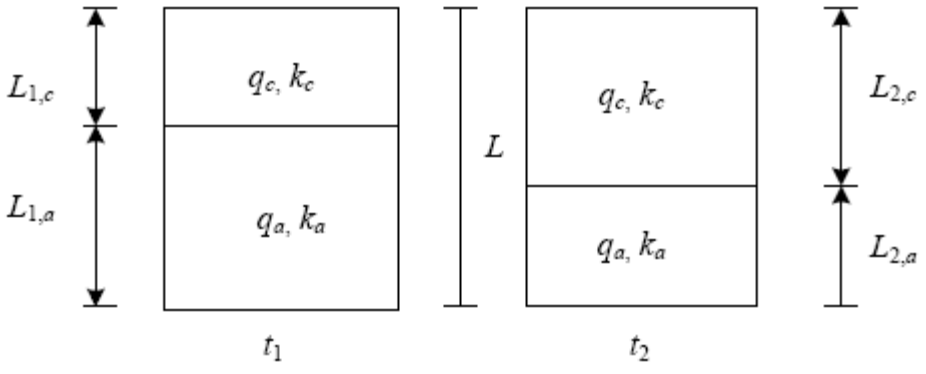
Ping et al. (2008) ได้พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างการคำนวณเพื่อหาแถวคอย โดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม กับ การวิเคราะห์คลื่นกระแทก แม้ว่าจะคำนวณในกรณีของรถที่เข้าสู่ช่วงถนนที่เป็นคอขวด แต่การคำนวณก็สามารถใช้กับแถวคอยที่เกิดขึ้นในกรณีที่รถติดสัญญาณไฟแดงตรงทางแยกได้ ในงานวิจัยนี้ได้พิสูจน์ข้อขัดแย้งในวิจัยของ Nam และ Drew (1998) ที่อธิบายไว้ว่า การคำนวณของทั้ง 2 วิธี จะให้ผลลัพธ์ที่ไม่เท่ากัน จากค่าของตัวประกอบที่เกิดขึ้นจากการคำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกดังสมการที่ (2.5)

$$\frac{k_c}{k_c - k_a} \tag{2.5}$$

โดยที่ k_c คือความหนาแน่นที่รถพ้นจากเขตคอขวด

k_a คือความหนาแน่นก่อนที่รถเข้าสู่เขตคอขวด

ทางผู้วิจัยได้พิสูจน์การคำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกให้สามารถได้ผลลัพธ์ที่เท่ากับการคำนวณโดยใช้กราฟปริมาณสะสม หรือที่เรียกว่า Input-Output Model การพิสูจน์เริ่มจากการใช้กฎการอนุรักษ์ (Mass conservation) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแถวคอยที่เกิดขึ้นจากการหาปริมาณจราจร q และ ความหนาแน่น k ณ สองเวลา t_1 และ t_2 ในช่วงระยะทาง L หนึ่งดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของแถวคอยที่เกิดขึ้น ณ เวลา t_1 และ t_2 (ที่มา: Ping et al., 2008: 147)

จากนั้นวาดแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับเวลา และ ระยะทางกับเวลา เพื่อแสดงแถวคอยที่เกิดขึ้นทั้งกรณีที่ใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม และ การวิเคราะห์คลื่นกระแทกตามลำดับ จนสามารถสร้างสมการแสดงแถวคอย N ที่เกิดขึ้นทั้งกรณีที่ใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม และ การวิเคราะห์คลื่นกระแทกดังสมการที่ (2.6) และ (2.7) ตามลำดับ

$$N = (q_a - q_c)t \quad (2.6)$$

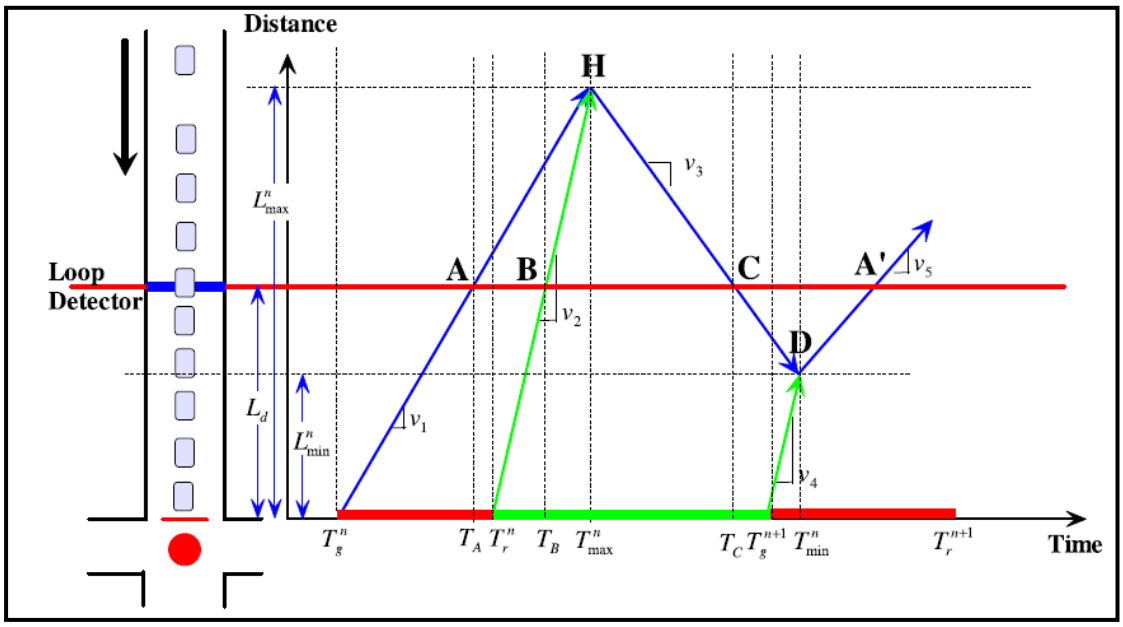
$$N = k_c(l_{2,c} - l_{1,c}) - k_a(l_{2,c} - l_{1,c}) \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.6) และ (2.7) พบว่า สมการที่ (2.6) เป็นสมการเพื่อหาแถวคอยโดยใช้วิธี Input-Output ส่วนสมการที่ (2.7) เป็นสมการเพื่อหาแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก โดยจะสังเกตได้ว่าพจน์ของ $\mathrm{k_a}(l_{2,c} - l_{1,c})$ ทางผู้วิจัยเรียกว่า “Baseline factor” เป็นตัวที่สามารถปรับแก้ให้การคำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกสามารถมีค่าเท่ากับการคำนวณโดยใช้วิธี Input-Output ได้ แต่ถึงอย่างไรก็ดีก็พบว่าการคำนวณนี้สามารถคำนวณได้อย่างถูกต้องแม่นยำได้เฉพาะในกรณีที่สภาพการจราจรอยู่ในสภาวะที่เป็น Under saturation เพราะถ้าเป็นกรณีที่เป็น Over saturation จะมีแถวคอยที่ค้างสะสมอยู่ในรอบที่ผ่านมา ซึ่งทำให้การคำนวณเกิดความผิดพลาดได้

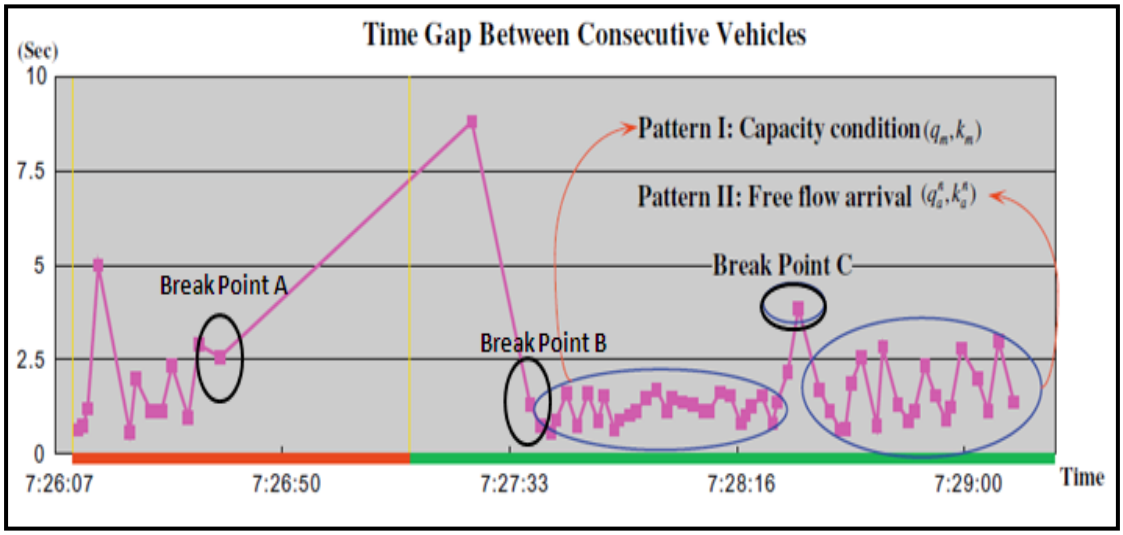
2.3.2 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการหาความยาวแถวคอย

ในการทบทวนงานวิจัยต่อไปนี้จะเป็นการทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหาความยาวแถวคอยทั้งการใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม และ การวิเคราะห์คลื่นกระแทก ซึ่งเป็นการนำหลักการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการพิสูจน์ทฤษฎีทั้ง 2 วิธี

Liu et al. (2009) ได้ศึกษาวิจัยวิธีการประมาณแถวคอย ณ เวลาจริง ในกรณีที่มีการจราจรติดขัดบริเวณทางแยกซึ่งความยาวแถวคอยยาวล้นระยะเครื่องตรวจวัดการจราจรออกไป เนื่องจากการหาแถวคอยโดยใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทกนั้น จะให้ผลดีก็ต่อเมื่อแถวคอยเกิดขึ้นในระยะที่อุปกรณ์สามารถจับได้เท่านั้น หากแถวคอยมีความยาวมากกว่านี้จะไม่สามารถทำได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีสมมติฐานที่ว่าการตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยวัด Occupancy time สามารถช่วยประมาณความยาวแถวคอยได้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ Occupancy time ซึ่งเป็นการวัดเวลาระหว่างรถสองคันที่เข้าสู่เครื่องตรวจนับ โดยใช้ความยาวหนึ่งช่วงถนนซึ่งส่วนปลายของช่วงทั้งสองด้านเป็นสามแยกที่มีสัญญาณไฟ ทิศทางของถนนที่ศึกษามี 2 ช่องจราจร จากนั้นติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรห่างจากเส้นหยุด 400 ฟุต เป็นพื้นที่ศึกษา การศึกษาเริ่มต้นจากการหาคลื่นกระแทก ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ค่า Occupancy time ที่ได้จากเครื่องตรวจวัดการจราจรจะช่วยกำหนดจุด Break points ได้ดังรูปที่ 2.10 และ 2.11



รูปที่ 2.10 การประมาณแถวคอยกรณีที่ความยาวแถวคอยล้นเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยพิจารณาจุด Breakpoint (ที่มา: Liu et al., 2008: 416)



รูปที่ 2.11 การหาจุด Breakpoint A, B และ C ที่วัดได้จาก Occupancy Time (ที่มา: Liu et al., 2008: 417)

จากรูปที่ 2.10 และ 2.11 จุด Breakpoint A คือจุดที่ค่า Occupancy Time เริ่มห่างกันมากขึ้นจากการที่รถเริ่มหยุดเนื่องจากติดสัญญาณไฟแดง จุด Breakpoint B คือจุดที่ค่า

Occupancy Time เริ่มกลับมาถี่ขึ้นอีกครั้งเนื่องจากรถเริ่มเคลื่อนที่เนื่องมาจากการได้รับสัญญาณไฟเขียว จุด Breakpoint C คือจุดที่ค่า Occupancy Time เริ่มมีค่ามากขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากเป็นรถที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการได้รับสัญญาณไฟแดงและไม่ได้ติดอยู่แถวคอย

เมื่อท้ายแถวคอยล้นตำแหน่งของเครื่องตรวจที่จะวัดได้ สิ่งสำคัญที่ต้องทราบ คือ จุด Breakpoint C ซึ่งเป็นจุดที่เป็นช่วงกลุ่มรถที่ไม่ได้ติดแถวคอย ณ เวลา T_c จากนั้นนำเวลานี้ไปแทนค่าในแบบจำลองสมการในการหาความยาวแถวคอย (L_{max}) และเวลาที่มากที่สุดในการเกิดแถวคอย (T_{max}) ซึ่งพิสูจน์มาจากการเกิดคลื่นกระแทก (ดังรูปที่ 2.9) ซึ่งตัวอย่างแบบจำลองสมการเพื่อหาความยาวแถวคอย และเวลาที่มากที่สุดในการเกิดแถวคอยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.8) และ (2.9)

$$L_{max}^{n} = L_d + (T_C - T_B)/(\frac{1}{\gamma_2} + \frac{1}{\gamma_3}) \quad (2.8)$$

$$T_{max}^{n} = T_B + (L_{max}^{n} - L_d)/\gamma_2 \quad (2.9)$$

โดยที่ γ = ความเร็วคลื่นกระแทก

L_d = ระยะระหว่างแยกสัญญาณไฟถึงตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร

T_B และ T_C คือเวลาที่รถเริ่มเคลื่อนตัว และ เวลาที่รถที่ไม่ได้ติดแถวคอยแล่นผ่านตามลำดับ

ผลการวิจัย พบว่า แบบจำลองดังสมการที่ (2.8) และ (2.9) จะให้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด แต่เก็บข้อมูลค่อนข้างยากโดยเฉพาะความเร็วของรถแต่ละคัน ทำให้มีการสร้างแบบจำลองขยายเพิ่มขึ้นมาเพื่อช่วยให้เก็บข้อมูลให้ง่ายขึ้นเช่นจำนวนรถที่เข้ามา หรือ ความหนาแน่น เพียงแต่ได้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่า ตารางที่ 2.1 เป็นตัวอย่างผลของค่า MAPE ที่ได้จากการหาแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟจากสมการที่ (2.8) และ (2.9)

ตารางที่ 2.1 ผลของค่า MAPE ที่ได้จากการหาแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ จากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 วัน

Date	July 23rd, 2008 (%)	October 29st, 2008 (%)	December 10st, 2008 (%)	Average (%)
MAPE	12.89	9.34	22.03	14.93

(ที่มา: Liu et al., 2008: 426)

จากตารางที่ 2.1 ได้การคำนวณความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า Mean Average Percentage Error (MAPE) เฉลี่ยอยู่ประมาณ 15% อย่างไรก็ดี ควรจะมีการพิจารณาในกรณีที่เกิด Over saturation ที่อาจทำให้การคำนวณในแบบจำลองเกิดความคลาดเคลื่อน เช่น ความยาวของยานพาหนะชนิดต่างๆ เหตุการณ์บางอย่างที่ไม่คาดคิด ที่ทำให้ไม่สามารถระบุจุด Breakpoint C ได้ หรือ ความผิดพลาดของตัวเครื่องตรวจนับ เช่น เกิดความเสียหายเนื่องจากอุบัติเหตุ เพื่อที่จะได้การประมาณแถวคอยที่ใกล้เคียงมากขึ้น

Wu et al. (2010) ได้ศึกษาเพิ่มเติมการประมาณแถวคอยต่อจากงานวิจัยของ Liu et al. (2009) โดยเพิ่มในส่วนของการหา Over saturated index (OSI) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟ โดยประยุกต์ใช้หลักการของการวิเคราะห์คลื่นกระแทก และสร้างตัว Over saturated index ขึ้นมาซึ่งเป็นการบ่งบอกว่ามีรถที่ติดค้างจากแถวคอยในรอบที่ผ่านมามากน้อยแค่ไหน ค่า index ที่คิดมานี้จะสามารถเป็นแนวทางในการปรับปรุงสัญญาณไฟ และสามารถแบ่งกรณีการประมาณแถวคอยซึ่งมีผลต่อการประมาณแถวคอยที่ใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ช่วงถนน 2 ช่วง โดยส่วนปลายของช่วงทั้งสองด้านเป็นสามแยกที่มีสัญญาณไฟ ตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรห่างจากเส้นหยุด 400 ฟุต จากนั้นพิจารณาการประมาณแถวคอยและหา Over Saturated index ดังสมการที่ (2.10) โดยค่า Over saturated index ที่ได้นั้นแบ่งได้เป็นสองกรณี คือการเกิดแถวคอยที่ติดค้างอยู่ และการเกิดแถวคอยล้นออกจากช่วงถนน สมการที่ (2.10) จะเป็นตัวอย่างการคำนวณค่า Index (The oversaturation severity index in temporal dimension; T-OSI) ในกรณีที่แถวคอยติดค้างอยู่

$$\text{T-OSI} = \frac{\text{unusable green time}}{\text{total available green time}} \times 100\% = \frac{L_{\min}^{n} / l_{\text{jam}} \cdot h}{G} \times 100\% \qquad (2.10)$$

โดยที่ $L_{\min}^{n}$ คือแถวคอยที่ตกค้างจากรอบสัญญาณไฟที่ผ่านมา

l_{jam} คือความยาวของรถที่จอดในแถวคอยโดยรวมไปถึงระยะช่องว่าง ของรถแต่ละคัน

h คือระยะ Headway

ค่า Over saturated index ที่ได้มานั้น สามารถเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟได้ และ สามารถจำแนกว่าการที่แถวคอยล้นออกมาจากเครื่องตรวจนับมาจากการเข้ามาของรถที่มากหรือจากการที่แถวคอยติดยาวกันมาจากไฟแดง อย่างไรก็ดีควรมีการแสดงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสังเกตว่าใกล้เคียงมากขึ้นหรือไม่ และในอนาคตอาจจะมีการใช้แผนที่ในการระบุตัว Index ที่เกิดขึ้นด้วย

Shama et al. (2007) ได้ศึกษาวิธีการประมาณแถวคอยและความล่าช้า โดยทำการเปรียบเทียบทั้งสองวิธีคือ Input-output กับ Hybrid วิธี Input-output จะใช้ข้อมูลจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรเฉพาะรถที่เข้าสู่ทางแยก แต่วิธี Hybrid จะใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดตรงรถที่ออกทางแยกเพิ่มเข้าไปด้วย แล้วนำมาหาแถวคอยกับความล่าช้าโดยใช้วิธีกราฟปริมาณการจราจรสะสม โดยมีข้อสมมติฐานเบื้องต้นคือวิธี Hybrid น่าจะช่วยให้การหาแถวคอยและความล่าช้ามีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการสังเกตมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลการจราจรหลายตัวในการพิจารณาไม่ว่าจะเป็นปริมาณจราจร ข้อมูลสัญญาณไฟ ข้อมูลตัวแปรคงที่ (Parameter) ค่า Arrival shift Start-up lost time Storage capacity และ Saturation headway พื้นที่ศึกษาได้ใช้บริเวณสี่แยกสัญญาณไฟ และ วัดแถวคอยและความล่าช้าในสองทิศทางจราจร การหาแถวคอยและความล่าช้าจะใช้ทั้งวิธี Input-output กับ Hybrid ทั้งช่วงที่มีปริมาณจราจรสูง และต่ำ ผลการวิจัยพบว่าวิธี Input-output จะให้ผลใกล้เคียงกว่า Hybrid โดยตรวจสอบจากค่า R Square และ Root Mean Square Error (RMSE) แต่เมื่อพิจารณาในสภาพจราจรที่มีปริมาณจราจรสูงวิธี Input-output จะใกล้เคียงน้อยลง แต่วิธี Hybrid จะใกล้เคียงมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณจราจรสูง วิธี Hybrid จะช่วยให้มีความใกล้เคียงมากขึ้น แต่น่าจะมีการพิจารณาการใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทกเข้าไปด้วย และควรจะวิจารณ์ถึงความคลาดเคลื่อนของ hybrid เพิ่มเติม

Fu et al. (2001) ได้ปรับเปลี่ยนกราฟปริมาณจราจรสะสมที่พิจารณาเพียงแค่ตำแหน่งเข้ากับออก ในการประมาณแถวคอยในกรณีที่มีการจราจรติดขัด และ มีปริมาณรถที่มากกว่าปริมาณจราจรที่สามารถให้บริการ ผู้วิจัยได้ทำการประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมดังสมการที่ (2.11)

$$Q^i = \begin{cases} Q^{i-1} + q^i - c_a^i & If \quad Q^{i-1} + q^{i-1} \geq c_a^i \\ 0 & Otherwise \end{cases} \tag{2.11}$$

โดยที่ q^i คือปริมาณรถเข้าระหว่างรอบสัญญาณไฟที่ i

c_a^i คือปริมาณรถออกจากทางแยกซึ่งคิดจากความจุของรถในแต่ละช่องจราจร

Q^i คือความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นในรอบสัญญาณไฟที่ i

จากสมการที่ (2.11) จะนำ Q^i ไปคิดหาความยาวแถวคอยที่ล้นออกมาจากระยะของเครื่องตรวจนับการจราจร สำหรับการปรับเปลี่ยนแบบจำลองนั้นใช้หลักการ Effectiveness of the adaptive self-adjustment procedure (SAP) ในการปรับแก้ เพื่อให้แถวคอยมีสภาพ

ใกล้เคียงจากการสังเกตมากยิ่งขึ้น ซึ่งทางผู้วิจัยได้คาดเอาไว้ว่า การใช้ SAP สามารถช่วยปรับแก้ให้การประมาณแถวคอยมีค่าใกล้เคียงของจริงมากยิ่งขึ้น ข้อมูลจราจรที่ต้องเก็บ คือ จำนวนรถที่เข้าสู่บริเวณเครื่องตรวจนับ และข้อมูลสัญญาณไฟในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ถนน 4 ช่วง ณ ทางแยกสัญญาณไฟ 3 แห่ง เป็นพื้นที่ศึกษา วิธีการศึกษาเริ่มจากเก็บข้อมูลจำนวนรถที่เข้ามา และจังหวะสัญญาณไฟ แล้วนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณแถวคอย ใช้ SAP ทำการปรับแก้โดยไปปรับเปลี่ยนข้อมูลจากเครื่องตรวจนับ เช่น ความเร็ว หรือ Occupancy เพื่อไปปรับปรุงตัว Maximum discharge และ ในการตรวจสอบความถูกต้อง จะใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ตรวจสอบ Sensitivity ซึ่งประกอบไปด้วย ตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร Detector pulling interval Projection speed Maximum discharge และ SAP ผลการวิจัยพบว่าการใช้ SAP ช่วยให้ค่า RMSE น้อยลง จนใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ดี เมื่อใช้แบบจำลองนี้ในช่วงถนนยาวขึ้น ความคลาดเคลื่อนก็มีมากขึ้น

Chang et al. (2000) ได้ประมาณแถวคอยโดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรเพื่อใช้สำหรับการควบคุมจราจร ณ เวลาจริง โดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรนับปริมาณรถที่เข้ามา และวัด Occupancy มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประมาณแถวคอยโดยไม่ต้องพิจารณาการวิเคราะห์คลื่นกระแทก (การประมาณแถวคอยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรที่เข้ามา กับ Occupancy ก็สามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อประมาณแถวคอยได้) งานวิจัยนี้ ได้ตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรไว้ที่ระยะกึ่งกลางช่วงถนน แล้วตรวจวัดปริมาณจราจร กับ Occupancy จากนั้นนับปริมาณรถที่ผ่านเครื่องตรวจวัดการจราจรสำหรับรถที่อยู่ในกรณีต่อไปนี้ 1) รถคันแรกที่เข้าสู่แถวคอยโดยที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มรถ 2) รถคันแรกของกลุ่มรถที่เข้าสู่แถวคอย 3) รถคันสุดท้ายของกลุ่มรถที่เข้าสู่แถวคอย และ ตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้แบบจำลองสภาพการจราจรที่เรียกว่า WATSim พบว่า เกิดความคลาดเคลื่อนที่แปรผันตามระยะทาง แต่ความคลาดเคลื่อนนั้น ได้ถูกจำกัด อีกทั้งยังไม่เกิด Bias แต่อย่างไรก็ดี ควรจะมีอธิบายการเกิดความคลาดเคลื่อน และหลักการของ WATSim ในบทความให้มากกว่านี้ เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

Skabardonis and Geroliminis (2008) ได้หาความยาวแถวคอยเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการคาดการณ์เวลาเดินทาง ณ เวลาจริง (Real-time) ของถนนในเขตเมืองที่มีสัญญาณไฟ ซึ่งจำเป็นจะต้องหาความล่าช้า (Delay) โดยความแถวคอยก็เป็นตัวแปรหนึ่งในการระบุความล่าช้าด้วย การหาแถวคอยในงานวิจัยนี้ได้ใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทก โดยนำความเร็ว

ที่เป็นแบบ Free flow speed และ คลื่นกระแทกที่เกิดจากรถที่ออกจากทางแยกเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวดังสมการที่ (2.12) การหาความยาวของท้ายแถวคอย ได้ใช้ข้อมูลจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ห่างจากเขตสัญญาณไฟเป็นระยะ L_d

$$L_m = \frac{u_f \cdot \omega}{u_f + \omega} \cdot g + L_d = \frac{c}{k_j} \cdot g + L_d \quad (2.12)$$

โดยที่ L_m คือ ความยาวแถวคอยที่มากที่สุดซึ่งเป็นระยะท้ายแถว

u_f คือ Free Flow speed

ω คือ คลื่นกระแทกของรถที่ออกจากสัญญาณไฟ

g คือ เวลาที่ได้รับสัญญาณไฟเขียว

L_d คือ ระยะห่างจากทางแยกที่ติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจร

c คือ Saturation Flow

k_j คือ ความหนาแน่นที่มากที่สุด

Geroliminis (2009) ได้เสนอวิธีการที่จะคาดการณ์เวลาที่แถวคอยจะล้นยาวเครื่องตรวจวัดการจราจร เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมามีข้อจำกัดในการหาแถวคอยที่ล้นยาวเครื่องตรวจวัดการจราจร และ เครื่องตรวจวัดการจราจรไม่สามารถวัดความเร็วได้โดยตรง โดยในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการวิเคราะห์คลื่นกระแทก ทำการระบุการเพิ่มของแถวคอย (Growing Queue) จากนั้นหาความหนาแน่นขณะที่แถวคอยเริ่มยาวมาถึงเครื่องตรวจวัดการจราจร ซึ่งเป็นค่าวิกฤต (Critical value of occupancy) และหาความหนาแน่นที่รถเริ่มเคลื่อนตัวอีกครั้งที่ตัวเครื่องตรวจวัด (Blocking occupancy) ดังสมการที่ (2.13) และ (2.14)

$$\overline{O}_{cr} = \frac{L_{eff} \cdot \overline{q}}{u_f} \quad (2.13)$$

$$\overline{O}_{sp} = \frac{L_{eff} \cdot \overline{q}}{u_f} + \frac{r}{c} \quad (2.14)$$

โดยที่ $\overline{O}_{cr}$ คือ Critical value of occupancy

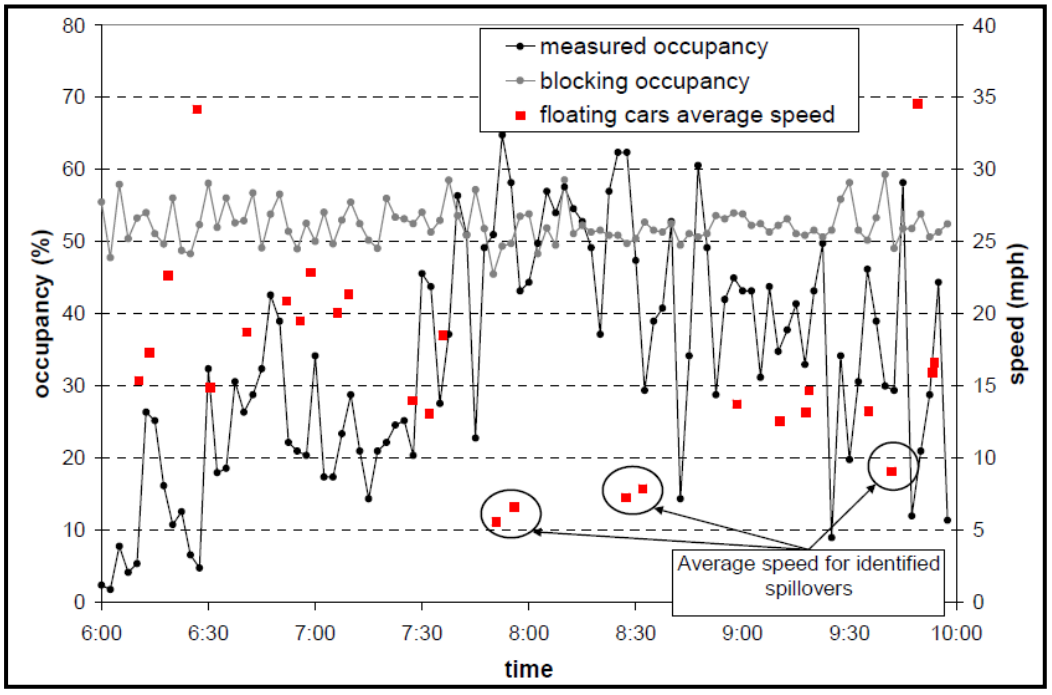
$\overline{O}_{sp}$ คือ Blocking Occupancy

L_{eff} คือ ความยาวประสิทธิผลของรถแต่ละคัน

$\overline{q}$ คือ อัตราการไหลของรถ (ปริมาณจราจร)

r และ C คือ เวลาไฟแดง และเวลารอบของสัญญาณไฟตามลำดับ

จากนั้นปรับแก้ความแปรผันของความยาวยานพาหนะ แต่พบว่า ไม่มีผลต่อ Blocking occupancy มากนัก พื้นที่ศึกษาใช้ 6 ช่วงถนน ณ ทางแยกสัญญาณไฟ 7 แห่ง ระยะห่างแต่ละช่วงอยู่ระหว่าง 500-1600 ฟุต โดยติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรห่างจากเส้นหยุดของทางแยกสัญญาณไฟ 250 ฟุต และบันทึกทุกๆ 30 วินาที ตำแหน่งและความเร็วของรถถูกบันทึกด้วย GPS ข้อมูลสัญญาณได้มาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 4 ชั่วโมง ในการวิเคราะห์จะใช้ค่า Occupancy ที่วัดจริง (Measured occupancy) ค่า Blocking occupancy และ Floating car average speed โดยใช้แบบจำลองสภาพการจราจร แล้วมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้พบว่า ช่วงเวลาแถวคอยที่ล้นระยะเครื่องตรวจวัดการจราจร สามารถระบุได้จากการที่เส้นกราฟ occupancy ที่วัดจริงมีค่าสูงกว่า Blocking occupancy และ Floating car average speed มีค่าที่ต่ำดังรูปที่ 2.12 สิ่งที่จะดำเนินการต่อไป คือ การพัฒนาวิธีการติดตามสภาพจราจรติดขัดในโครงข่ายถนน และระบุถึงความถูกต้องแม่นยำในงานวิจัย



รูปที่ 2.12 ช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอย ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร

(ที่มา: Geroliminis, 2009: 14)

Geroliminis and Skabardonis (2011) ได้พัฒนาเพิ่มเติมในงานวิจัยจาก Geroliminis (2009) ที่คาดการณ์เวลาแถวคอยที่ล้นยาวเครื่องตรวจวัดการจราจรเพียงอย่างเดียว

มาเป็นการระบุปริมาณรถที่ล้นระยะของเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (2.15)

$$S_t = \sum_i (sg_{it} - q_{it}c) \cdot x_{it} \quad (2.15)$$

โดยที่ S_t คือ จำนวนรถที่ล้นเกินระยะเครื่องตรวจวัด ในทุกๆรอบสัญญาณไฟ t

c คือ รอบเวลาสัญญาณไฟ

s คือ Saturation flow

sg_{it} และ q_{it} คือ ช่วงเวลาไฟเขียวและปริมาณรถที่เข้าสู่ทางแยกที่ช่วงถนน i

x_{it} คือ ตัวผันแปรชนิด Binary

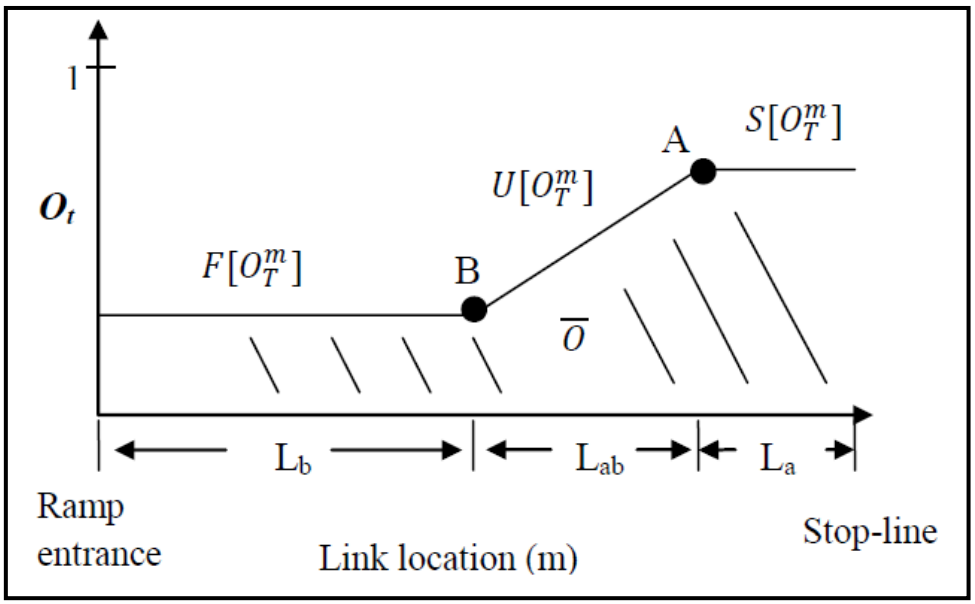
Qian et al. (2012) ได้ประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นตรงบริเวณทางออกจากทางพิเศษที่ติดตั้งสัญญาณไฟ (Off-ramps) เพื่อเข้าสู่ถนนปกติในเขตเมือง (Arterial road) โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้จากแถวคอยที่เกิดขึ้น มาใช้ในการจัดการจราจรเพื่อไม่ให้ท้ายแถวล้นยาวมาถึงส่วนของถนนสายหลักของทางพิเศษ (Freeway) แม้ว่าได้มีการติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจร แต่มีก็มีข้อจำกัดอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน เช่น สภาพอากาศโดยเฉพาะเวลาฝนตก สิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ป้ายจราจร สายไฟ และ หากท้ายแถวคอยยาวล้นเกินตำแหน่งที่ได้ติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจร การประมาณแถวคอยก็จะเป็นไปได้ยากขึ้น งานวิจัยนี้จึงใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรโดยการเก็บค่า Time Occupancy ใน 2 ตำแหน่งคือ (1) ตำแหน่งที่ใกล้กับเส้นหยุดซึ่งให้เป็นตำแหน่ง A และ (2) ตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางช่วงถนนที่ทำการศึกษาซึ่งให้เป็นตำแหน่ง B จากนั้นดังภาพที่ 2.13 ทำการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time Occupancy (O_t) กับระยะทางทั้งช่วงถนน (L) จนได้ค่า Occupancy ในตอนที่รถเข้าสู่ช่วงถนน ($F[O_T^m]$) ในตอนที่รถกำลังจะหยุด ($U[O_T^m]$) และ ในตอนที่รถจอดติดสัญญาณไฟ ($S[O_T^m]$)

จากภาพที่ 2.13 พบว่าถ้าหาพื้นที่กราฟ ก็จะได้การประมาณแถวคอย ($\bar{O}$) ออกมาตั้งแต่ช่วง L_b, L_{ab}, และ L_a ได้ดังสมการที่ (2.16) ซึ่งมีหน่วยเป็นระยะทาง

$$\bar{O} = F[O_T^m] \times L_b + \frac{1}{2}(F[O_T^m] + S[O_T^m]) \times L_{ab} + S[O_T^m] \times L_a \quad (2.16)$$

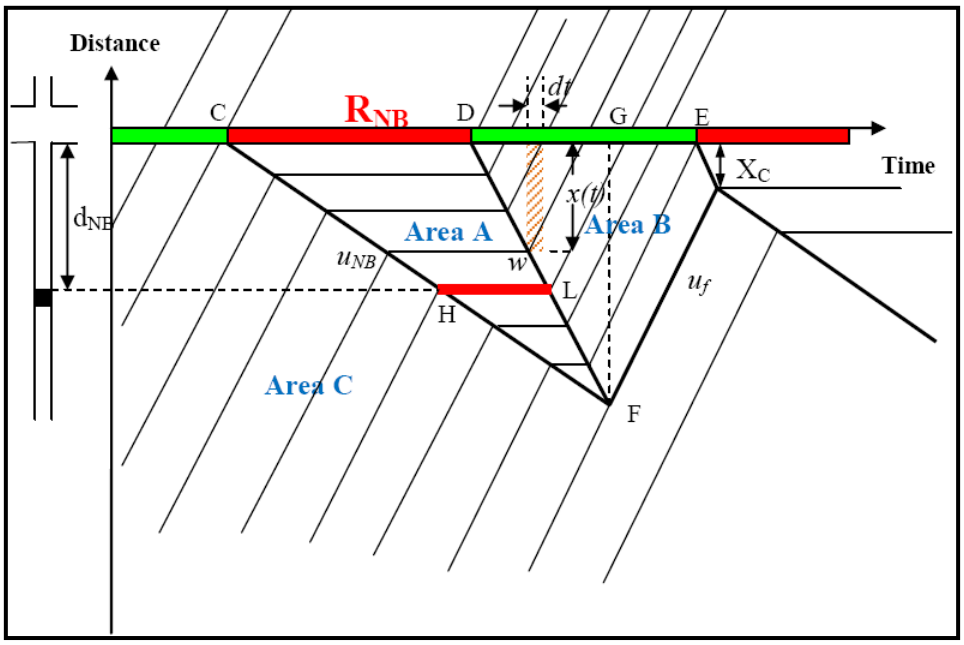
สำหรับการทดสอบความถูกต้องของการประมาณที่เสนอมานั้น ทดสอบโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรแบบจุลภาค (Microscopic traffic simulator) แทนที่จะใช้แถวคอยที่ได้จากการวัดจริงในภาคสนาม ซึ่งผลการทดสอบพบว่า การประมาณจะมีความ

ใกล้เคียงขึ้นก็ต่อเมื่อแถวคอยยาวมากขึ้นโดยดูจากค่า Mean Average Percentage Error (MAPE)



รูปที่ 2.13 Occupancy ที่เกิดขึ้นในช่วงถนนที่ทำการศึกษา (ที่มา: Qian et al., 2012: 6)

Lertworawanich (2011) ได้ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก พร้อมกับแผนภาพเวลากับระยะทาง ในสถานการณ์ที่รถจอดรอสัญญาณไฟเขียวที่ทางแยกจนกระทั่งออกตัวในแต่ละรอบสัญญาณไฟทั้งในกรณีที่ไม่เกิดแถวคอยที่ติดค้างจากรอบสัญญาณไฟที่ผ่านมา (Under saturation) และเกิดแถวคอยที่ติดค้าง (Residual queue) จากรอบสัญญาณไฟที่ผ่านมา (Over saturation) จากนั้นเก็บข้อมูลจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งอยู่บริเวณที่รถออกสู่ทางแยก (Upstream) เพื่อหากระบวนการควบคุมสัญญาณไฟด้วยเอง โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจราจร โดยตัวอย่างวิธีการเพื่อจัดการสัญญาณไฟสามารถแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นกรณีที่มีท้ายแถวคอยติดค้างจากรอบสัญญาณไฟที่ผ่านมา (Residual, X_c) แล้วใช้รูปที่เกิดขึ้นนี้ นำมาสร้างสมการที่ได้มาจากใน Area A และ สามารถคำนวณการจัดสรรช่วงเวลาไฟเขียวในแต่ละขา รวมทั้งรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสมได้ โดยบริเวณตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรนั้น สามารถตรวจจับรถที่เข้า ความเร็ว รวมไปถึงเวลาตั้งแต่ที่รถจอดนิ่งไปจนถึงเริ่มเคลื่อนตัวได้



รูปที่ 2.14 แผนภาพเวลา กับ ระยะทางที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะใช้ในการจัดการสัญญาณไฟจราจร (ที่มา: Lertworawanich, 2011)

2.4 สรุปผลการทบทวนงานวิจัย

จากการทบทวนทฤษฎีการจราจรเพื่อใช้ในการประมาณสภาพการจราจร โดยเฉพาะการประมาณความยาวแถวคอย ณ ทางแยกสัญญาณไฟ พบว่า มีหลักการตามทฤษฎีพื้นฐานสามทฤษฎีสามารถนำมาใช้ประมาณความยาวแถวคอยได้ ได้แก่ การใช้กราฟปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Plot) การวิเคราะห์หลักการของคลื่นกระแทก (Shockwave Analysis) และการใช้แผนภาพเวลากับเวลา (Time-Space diagram) โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน และมีการพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างการคำนวณเพื่อหาแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม กับ การวิเคราะห์คลื่นกระแทก (Ping et al., 2008)

งานวิจัยในอดีตหลายชิ้นมุ่งเน้นการประมาณแถวคอยจากข้อมูลพื้นฐานการจราจร ไม่ว่าจะเป็นปริมาณการจราจร ความเร็ว ความหนาแน่น และให้ความสำคัญกับการประมาณความยาวแถวคอยในกรณีที่แถวคอยยาวเกินตำแหน่งการตรวจวัดค่าการจราจร มีงานวิจัยที่หลายชิ้น ได้พัฒนาแบบจำลองการประมาณแถวคอยในกรณีที่แถวคอยยาวเกินตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร มีการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากผลที่ได้จากการสังเกต เช่น การ

ใช้ค่า MAPE ซึ่งมีการเกิด Error ที่แปรผันตามระยะทาง (Liu et al., 2009) มีการใช้ตัวปรับแก้ต่างๆ เช่น Effectiveness of the adaptive self-adjustment procedure (SAP) ช่วยให้ค่าความคลาดเคลื่อน เช่น RMS ที่ลดน้อยลง จนใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น (Fu et al., 2001) และนอกจากนี้ยังสามารถจำแนกว่าการที่แถวคอยล้นออกมาจากเครื่องตรวจวัดการจราจร มาจากการเข้ามาของรถที่มาก หรือการที่แถวคอยติดยาวกันมาจากไฟแดง (Wu et al., 2010)

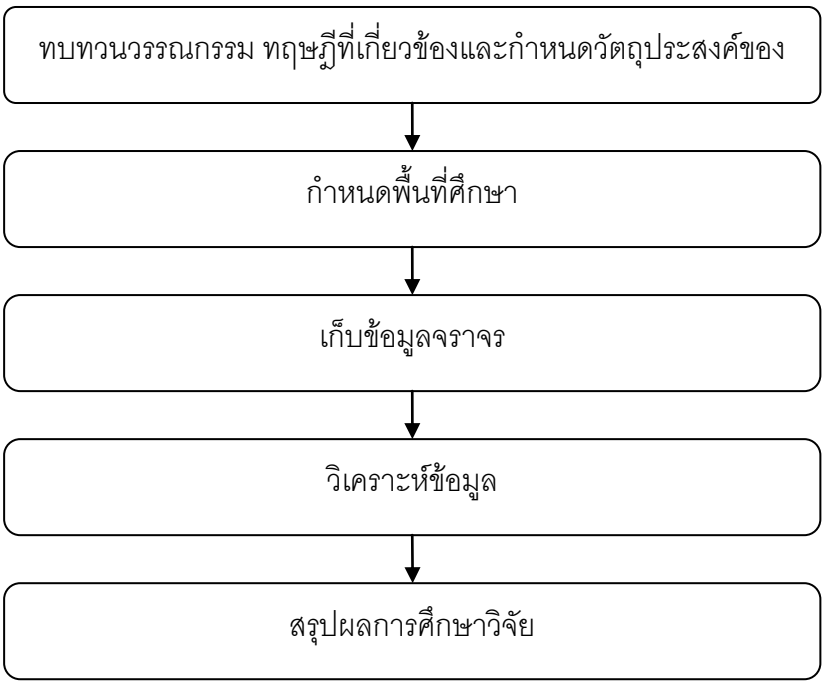
สำหรับการประยุกต์ใช้การหาความยาวแถวคอยจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาใช้ประโยชน์ในด้านการจัดการจราจรนั้น โดย Lertworawanich (2011) ได้ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก พร้อมกับแผนภาพเวลากับระยะทาง ในสถานการณ์ที่รถจอดรอสัญญาณไฟเขียวที่ทางแยกจนกระทั่งออกตัวในแต่ละรอบสัญญาณไฟ จากนั้นก็สร้างสมการขึ้นจากการเกิดความล่าช้า เพื่อคำนวณการจัดสรรเวลาไฟเขียวในแต่ละขา รวมทั้งรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสมได้

ดังนั้นในบทต่อไปจะประยุกต์ในสิ่งที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 ไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีการจราจร การเก็บข้อมูลจราจร และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต มาเสนอเป็นวิธีการดำเนินงานสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนการศึกษาทั้งหมด 5 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยเริ่มจากการทบทวนงานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณความยาวแถวคอยในอดีต รวมถึงระบุสิ่งที่ขาดหายหรือช่องว่างเพื่อจะได้เป็นแนวคิดในงานวิจัยนี้ จากนั้นกำหนดพื้นที่ศึกษาที่เป็นช่วงถนนที่มีสัญญาณไฟ แล้วเก็บข้อมูลจราจรที่เกี่ยวข้องกับการหาความยาวแถวคอยซึ่งก็คือปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่น วิธีการเก็บข้อมูลจะตั้งกล้องวีดิทัศน์อยู่ 3 ตำแหน่งที่ถูกกำหนดให้เป็นเครื่องตรวจวัดการจราจร จากนั้นก็นำข้อมูลจราจรที่ได้มาวิเคราะห์โดยนำมาคำนวณหาความยาวแถวคอยโดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และพิจารณากรณีที่ความยาวแถวคอยที่ล้น และไม่ล้นระยะที่ได้ติดตั้งเครื่องตรวจวัด ซึ่งห่างจากสัญญาณไฟ 200 – 300 เมตร และท้ายสุดคือการสรุปผลการศึกษา



รูปที่ 3.1 แนวทางการวิจัย

3.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการหาความยาวแถวคอย ณ ทางแยกที่มีสัญญาณไฟ ดังนั้นพื้นที่ศึกษาจะต้องเป็นช่วงของถนนในเขตเมือง (Arterial) ที่มีสัญญาณไฟ เพื่อความง่ายต่อการวัดความยาวแถวคอย ลักษณะของช่วงถนนไม่ควรมีคอขวด (Bottleneck) หรือมีการขยายช่องจราจรก่อนถึงสัญญาณไฟ เพราะถ้ามีสิ่งเหล่านี้เข้ามารบกวนก็จะส่งผลให้การหาความยาวแถวคอยมีความยากลำบากมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการเก็บข้อมูลจราจรจะต้องเก็บปริมาณจราจร ความเร็ว และ Occupancy การติดตั้งกล้องวีดิทัศน์ซึ่งจะต้องตั้งอยู่มุมสูง เพื่อที่ให้เห็นรถวิ่งผ่านได้ชัด และสามารถเก็บข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำที่สุด ดังนั้นสะพานลอย หรือ อาคารสูงจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เป็นสถานที่ในการตั้งกล้องวีดิทัศน์ นอกจากนี้ การมีซอยระหว่างช่วงถนนที่มากเกินไป อาจทำให้การคำนวณความยาวแถวคอยเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากถ้ามีรถเข้าออกซอยมาก ทำให้การเก็บข้อมูลจราจรในช่วงรถเข้านั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยที่ไม่สามารถทราบเวลาได้แน่ชัด ดังนั้นจึงสรุปหลักเกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ศึกษาคือ

1. เป็นช่วงถนนที่มีสัญญาณไฟ
2. มีสะพานลอย หรืออาคารสูงเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลจราจรจากการตั้งกล้องถ่ายวีดีโอได้
3. ไม่มีซอยเข้าออกอยู่ระหว่างช่วงถนนมากจนเกินไป

ดังนั้นจึงได้เลือกพื้นที่ศึกษาคือช่วงของถนนพระรามหกระหว่างแยกประดิพัทธ์ถึงแยกพิบูลย์วัฒนาระยะทาง 620 เมตร โดยพิจารณาแถวคอยที่เข้าสู่แยกพิบูลย์วัฒนามีซอยเข้าออกระหว่างช่วงถนนอยู่ 1 แห่งดังรูปที่ 3.2

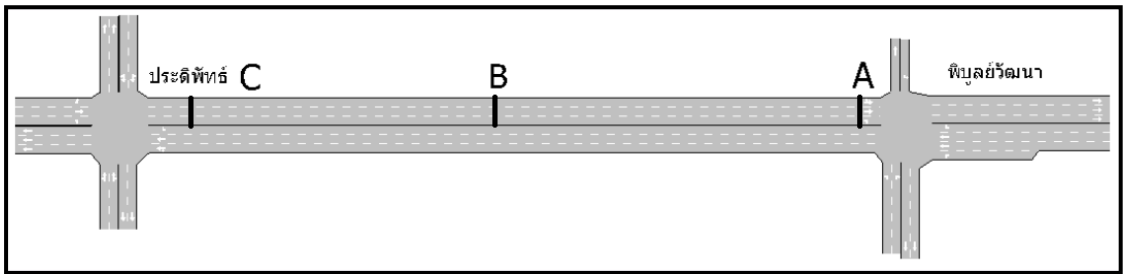
รูปที่ 3.2 พื้นที่ศึกษาระหว่างแยกประดิพัทธ์ถึงแยกพิบูลย์วัฒนา

3.2 การเก็บข้อมูลจราจร

ในการเก็บข้อมูลจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือจากการสังเกตกับจากการใช้โปรแกรมเครื่องตรวจนับ โดยทั้ง 2 ส่วนจะเก็บข้อมูลโดยใช้การบันทึกวีดิทัศน์จากการติดตั้งกล้องวีดิทัศน์ 3 จุด บนสะพานลอย ตำแหน่งที่จะตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจร (Detector) คือ ตำแหน่งที่รถออกจากเขตสัญญาณไฟ ตำแหน่งที่รถเข้าสู่ช่วงถนน และตำแหน่งที่รถเข้าสู่ทางแยก ซึ่งห่างจากเขตสัญญาณ 280 เมตร และในการเก็บข้อมูลจราจรจะเก็บครั้งละ 2 ชั่วโมง โดยแต่ละช่วงถนนจะเก็บข้อมูล 2 เวลาคือ (1) ช่วงเวลาที่มีปริมาณรถมากเพื่อให้สามารถทดสอบการเกิดแถวคอยที่ล้นเครื่องตรวจวัดการจราจรได้ และ (2) ช่วงเวลารถน้อยเพื่อเป็นการตรวจสอบความแม่นยำในการคำนวณการหาความยาวแถวคอย

3.2.1 วิธีการเก็บข้อมูล

ช่วงถนนระหว่างแยกประดิพัทธ์ถึงแยกพิบูลย์วัฒนานั้น จะบันทึกวีดิทัศน์จากกล้องตัวที่ 1 เพื่อเก็บข้อมูลจราจรที่ตำแหน่ง A ตัวที่ 2 ที่ตำแหน่ง B และตัวที่ 3 ที่ตำแหน่ง C ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.3



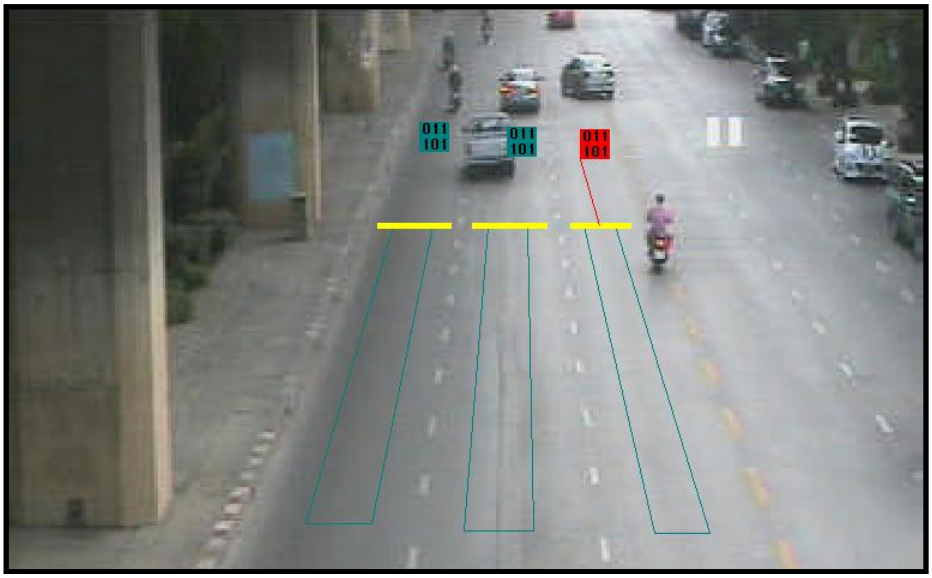
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดที่ก็บข้อมูลจราจร

กล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 ที่ตำแหน่ง A ตั้งอยู่บนสะพานลอยที่แยกพิบูลย์วัฒนา โดยมุมกล้องจะฉายลงไปยังเขตสัญญาณไฟเพื่อให้เห็นรถคันแรกหยุดตรงเขตสัญญาณไฟ และเริ่มออกจากเขตสัญญาณไฟดังแสดงในรูปที่ 3.4

กล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2 ที่ตำแหน่ง B ตั้งอยู่บนสะพานลอยที่อยู่ระหว่างช่วงถนน ซึ่งห่างจากแยกพิบูลย์วัฒนาประมาณ 280 เมตร โดยมุมกล้องจะฉายลงไปยังตำแหน่งก่อนถึงทางเข้าออกโรงเรียนอนุบาลสามเสนดังแสดงในรูปที่ 3.5

กล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3 ที่ตำแหน่ง C ตั้งอยู่บนสะพานลอยที่อยู่ระหว่างช่วงถนนเช่นเดียวกับตำแหน่ง B แต่จะหันไปทางแยกประดิพัทธ์ และมุมกล้องจะฉายไปยังตำแหน่งที่กลุ่มรถเริ่มออกจากแยกประดิพัทธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.4 ตำแหน่งและภาพที่ได้จากกล้องตัวที่ 1 (A)



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งและภาพที่ได้จากกล้องตัวที่ 2 (B)

รูปที่ 3.6 ตำแหน่งและภาพที่ได้จากกล้องตัวที่ 3 (C)

การประมาณความยาวแถวคอยในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้การสังเกต และ การใช้เครื่องตรวจวัดการจราจร การใช้การสังเกตสามารถทำได้โดยการบันทึกเวลาที่ท้ายแถวคอยอยู่ในระยะตำแหน่งต่างๆจากกล้องวีดิทัศน์ ในส่วนของการใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรนั้น ในกรณีที่ท้ายแถวยังไม่ล้นระยะของเครื่องตรวจนับ ให้คำนวณวิธีการหาแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม และ การวิเคราะห์คลื่นกระแทก โดยใช้เครื่องตรวจนับเพียงตำแหน่ง A กับ B เท่านั้น ส่วนกรณีที่ท้ายแถวล้นระยะเครื่องตรวจวัด จะเปลี่ยนการพิจารณาเครื่องตรวจวัดเป็นตำแหน่ง B และ C เพิ่มขึ้นมา ซึ่งตำแหน่ง B เปรียบเสมือนตำแหน่งที่รถออกจากสัญญาณไฟ

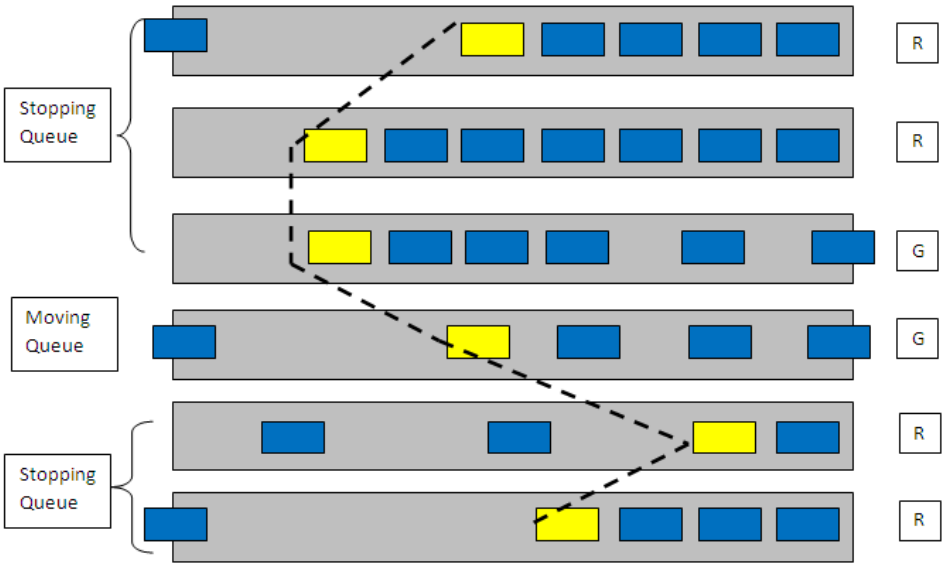
3.2.2 การเตรียมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์

การเตรียมข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์นั้น จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการประมาณความยาวแถวคอยจากการสังเกต และ การใช้โปรแกรมเครื่องตรวจวัดเพื่อเก็บข้อมูลจราจร

1. การหาความยาวแถวคอยจากการสังเกต

การหาแถวคอยที่ได้จากการสังเกต จะพิจารณาแถวคอยอยู่ 2 ประเภท คือ (1) ระยะของท้ายแถวคอย (Stopping queue) ท้ายแถวคอยในประเภทนี้หมายถึง ตำแหน่งของรถคันล่าสุดที่เข้ามาจอดในแถวคอยในช่วงเวลานั้นๆ ดังนั้นท้ายแถวคอยจะสามารถระบุได้ก็ต่อเมื่อแถวคอยมีความยาวเพิ่มขึ้นเท่านั้น เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวรถที่จอดอยู่ในแถวคอยจะเคลื่อนตัวจนไปถึงรถคันสุดท้ายที่จอดอยู่แถวคอย ผลก็คือ แถวคอยจะสลายตัวและไม่สามารถระบุท้ายแถวคอยได้อีกต่อไปจนกว่าจะได้รับสัญญาณไฟแดงแล้วเกิดแถวคอยขึ้นมาอีกรอบ

ทำให้ผู้วิจัยได้กำหนดแถวคอยอีกประเภท คือ (2) แถวคอยเคลื่อนที่ลดลง ซึ่งเป็นตำแหน่งของรถคันสุดท้ายที่จอดในแถวคอยที่กำลังเคลื่อนตัวเนื่องจากได้รับสัญญาณไฟเขียว (Moving queue) ถ้าสภาพที่เป็น Under saturation รถคันสุดท้ายที่จอดจะสามารถผ่านไฟเขียวได้ นั้นคือ ความยาวแถวคอยเท่ากับศูนย์ แต่ถ้าสภาพที่เป็น Over saturation รถคันสุดท้ายที่จอดจะไม่สามารถผ่านไฟเขียวได้ รถจะจอดอยู่กลายเป็นท้ายแถวคอย ณ ตำแหน่งหนึ่ง และมีรถมาจอดต่อข้างหลังเป็นท้ายแถวคอยที่ยาวออกไป ในรูปที่ 3.7 เป็นแสดงตัวอย่างการระบุแถวคอยที่ได้จากการสังเกตในภาคสนามในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการระบุแถวคอยที่ได้จากการสังเกตในภาคสนามในงานวิจัยนี้

วิธีการหาความยาวแถวคอยจากการสังเกตเริ่มจากการตรวจสอบวัดระยะของช่วงถนนที่ศึกษา เนื่องจากพื้นที่ศึกษาอยู่ใต้ทางด่วนขั้นที่ 2 ดังนั้นจึงใช้เสาตอม่อของทางพิเศษมา

ใช้ในการตรวจสอบในเรื่องระยะทาง จากการตรวจสอบที่ภาคสนามพบว่าระยะห่างระหว่างตอม่อตลอดช่วงถนนระหว่างแยกพิบูลย์วัฒนาจนเกือบถึงแยกประดิพัทธ์มีระยะห่าง 28 เมตร แต่ในช่วงเกือบถึงแยกประดิพัทธ์ระยะระหว่างตอม่อเท่ากับ 28 เมตรดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 ระยะระหว่างตอม่อของพื้นที่ศึกษาสำหรับวัดแถวคอยจากการสังเกต

การวัดความยาวแถวคอยสามารถทำได้โดยการฉายภาพวีดิทัศน์ แล้วสังเกตท้ายแถวคอยทุกๆ 5 วินาทีว่า ท้ายแถวอยู่ที่ตำแหน่งไหนของตอม่อทางพิเศษ จากนั้นบันทึกช่วงเวลาที่ท้ายแถวได้ผ่านตำแหน่งต่างๆของตอม่อทางพิเศษดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1 ตำแหน่งของตอม่อจะบอกเป็นตัวเลข ยกตัวอย่างเช่น ตำแหน่งที่ 17 หมายถึงท้ายอยู่พอดีตอม่อที่ 17 นับจากทางแยก ตำแหน่ง 17.5 หมายถึงท้ายแถวอยู่ระหว่างตอม่อที่ 17 กับ 18

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลท้ายแถวคอยในระยะต่างๆ

Time	Signal	ท้ายแถวคอย ตำแหน่งตอม่อ	Queue in Field (m)
0:00:05	R	17	476.0
0:00:10	G	17.5	490.0
0:00:15		17	476.0
0:00:20		17	476.0
0:00:25		17.5	490.0
0:00:30		17.5	490.0
0:00:35		17.5	490.0
0:00:40		17.5	490.0
0:00:45	R	17.5	490.0
0:00:50		17.5	490.0
0:00:55		18	504.0
0:01:00		18.5	518.0
0:01:05		19	532.0
0:01:10		18.5	518.0
0:01:15		18.5	518.0
0:01:20		18	504.0
0:01:25		18	504.0
0:01:30		17.5	490.0
0:01:35		16.5	462.0
0:01:40		15.75	441.0
0:01:45		15	420.0
0:01:50		14	392.0
0:01:55		13	364.0
0:02:00		12.5	350.0
0:02:05		12.5	350.0

2. การใช้โปรแกรมเครื่องตรวจนับเพื่อเก็บข้อมูลจราจร

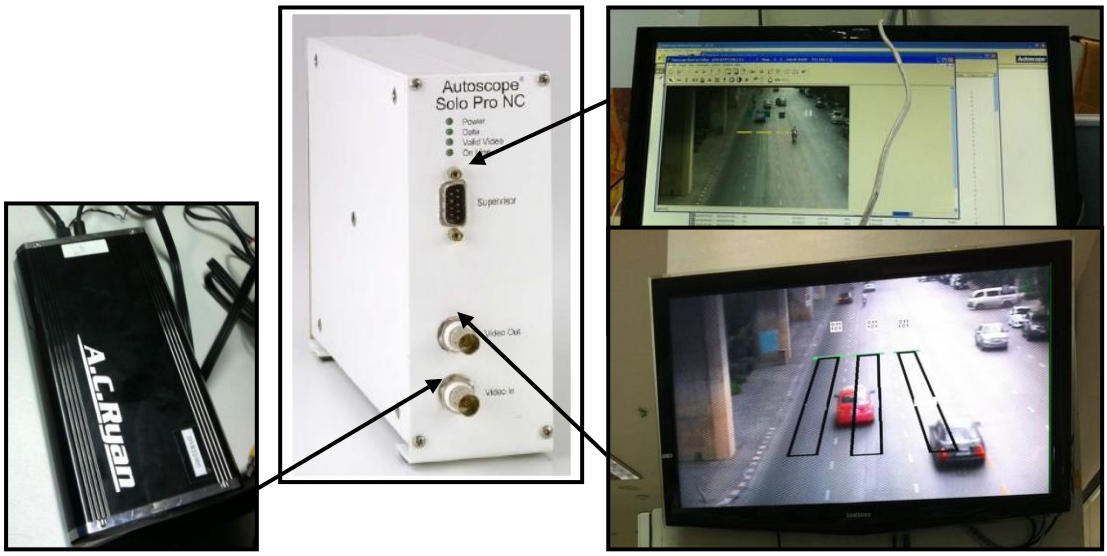
การเก็บข้อมูลจราจรในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูลจราจรอยู่ 2 โปรแกรมด้วยกันคือโปรแกรม Timer กับ โปรแกรม Autoscope

โปรแกรม Timer เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการนับปริมาณจราจรโดยสามารถจำแนกประเภทของรถ และ ช่องจราจรที่ต้องการได้จากการกดคำสั่งบนแป้นพิมพ์ที่แตกต่างกัน

และ เมื่อแสดงภาพวีดิทัศน์ออกมา การกดคำสั่งแต่ละครั้งจะบอกเวลาออกมาด้วยดังรูปที่ 3.9 แต่ถ้าจะวัดความเร็ว หรือ ความหนาแน่น อาจจะต้องใช้โปรแกรมอื่น หรือ วัดด้วยตนเอง

รูปที่ 3.9 การกดตัวเลข 1 2 และ 3 เพื่อจำแนกประเภทรถ และ ช่องจราจร ในแต่ละช่วงเวลา

โปรแกรม Autoscope เป็นโปรแกรมที่สามารถประมวลผลข้อมูลจราจรออกมาไม่ว่าจะเป็นปริมาณจราจร ความเร็ว ความหนาแน่น และ Occupancy โปรแกรมนี้จะต้องกำหนดตัว Sensor เพื่อให้เป็นเครื่องตรวจวัดการจราจร ในการเก็บข้อมูลจราจรไปยังภาพวีดิทัศน์ที่ได้จากการถ่ายในสถานที่จริง โดยโปรแกรมจะเก็บข้อมูลจราจรตามเวลาที่ฉายภาพวีดิทัศน์ จากนั้นก็จะประมวลผลแล้วสามารถแสดงข้อมูลออกมาได้ในโปรแกรม Microsoft Excel อุปกรณ์และการใช้งานโปรแกรม Autoscope ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การใช้งานโปรแกรม Autoscope

จากรูปที่ 3.10 การที่จะทำให้โปรแกรม Autoscope (ภาพขวาบน) สามารถทำงานได้นั้น จะต้องเล่นตัวกล้องวีดิทัศน์ด้วยเครื่องเล่น (ภาพซ้าย) จากนั้นภาพวีดิทัศน์จะปรากฏที่จอโทรทัศน์ (ภาพขวาล่าง) แล้วโปรแกรม Autoscope ก็จะสามารถประมวลผลข้อมูลจราจรได้ โดยการเชื่อมทุกอย่างเข้ากับตัวเครื่องมือ (ภาพกลาง)

แต่ก่อนที่โปรแกรม Autoscope สามารถประมวลผลข้อมูลจราจรได้ จะต้องสร้างเครื่องตรวจจัดการจราจร (Detector) ก่อน ตามตำแหน่งที่ต้องการในภาพวีดิทัศน์ ส่วนขนาดความยาวของเครื่องตรวจวัดการจราจรนั้น จะต้องตรวจสอบระยะทางจริงในสนามมาเรียบร้อยแล้ว

3. การบันทึกข้อมูลจราจร

การบันทึกข้อมูลนั้น จะบันทึกข้อมูลจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรทั้งตำแหน่ง A B และ C ทุกๆ 5 วินาที โดยในแต่ละตำแหน่งจะบันทึกช่วงของสัญญาณไฟ ปริมาณจราจรได้จำแนกรถยนต์ส่วนบุคคลเป็นประเภทหนึ่ง และรถบรรทุกกับรถโดยสารประจำทางเป็นอีกประเภทหนึ่ง นอกจากนี้ก็จะบันทึกความเร็ว และความหนาแน่น

เพื่อความแม่นยำในการประมาณความยาวแถวคอย ได้แบ่งรถออกเป็น 2 ประเภท คือ รถยนต์ส่วนบุคคล และ รถบรรทุกกับรถโดยสารประจำทาง แล้วใช้หน่วยของจำนวนรถเป็นหน่วยความยาวของรถยนต์ส่วนบุคคล (Personal Car Unit; PCU) กำหนดให้ PCU ของรถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุกกับรถโดยสารประจำทางมีค่าเป็น 1 และ 2 ตามลำดับ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลจราจรอยู่ 2 ช่วง คือ (1) ช่วงที่มีสภาพจราจรหนาแน่นจะเก็บและประมวลผลข้อมูลจราจรโดยใช้โปรแกรม Timer เฉพาะปริมาณจราจรเท่านั้น ส่วนความเร็วกับความหนาแน่นนั้น จะกระทำด้วยตัวผู้วิจัยเอง จากเครื่องตรวจวัดการจราจรสมมุติตามที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1 ซึ่งแต่ละตัวได้กำหนดกรอบระยะทางเพื่อให้สามารถจับเวลาที่รถแต่ละคันเข้าและออก เพื่อหาความเร็วออกมาได้ สำหรับความหนาแน่นจะประยุกต์วิธีการคำนวณจากการนำค่าปริมาณจราจรมาหารกับความเร็ว เนื่องจากถ้าจะหาค่าความหนาแน่นภายในพื้นที่เครื่องตรวจวัดการจราจรนั้น เป็นไปได้ยาก และ (2) ช่วงที่มีสภาพจราจรเบาบางจะเก็บและประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Autoscope ทั้งปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่น ได้ทันที

ในกรณีข้อมูลในช่วงสภาพจราจรหนาแน่น สามารถแสดงตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลจราจรที่สามารถประมวลผลทั้งปริมาณจราจร ความเร็ว และ ความหนาแน่น ในแต่ละช่องจราจรรวมทั้งสิ้น 3 ช่องจราจร แสดงได้ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง A ในช่องจราจรที่ 1 (ซ้ายสุด) และ สำหรับความหนาแน่นที่มากที่สุดในแต่ละช่องจราจรนั้น พบว่าจากการวัดในภาคสนามหลายๆครั้ง ได้ความหนาแน่นที่สุดในสภาพการจราจรติดขัดอยู่ที่ประมาณ 150 คันต่อกิโลเมตร ในแต่ละช่องจราจร

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างตารางเพื่อบันทึกข้อมูลจราจรในกรณีที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น

Real Time	Signal	Lane 1						
		Traffic Volume				Speed		Density
		Car	Truck +Bus	Volume (pcu)	Flow (pcu/hr)	Time	Speed (kph)	Density (pcu/km)
16:00:05	R	1	0	1	720	3.53	28.6	25.2
16:00:10		0	0	0	0	3.79	26.6	0.0
16:00:15		1	0	1	720	4.93	20.4	35.2
16:00:20		0	0	0	0	4.48	22.5	0.0
16:00:25	G	1	0	1	720	4.82	20.9	34.4
16:00:30		2	0	2	1440	4.48	22.5	64.0
16:00:35		0	0	0	0		0.0	150.0
16:00:40		0	0	0	0		0.0	150.0
16:00:45		0	0	0	0		0.0	150.0
16:00:50		0	0	0	0		0.0	150.0
16:00:55		0	0	0	0		0.0	150.0
16:01:00		0	0	0	0		0.0	150.0
16:01:05	R	0	0	0	0		0.0	150.0
16:01:10		1	0	1	720	10.83	9.3	77.4
16:01:15		0	0	0	0	8.54	11.8	0.0
16:01:20		0	0	0	0	11.26	9.0	0.0
16:01:25		0	0	0	0	7.54	13.4	0.0

กรณีที่สภาพจราจรเบาบางสามารถแสดงตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลจราจรที่สามารถประมวลผลปริมาณจราจร ความเร็ว และ ความหนาแน่น ในแต่ละช่องจราจรรวมทั้งสิ้น 3 ช่องจราจร ที่ตำแหน่ง A ในช่องจราจรที่ 1 (ซ้ายสุด) เช่นเดียวกับกรณีของสภาพจราจรหนาแน่น แต่สำหรับโปรแกรม Autoscope จะมีการระบุค่า Time occupancy และ Space occupancy เพิ่มเข้าไปด้วย ซึ่งนำไปสู่การหาค่าความหนาแน่นได้ แทนที่จะใช้ค่าปริมาณจราจรกับความเร็วมาหาความหนาแน่นในกรณีที่ผ่านมา แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการใช้ Time occupancy มาใช้

3.3 การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์หาความยาวแถวคอยอยู่ 3 ส่วนคือ (1) ใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม (2) การวิเคราะห์คลื่นกระแทก และ (3) การหาแถวคอยที่วัดจริงในภาคสนาม 2 ส่วนแรกจะแบ่งการวิเคราะห์เป็นกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นและไม่ล้นเครื่องตรวจวัดการจราจร ณ ตำแหน่ง B โดยใช้ชุดข้อมูลในช่วงเวลาที่มีสภาพการจราจรติดขัดเพียงอย่างเดียว ส่วนข้อมูลที่มีปริมาณรถเบาบางนั้น จะใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของการประมาณแถวคอยที่ได้จากคำนวณ และ ใช้เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นของช่วงถนนที่ศึกษา และ ส่วนสุดท้าย (3) จะเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงของประมาณแถวคอยที่ได้จากการคำนวณ กับ การสังเกตในภาคสนาม

3.3.1 วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม

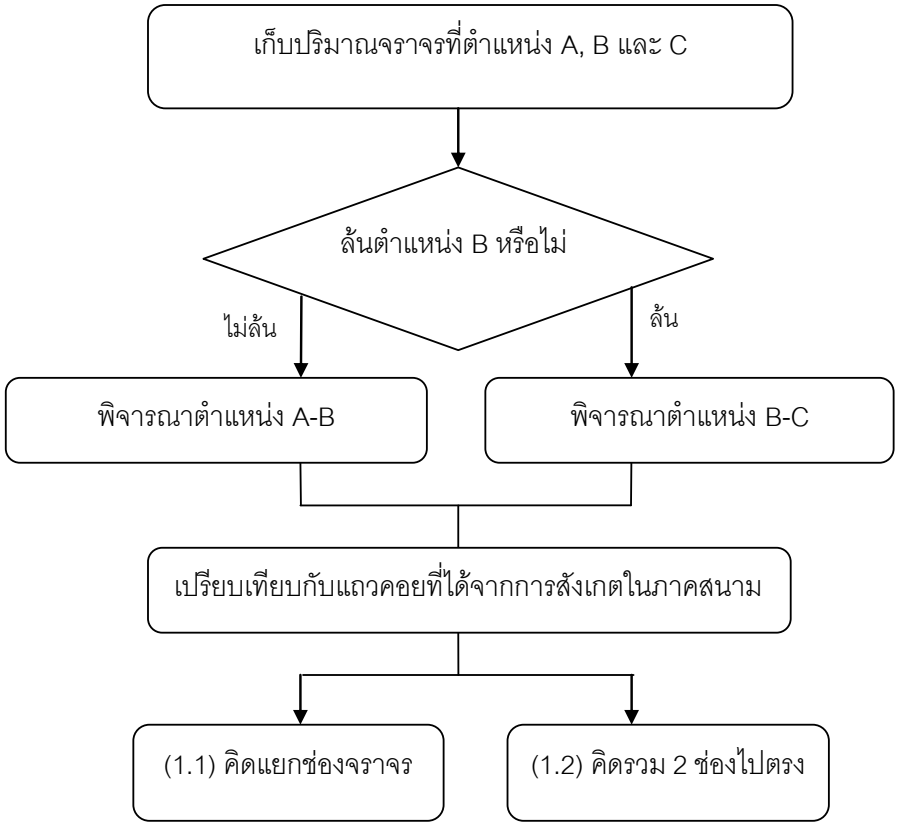
การหาความยาวแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมในตอนแรก เริ่มจากการกำหนดตำแหน่ง Input และ Output ของเครื่องตรวจวัด ณ ตำแหน่ง B และ A ตามลำดับ แล้ววัดปริมาณจราจร และ Occupancy ในแต่ละตำแหน่งทุก 5 วินาที จากนั้นพิจารณาว่าเครื่องตรวจวัดที่ตำแหน่ง B มีแถวคอยล้นจากตำแหน่งนี้หรือไม่ โดยใช้วิธีการของ Geroliminis (2009) หากท้ายแถวคอยยังไม่ล้นตำแหน่ง B ก็คำนวณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A-B ตามปกติดังสมการที่ (2.1) แต่หากท้ายแถวล้นตำแหน่ง B จะพิจารณาตำแหน่ง C เพิ่มขึ้นมา โดยคำนวณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง B-C แล้วคำนวณแถวคอยดังสมการที่ (2.1) จะคำนวณทั้ง (1.1) กรณีแยกช่องจราจรและ (1.2) รวม 2 ช่องจราจรไปตรง วิธีการดำเนินงานในส่วนของการประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมสามารถแสดงในรูปที่ 3.11

อย่างไรก็ดีการคำนวณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมให้ดังสมการที่ (2.1) ให้มีความถูกต้องแม่นยำนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ดังต่อไปนี้

1. การเลื่อนของกราฟปริมาณจราจรสะสม

การเลื่อนของเวลา (Time Lag) เป็นอีกปัจจัยที่ต้องพิจารณา เนื่องจากในแต่ละตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรทั้ง A B และ C มีระยะห่างอยู่พอสมควร ถ้าจะนำข้อมูลจราจรทั้ง 3 ตำแหน่งมาวิเคราะห์ภายใต้เวลาเดียวกัน อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ สำหรับการพิจารณาการเลื่อนของเวลาสำหรับวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมในงานวิจัยนี้ จะดูการเลื่อน

ของเวลาโดยดูจากเวลาเดินทาง (Travel time) ของรถแต่ละคันในแต่ละรอบสัญญาณไฟ แล้วมาเฉลี่ยกันให้เป็นค่าเวลาที่ต้องใช้เลื่อนกราฟของช่วงถนน ส่วนการเลื่อนกราฟก็จะเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาออกออกไป



รูปที่ 3.11 กระบวนการหาแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม

2. การปรับแก้สัดส่วนปริมาณรถเข้าให้เท่ากับปริมาณรถออกในแต่ละช่องจราจร เนื่องจากระยะทางระหว่างตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรของ A และ B มีระยะทางถึง 308 เมตร ซึ่งรถในแต่ละช่องจราจรอาจจะมีการเปลี่ยนช่อง ดังนั้นปริมาณรถที่นับได้ทั้ง 2 ตำแหน่งอาจจะให้ผลที่ขัดแย้งกับผลที่ได้จากการสังเกตเนื่องจากพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร และวิธีการหาการเปลี่ยนช่องจราจรของรถทั้งวิธีการสังเกต หรือใช้เครื่องตรวจวัดการจราจร ก็เป็นไปได้ยาก เช่น รถที่เข้าสู่เครื่องตรวจวัดที่ตำแหน่ง B ในช่องจราจรหนึ่ง แต่พอตอนที่รถเข้าสู่ตำแหน่ง A ก็อาจจะอยู่ในอีกช่องจราจรหนึ่งก็เป็นได้ดังที่จะแสดงตัวอย่างในย่อหน้าถัดไป ตัวอย่างเช่น จากพื้นที่ศึกษาซึ่งมี 3 ช่องจราจรด้วยกันคือ 2 ช่องจราจรไปตรง กับ 1 ช่องที่เลี้ยวขวา พบว่า จากเดิม

รถที่เข้าสู่ตำแหน่ง B ที่ช่องจราจรสำหรับเลี้ยวขวา เมื่อใกล้ถึงตำแหน่ง A มักจะแทรกเพื่อเข้าสู่ช่องจราจรสำหรับไปตรง และหลังจากที่ทำการเก็บข้อมูลปริมาณจราจรทั้ง 2 ตำแหน่งก็พบว่าปริมาณจราจรที่นับได้ที่ตำแหน่ง A ในช่องเลี้ยวขวา มีค่าน้อยกว่าปริมาณจราจรที่นับได้ที่ตำแหน่ง B ในช่วงเวลาเดียวกันอยู่มากเกินความเป็นจริง ซึ่งเป็นไปได้ว่ารถที่อยู่ในช่องเลี้ยวขวาอยู่ส่วนหนึ่งแทรกเข้าช่องจราจรสำหรับไปตรง

ดังนั้นการปรับแก้พฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร จะปรับแก้สัดส่วนปริมาณรถเข้าให้เท่ากับปริมาณรถออกในแต่ละช่องจราจรโดยใช้ตัวคูณถ่วงน้ำหนัก ในช่วงเวลาแต่ละรอบสัญญาณไฟที่เกิดขึ้น เพราะสามารถทราบถึงการเปลี่ยนช่องจราจร ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถทั้งเข้ามาติดแถวคอยและเคลื่อนตัวออกจากทางแยกได้อย่างชัดเจนในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 การปรับแก้สัดส่วนปริมาณรถเข้าในแต่ละช่องจราจรให้เท่ากับรถออก ในแต่ละช่องจราจร

การวิเคราะห์ผลในวิธีการนี้เริ่มจากระบุช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นและไม่ล้นตำแหน่ง B ส่วนการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการประมาณทั้งแยกและรวมช่องจราจรนั้น จะวิเคราะห์แยกกรณีที่ท้ายแถวล้นและไม่ล้นต่างหาก กรณีที่ท้ายแถวยังไม่ล้นถึงตำแหน่ง B จะอภิปรายการเปลี่ยนแปลงของแถวคอยที่ได้จากการคำนวณโดยเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของช่วงจังหวะสัญญาณไฟเส้นกราฟปริมาณจราจรสะสมทั้งขาเข้าและออก และ แถวคอยที่วัดจริงจากการสังเกตในภาคสนาม ส่วนกรณีที่ท้ายแถวล้นถึงตำแหน่ง B จะเทียบกับแถวคอยที่วัดจริงจากการสังเกตในภาคสนามเพียงอย่างเดียว

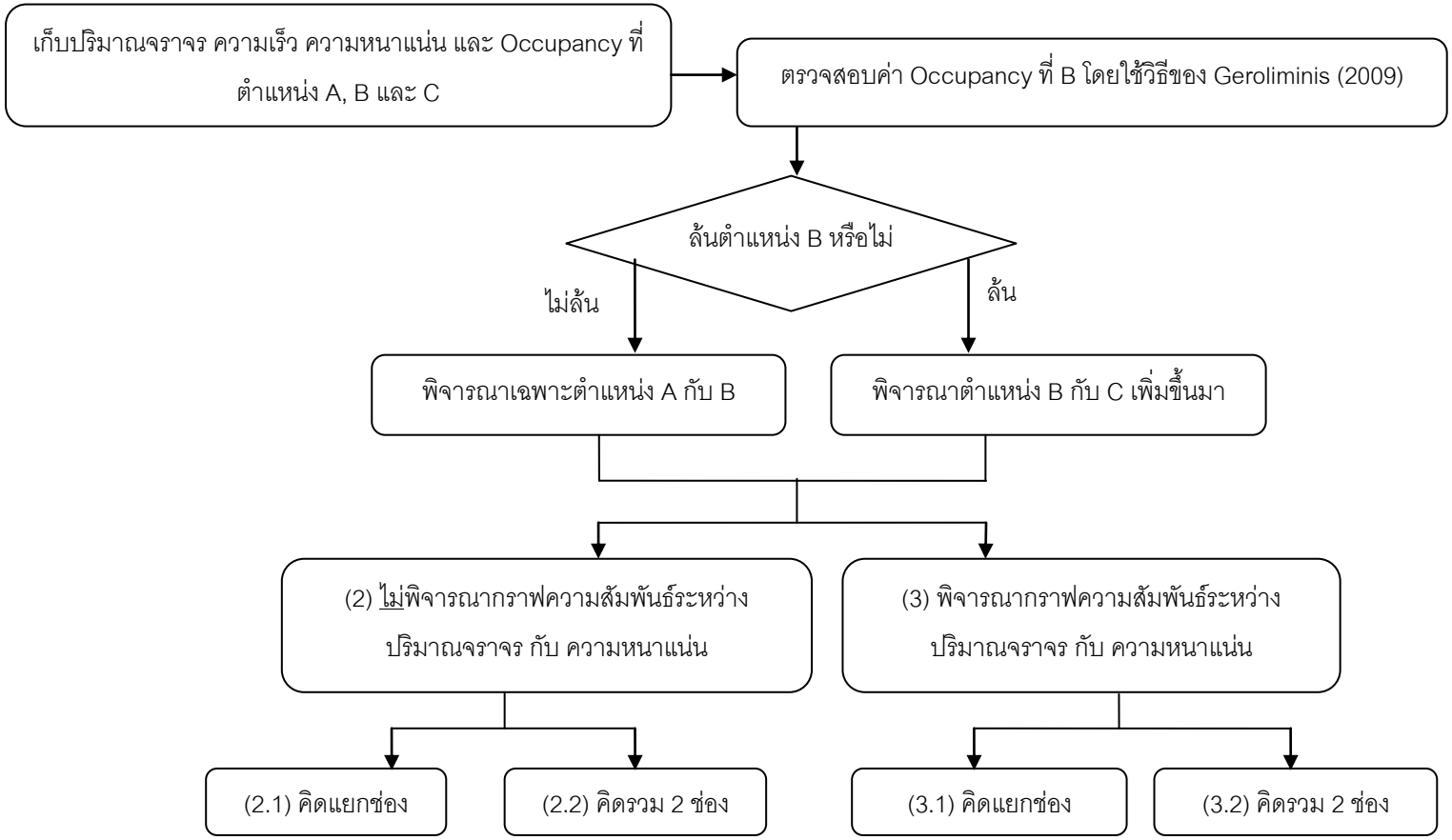
3.3.2 วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

การหาความยาวแถวคอยโดยใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทก เริ่มจากการวัดปริมาณจราจร ความเร็ว และ ความหนาแน่น ณ ตำแหน่งเครื่องตรวจวัด A B และ C ทุก 5 วินาที จากนั้นพิจารณาว่าเครื่องตรวจวัดที่ตำแหน่ง B มีแถวคอยล้นจากตำแหน่งนี้หรือไม่ โดยใช้วิธีการของ Geroliminis (2009) เหมือนกับวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม ถ้าท้ายแถวคอยยังไม่ล้นตำแหน่ง B ก็จะวิเคราะห์คลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่ง A กับ B โดยใช้สมการที่ (2.2) แต่ถ้าหากท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ก็จะวิเคราะห์คลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่ง B กับ C เพิ่มขึ้นมา การคำนวณระหว่างตำแหน่ง B กับ C นั้น จะเปรียบเสมือนว่ามีช่วงถนนใหม่ที่เกิดขึ้นมาโดยที่ตำแหน่ง C เป็นตำแหน่งรถเข้า และ B เป็นตำแหน่งรถออก อย่างไรก็ดีทั้งในกรณีที่ล้นและ ไม่ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจนับที่ B จะพิจารณาทั้งการใช้ และไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นตามที่แสดงในแผนผังดังรูปที่ 3.13

การพิจารณาหรือไม่พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น มีความแตกต่างกัน คือการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น สามารถมั่นใจได้ว่าความเร็วในช่วงที่พิจารณาจะคงที่ ทำให้ไม่เกิดคลื่นกระแทกย่อยๆ เพิ่มขึ้นมาอีกในช่วงถนน

ส่วนการที่ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น จะสะท้อนถึงสภาพความเป็นจริงของสภาพจราจรจราจรได้มากกว่า แต่การคำนวณให้ได้ตามทฤษฎีค่อนข้างยาก เพราะจะได้ชุดข้อมูลปริมาณจราจรกับความหนาแน่นไม่เหมือนกันจากการเก็บแต่ละครั้ง ซึ่งจะได้ความเร็วที่แตกต่างกัน ความเร็วที่แตกต่างกันมีผลคือ เมื่อรถผ่านตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรไปแล้ว ถ้ามีการแซงเกิดขึ้นเนื่องจากรถคันหลังเร็วกว่ารถคันหน้า ก็ไม่มีปัญหามาก แต่ถ้าไม่มีการแซงเกิดขึ้นแล้วรถคันหลังเร็วกว่ารถคันหน้า จะทำให้เกิดคลื่นกระแทกย่อยๆ ขึ้นมาในช่วงถนน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ตั้งข้อสมมุติ (Assumption) ที่ว่า ความเร็วที่ผ่านเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง B และ C ถ้ารถคันหลังเร็วกว่ารถคันหน้าสามารถแซงกันได้ และถ้ามีรถจากช่องจราจรอื่นเข้ามาแทรกก็สมมุติว่ามีให้มีความเร็วเท่ากับรถที่อยู่ในช่องปกติ เพื่อไม่ให้เกิดคลื่นกระแทกย่อยๆขึ้นระหว่างช่วงถนน



รูปที่ 3.13 กระบวนการหาแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

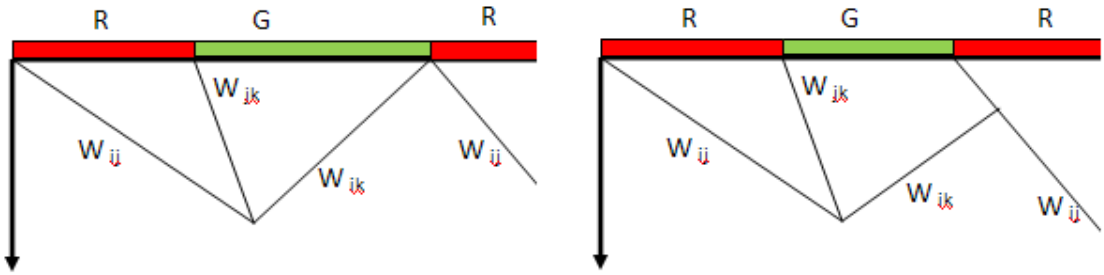
จากรูปที่ 3.13 การคำนวณแถวคอยในวิธีนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลักคือ หัวข้อที่ (2) ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น แต่นำข้อมูลปริมาณจราจร ความเร็ว และ ความหนาแน่น ที่ได้จากการเก็บทุก 5 วินาทีมาใช้ แม้ว่าประเด็นนี้อาจมีความแตกต่างจากการคำนวณตามทฤษฎี แต่ก็สามารถพิสูจน์ให้เห็นถึงความถูกต้องใกล้เคียงในการประมาณแถวคอยโดยใช้ข้อมูลจราจรทุก 5 วินาทีได้

หัวข้อที่ (3) ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น โดยนำทฤษฎีที่ได้ศึกษามานั้นมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ และ เพื่อเป็นการทดสอบว่าการใช้ข้อมูลจราจรมาคำนวณแถวคอยทุก 5 วินาที จะมีความถูกต้องใกล้เคียงมากน้อยแค่ไหน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น

นอกจากนี้ในแต่ละประเด็นจะแยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ คิดแยกช่องจราจร โดยคิดช่องจราจรที่ 1 กับ 2 ที่ไปตรง ตามหัวข้อ (2.1 และ 3.1) และคิดรวม 2 ช่องจราจรที่ไปตรง ตามหัวข้อ (3.1 และ 3.2) เพราะถ้าคิดแยกช่องเพียงอย่างเดียวนั้น อาจจะมีผลในเรื่องของความเร็วของรถที่ต่างกันทุก 5 วินาที โดยเฉพาะถ้าความเร็วเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดแถวคอยย่อยๆเข้ามาได้อีก ดังนั้นการคิดรวมช่องจราจรจะช่วยให้ขจัดเรื่องพวกนี้ได้ สรุปแล้วในกระบวนนี้จะหาวิธีการประมาณและปรับแก้ความยาวแถวคอยอยู่ 4 กระบวนการด้วยกัน

สำหรับในช่องจราจรที่ 3 ที่ไว้ให้เลี้ยวขวานั้น จะไม่นำมาพิจารณา เพราะจากการวัดแถวคอยในภาคสนามพบว่า ท้ายแถวคอยโดยส่วนใหญ่ไม่ล้นถึงตำแหน่งเครื่องตรวจการจราจร B ซึ่งไม่มีผลต่อสภาพจราจรที่ติดขัดเหมือนกับ 2 ช่องจราจรที่ไปตรง

กรณีที่ท้ายแถวคอยยังไม่ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ B สามารถคำนวณความยาวแถวคอยได้ทั้งในสภาพการจราจรที่เป็นแบบ Saturation ดังแสดงแผนภาพในรูปที่ 3.14 (ก) และ Over saturation ได้จากการแสดงแผนภาพในรูปที่ 3.14 (ข) โดย W คือคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นจากการติดสัญญาณไฟแดง (R) และการปล่อยสัญญาณไฟเขียว (G)



(ก) Saturation flow (ข) Over saturation flow

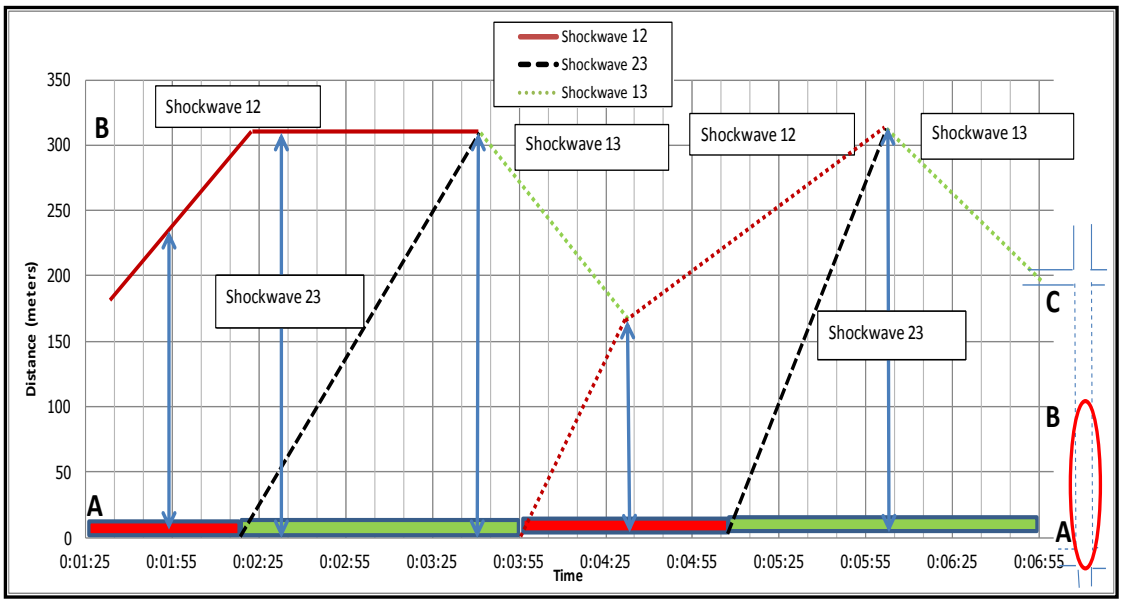
รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นทั้งในกรณีสภาพการจราจรที่เป็นแบบ (ก) Saturation และ (ข) Over saturation

สถานะทางการจราจรที่เกิดขึ้นจากการที่รถติดสัญญาณไฟบนถนนในเมืองมีด้วยกัน 3 สถานะ คือ (1) สถานะที่รถเข้าสู่แถวคอยกำหนดให้เป็นสถานะที่ 1 (2) สถานะที่รถติดอยู่ในแถวคอยกำหนดให้เป็นสถานะที่ 2 และ (3) สถานะที่รถเคลื่อนตัวอีกครั้งจากการรับสัญญาณไฟเขียวกำหนดให้เป็นสถานะที่ 3

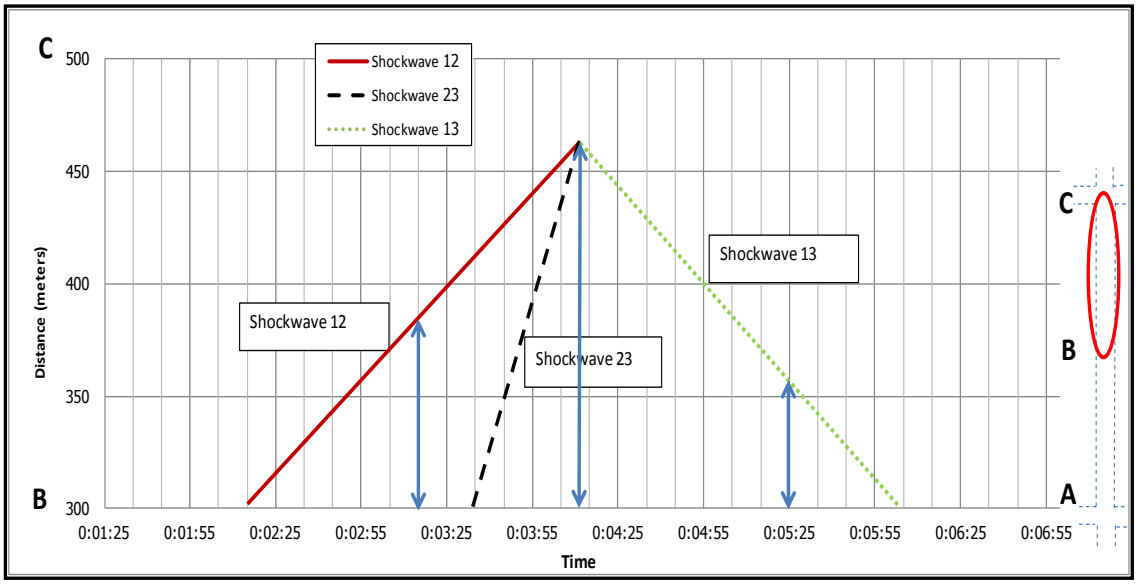
การคำนวณหาความยาวแถวคอยสามารถหาได้จากการนำค่าคลื่นกระแทกที่ได้มาลากบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทาง จากนั้นหาผลต่างระหว่างคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้น กับ เส้นเขตสัญญาณในแต่ละช่วงเวลาได้ตามระยะที่แสดงไว้โดยลูกศรในรูปที่ 3.15 คลื่นกระแทก 12 (Shockwave 12) คือ คลื่นที่เกิดจากรถที่จอดเรียงกัน เนื่องจากติดสัญญาณไฟแดง คลื่นกระแทก 23 (Shockwave 23) คือ คลื่นที่เกิดจากรถที่เริ่มออกตัวเนื่องจากได้รับสัญญาณไฟเขียว และ คลื่นกระแทก 13 (Shockwave 13) คือ คลื่นที่เกิดจากการที่แถวคอยเกิดการสลายตัว หรือแถวคอยเคลื่อนตัวลดลง (Moving queue) อย่างไรก็ดีกรณีที่มีสภาพการจราจรที่เป็นแบบ Over saturation นั้น จะมีคลื่นกระแทก 32 (Shockwave 32) เข้ามาด้วย คือ รถที่เคลื่อนที่เนื่องจากได้รับสัญญาณไฟเขียวไปแล้วแต่ไม่สามารถเคลื่อนที่พ้นเขตสัญญาณไฟได้จึงต้องพบสถานะการจราจรที่ 2 อีกครั้ง แล้วหยุดติดเป็นแถวคอยอีกรอบ

ส่วนในกรณีที่ท้ายแถวล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ B จะพิจาณาคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่ง B กับ C เพิ่มขึ้นมา ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นคลื่นกระแทกที่ต่อจากระยะ AB คลื่นกระแทก 12 (Shockwave 12) ที่แสดงเส้นประคือคลื่นที่เกิดจากรถที่เริ่มออกตัวเนื่องจากได้รับสัญญาณไฟเขียวซึ่งต่อมาจากตำแหน่ง B คลื่นกระแทก 23 (Shockwave 23) คือ

คลื่นที่เกิดจากรถที่จอดเรียงกัน เนื่องจากติดสัญญาณไฟแดงที่ล้นเกินมาจากตำแหน่ง B และคลื่นกระแทก 13 (Shockwave 13) คือคลื่นที่เกิดจากการที่แถวคอยเกิดการสลายตัว เนื่องจากรถเริ่มเคลื่อนตัวซึ่งคล้ายกับกรณีที่ยังไม่ล้นตำแหน่ง B



รูปที่ 3.15 การหาความยาวแถวคอยจากการวิเคราะห์คลื่นกระแทกในกรณีที่ท้ายแถวยังไม่ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ B



รูปที่ 3.16 การหาความยาวแถวคอยจากการวิเคราะห์คลื่นกระแทกในกรณีที่ท้ายแถวได้ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ B ไปแล้ว

การพิจารณาการวิเคราะห์คลื่นกระแทกทุก 5 วินาทีนั้น สามารถนำคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบมาหาความยาวแถวคอยได้ตัวอย่างในตารางที่ 3.3 โดยนำข้อมูลจราจรที่เป็นปริมาณจราจร และ ความหนาแน่นที่ตำแหน่ง A B และ C (ในกรณีที่ท้ายแถวล้นตำแหน่ง B) ทุก 5 วินาที มาหาคลื่นกระแทก (Shockwave) ทั้ง W(12) W(32) W(23) และ W(13) ได้ดังสมการที่ (3.4) (3.5) และ (3.6) จากนั้นนำคลื่นทั้ง 3 แบบ มาหาคลื่นกระแทกสะสม (Cumulative shockwave) แล้วใช้ค่าคลื่นกระแทกสะสมในแต่ละช่วงเวลามาหาระยะท้ายแถว ค่าสะสมของคลื่นแต่ละแบบมาชนกันก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามแผนภาพดังรูปที่ 3.16

$$w_{12} = w_{32} = \frac{q_B - 0}{k_B - 150} \tag{3.4}$$

$$w_{23} = \frac{0 - q_A}{150 - k_A} \tag{3.5}$$

$$w_{13} = \frac{q_B - q_A}{k_B - k_A} \tag{3.6}$$

โดยที่ w_{ij} คือคลื่นกระแทกจากสถานะ i ไป j

$q_{A,B}$ คือปริมาณจราจรที่นับได้ที่ตำแหน่ง A หรือ B

$k_{A,B}$ คือความหนาแน่นที่นับได้ที่ตำแหน่ง A หรือ B

จากสมการที่ (3.4), (3.5) และ (3.6) เป็นการคำนวณในกรณีที่ท้ายแถวไม่ได้ล้นตำแหน่ง B เท่านั้น ถ้ากรณีที่ล้นตำแหน่ง B จะคิดเหมือนกันดังสมการข้างต้น เพียงแต่จะเปลี่ยนจากตำแหน่ง B เป็น C และ A เป็น B เท่านั้น

เนื่องจากแถวคอยที่ได้มีค่าเป็นลบตามการคำนวณหาคลื่นกระแทกซึ่งมีค่าเป็นลบ (Negative; Neg) ดังนั้นทำการปรับค่าให้เป็นเครื่องหมายบวกโดยการหาค่าสัมบูรณ์ (Absolute; Abs) ก็จะได้ความยาวแถวคอยออกมาดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างตารางเพื่อคำนวณหาความยาวแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก ในกรณีที่ท้ายแถวยังไม่ล้นตำแหน่ง B

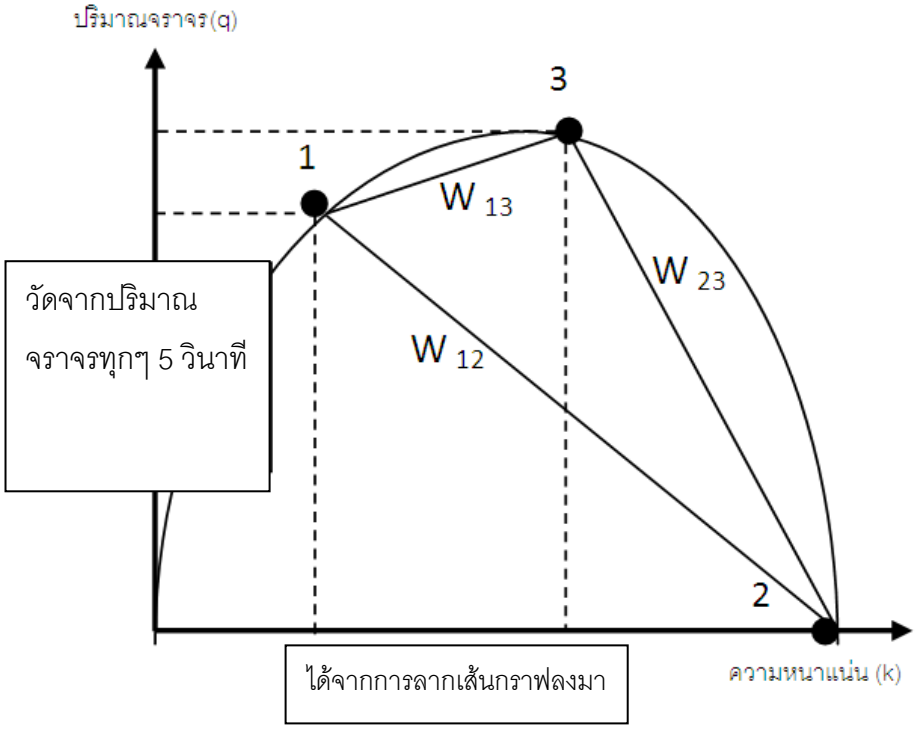
Real Time	Signal	Shockwave AB			Cumulative shockwave				Queue Length	
		W(12,32)	W(23)	W(13)	12	32	23	13	Neg	Abs
16:00:10										
16:00:15										
16:00:20										
16:00:25	G									
16:00:30										
16:00:35										
16:00:40	R									
16:00:45										

การวิเคราะห์คลื่นกระแทกทุก 5 วินาทีนั้น คลื่นกระแทกในแต่ละแบบที่ได้ จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด และเพิ่มขึ้นลดลงไม่คงที่ ดังนั้นการพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น ก็เป็นวิธีที่ทางผู้วิจัยเลือกไว้เป็นตัวเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงในกรณีของการวิเคราะห์คลื่นกระแทก การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่นจะนำข้อมูลสภาพจราจรทั้งในช่วงที่มีปริมาณรถมากซึ่งติดขัด และ ช่วงที่มีปริมาณรถน้อยซึ่งเบาบาง เพื่อเป็นตัวแทนของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่นบนถนนที่ทำการศึกษา

สำหรับการเก็บข้อมูลจราจรเพื่อมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ขึ้นมาในส่วนของปริมาณจราจร จะไม่ได้เก็บข้อมูลในส่วนนี้โดยตรง แต่จะใช้ระยะเวลาระหว่างรถคันแรก กับ รถคันหลังผ่านเข้าสู่ตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร (Time headway) เฉลี่ยทุก 10 วินาที แล้วถึงแปลงเป็นค่าปริมาณจราจรในภายหลัง ค่า Time headway มีหน่วยเป็นวินาที โดยเป็นส่วนกลับของปริมาณจราจรในหน่วยคันต่อชั่วโมงดังแสดงในสมการที่ (3.7) ถ้าหากใช้ค่าปริมาณจราจรโดยตรงทุก 5 วินาที กราฟที่ได้จะเป็นจุดเรียงตัวในแนวนอนอย่างเป็นระเบียบซึ่งผิดจากทฤษฎีการไหลของการจราจร

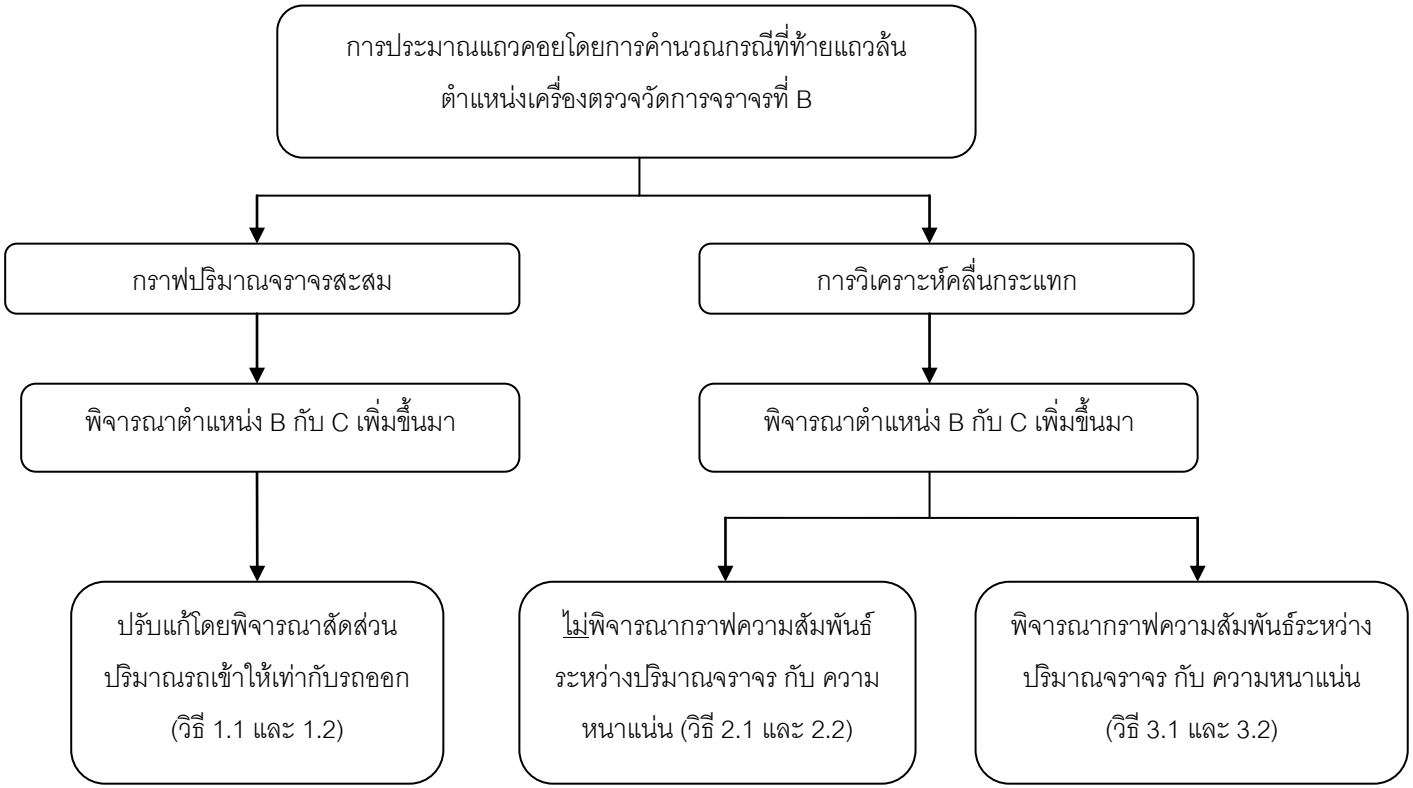
$$\text{Traffic volume} = \text{flow (veh/hr)} = \frac{3600}{\text{Time headway (sec)}} \qquad (3.7)$$

เมื่อสร้างกราฟเรียบร้อยแล้ว ก็นำปริมาณจราจรที่วัดได้ทุก 5 วินาที มาหาความหนาแน่นจากกราฟที่สร้างขึ้นมาได้ การนำปริมาณจราจรมาเพื่อหาความหนาแน่นนั้น จะทำในกรณีที่รถเข้าสู่ทางแยก และ รถออกตัวจากไฟเขียวดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การนำปริมาณจราจรเพื่อมาหาความหนาแน่นจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น

จากการนำเสนอกระบวนประมาณความยาวแถวคอยทั้ง 2 กระบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วในรูปที่ 3.11 และ 3.13 สามารถแสดงวิธีการประมาณแถวคอยที่ได้จากการคำนวณในกรณีที่ท้ายแถวล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร B เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการออกมาจะได้ตามวิธีที่ (1.1) (1.2) (2.1) (2.2) (3.1) (4.1) (4.2) ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 กระบวนหาแถวคอยในกรณีที่ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดจราจรที่ B ทั้งวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม และ วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

3.3.3 การหาแถวคอยที่วัดจริงในภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนาม จะดำเนินการตามที่อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.2.2 แถวคอยที่ได้จากภาคสนามถือว่าเป็นแถวคอยที่มีความถูกต้องมากที่สุดเพราะเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการสังเกต

3.3.4 การเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียง

แถวคอยจากภาคสนาม จะเป็นตัวตรวจสอบการหาความยาวแถวคอยจากการประมาณในวิธีต่างๆ ทั้งในกรณีที่ท้ายแถวล้นและไม่ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ B การตรวจสอบความถูกต้องใกล้เคียงจะเปรียบเทียบตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล โดยใช้ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Average Percentage Error; MAPE) ค่านี้จะเป็นแกนหลักการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลที่ได้จากการประมาณ (Estimation) กับข้อมูลที่ได้จากการสังเกตในภาคสนาม (Observation) ทุก 5 วินาที ดังสมการที่ (3.8)

$$\mathrm{MAPE} = \frac{1}{\mathrm{m}} \sum_{\mathrm{m}} \left| \frac{\mathrm{Observation} - \mathrm{Estimation}}{\mathrm{Observation}} \right| \times 100\% \qquad (3.8)$$

โดยที่ m คือจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ได้ทำการเก็บทุก 5 วินาที

นอกจากค่า MAPE แล้ว จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนของรากที่สองของค่าเฉลี่ยยกกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE) ดังแสดงในสมการที่ (3.9) เพื่อเป็นตัวเสริมในการอภิปรายผลความคลาดเคลื่อน

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{\mathrm{m}} (\mathrm{Observation} - \mathrm{Estimation})^2}{\mathrm{m}}} \qquad (3.9)$$

โดยที่ m คือจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ได้ทำการเก็บทุก 5 วินาที

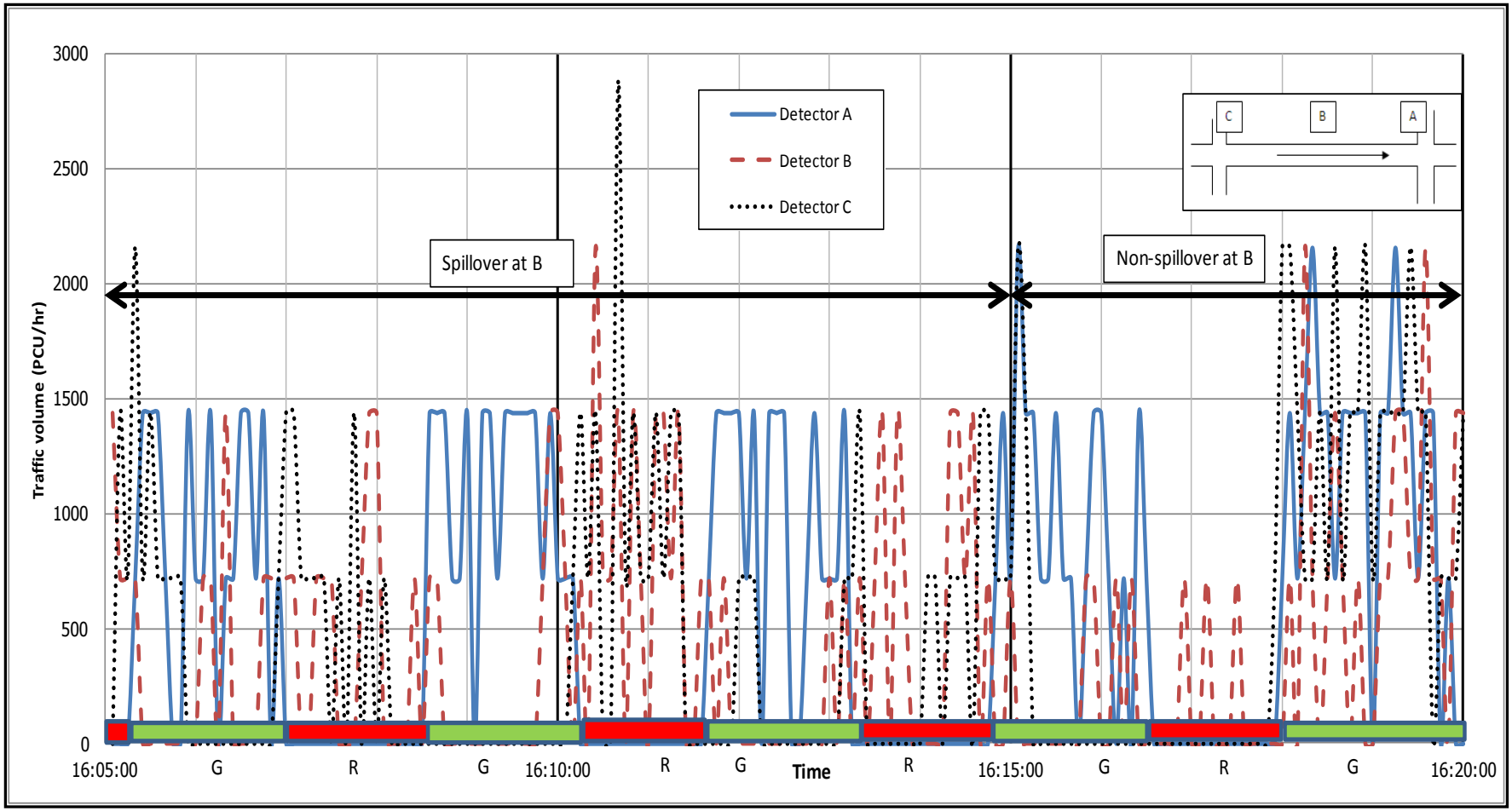
บทที่ 4
ข้อมูลจราจร

บทที่ 4 เป็นการนำเสนอข้อมูลจราจรที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ โดยแสดงในรูปของปริมาณจราจรและความเร็ว เพื่อชี้นำให้เห็นถึงปัญหาสภาพจราจรที่เกิดขึ้นจริงโดยเฉพาะในสภาพการจราจรที่ติดขัด การนำเสนอในบทนี้เริ่มจากข้อมูลปริมาณจราจร และ ความเร็วที่ได้มาจากสภาพการจราจรทั้งติดขัดและเบาบาง ความยาวแถวคอยที่วัดจริงในภาคสนามจากการสังเกต (Observed Queue) จากนั้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นบนช่วงถนน และ ในส่วนสุดท้ายเป็นการแสดงช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นหรือไม่ล้น ณ ตำแหน่ง B โดยใช้ค่า Occupancy ตามงานวิจัยของ Geroliminis (2009)

การศึกษาครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลจราจรใน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่มีการจราจรติดขัด กับ ช่วงเวลาที่มีการจราจรเบาบาง โดยเก็บข้อมูลจราจรในช่วงเวลาที่มีการจราจรติดขัดในวันที่ 23 กันยายน 2555 ระหว่างเวลา 16:00-17:15 น. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที และ เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่มีการจราจรเบาบาง ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2555 เวลา 14:45–16:15 น. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที รวมเวลาที่ได้เก็บข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์เป็นเวลาทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 45 นาที

4.1 ข้อมูลปริมาณจราจร

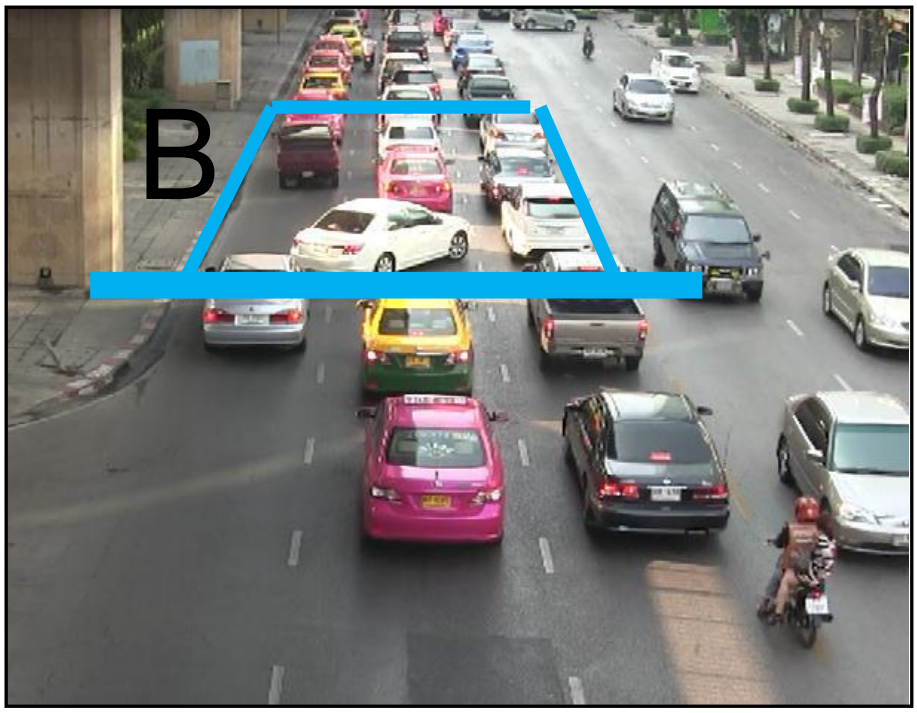
การวิเคราะห์ปริมาณจราจร เริ่มด้วยการเสนอปริมาณจราจรที่วัดได้จากเครื่องตรวจวัดการจราจรทั้ง 3 ตำแหน่ง ที่วัดทุก 5 วินาที และได้แสดงตัวอย่างข้อมูลจราจรในช่องที่ 1 ตั้งแต่เวลา 16:05 – 16:20 น.ของวันที่ 23 กันยายน 2554 เป็นช่วงที่มีการจราจรติดขัด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



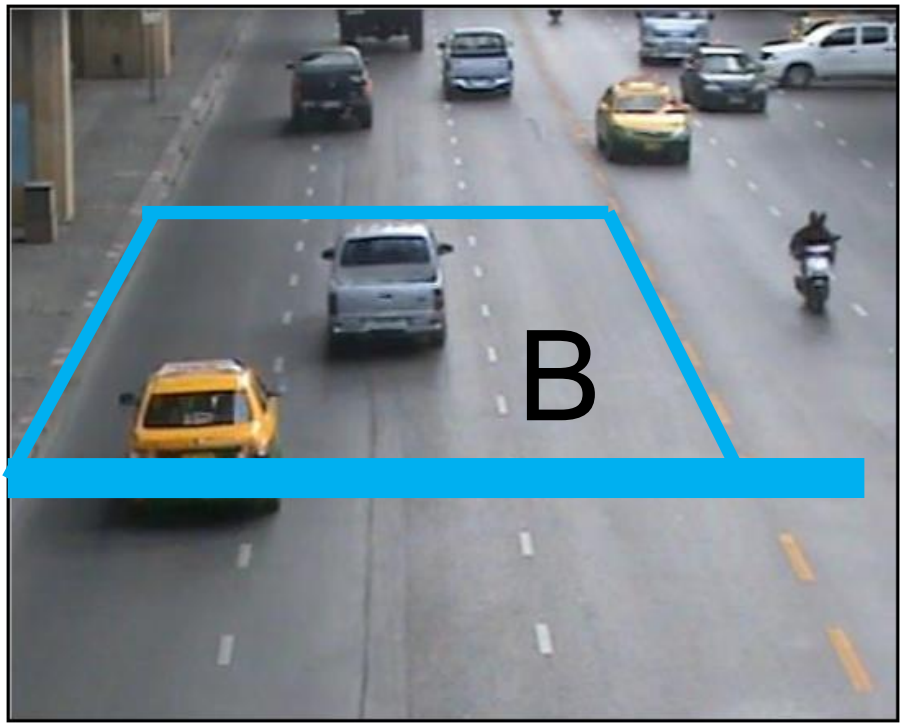
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างปริมาณจราจรที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ในช่องจราจรที่ 1 โดยวัดทุก 5 วินาที (วันที่ 23 กันยายน 2554 เวลา 16:05-16:20 น.)

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณจราจรที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่ง โดยวัดทุก 5 วินาที เฉพาะในช่องจราจรที่ 1 ซึ่งเป็นช่องที่อยู่ซ้ายสุด ตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ A สามารถวัดปริมาณจราจรได้ตามช่วงเวลาที่เกิดสัญญาณไฟเขียว ซึ่งรถจะเคลื่อนที่ออกจากทางแยก ได้ค่าปริมาณจราจรที่มีค่าเป็นศูนย์เนื่องมาจากติดสัญญาณไฟแดง

ส่วนที่ตำแหน่ง B พบว่าในช่วง 5 นาทีแรก ปริมาณจราจรที่วัดได้มีค่าไม่สูงมาก (ไม่ถึง 1,000 คันต่อชั่วโมง) เนื่องจากช่วงเวลานั้น ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่งของเครื่องตรวจนับนี้ ทำให้ค่าที่วัดได้ค่อนข้างน้อยเนื่องจากรถจะเคลื่อนตัวผ่านเป็นปริมาณน้อย แต่หลังจากนั้นค่าปริมาณจราจรเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากท้ายแถวคอยเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโดยสั้นลงไม่ถึงตำแหน่ง B ทำให้รถสามารถเคลื่อนตัวเข้าสู่ตำแหน่ง B ได้มากขึ้น ต่อจากนั้นท้ายแถวคอยได้ล้นตำแหน่ง B อีกครั้ง ทำให้ไม่สามารถวัดค่าได้ ในช่วง 5 นาทีสุดท้าย ค่าปริมาณจราจรที่ได้ในตอนแรกวัดค่าได้น้อย เนื่องจากท้ายแถวคอยยังล้นอยู่ แต่หลังจากนั้นท้ายแถวคอยสั้นกว่าตำแหน่ง B จะมีรถเคลื่อนตัวจึงสามารถวัดค่าได้มากขึ้น โดยลักษณะการล้นและไม่ล้นของท้ายแถวคอย ณ ตำแหน่ง B สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ท้ายแถวคอยล้นถึงตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร B

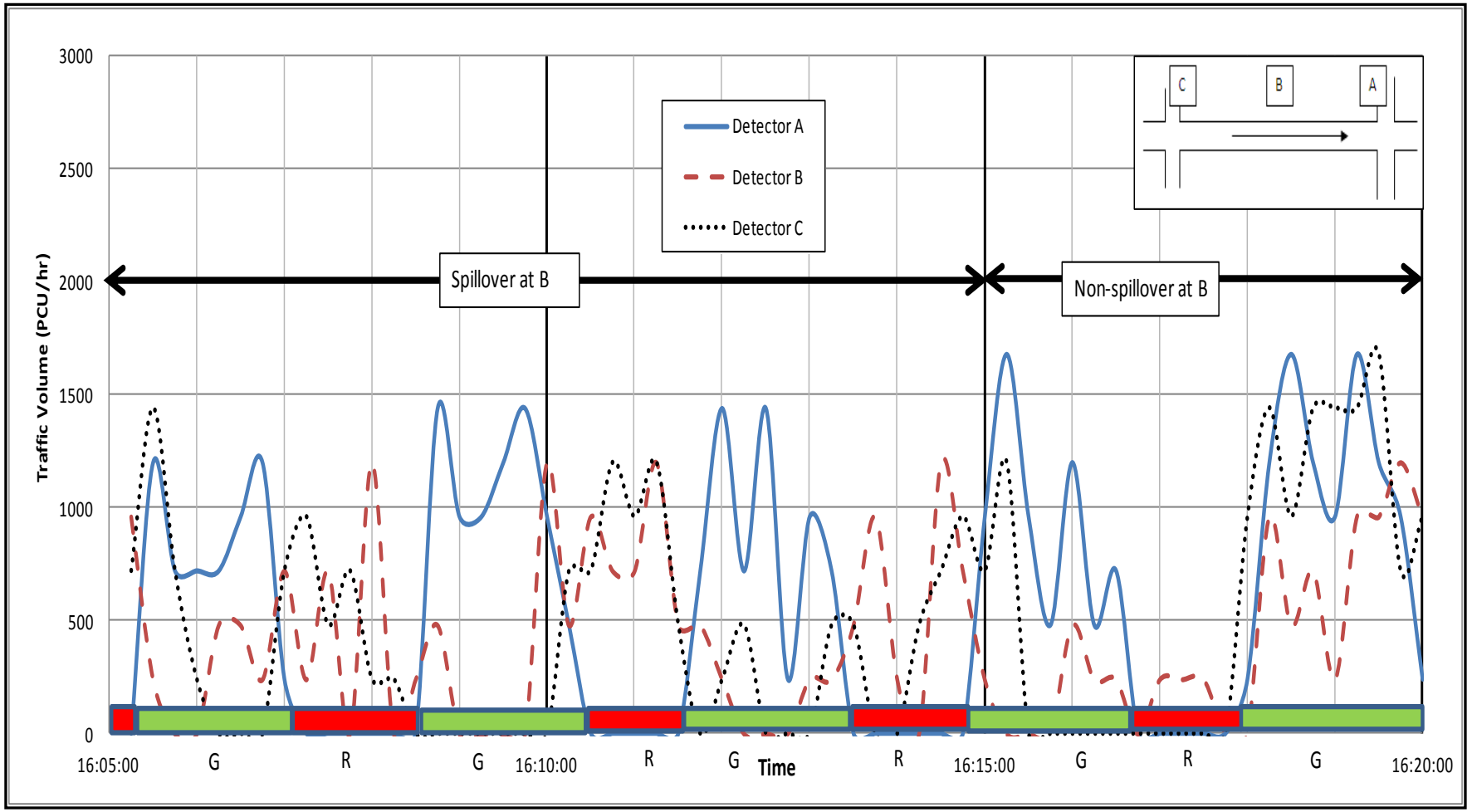


รูปที่ 4.3 ท้ายแถวคอยไม่ล้นถึงตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร B

ส่วนที่ตำแหน่ง C พบว่าตลอดช่วงเวลาของตัวอย่างที่ยกมานั้น มีความแปรผันอยู่ตลอด กล่าวคือ หากรถที่ได้รับสัญญาณไฟเขียวจากแยกก่อนหน้าเคลื่อนตัวผ่าน จะสามารถวัดค่าปริมาณจราจรได้มาก ส่วนค่าที่วัดไม่ได้ก็จะมาจากทั้งในกรณีที่ไม่มีรถเข้าสู่ช่วงถนน หรือ ท้ายแถวคอยล้นมาถึงตำแหน่ง C

นอกจากนี้ ในรูปที่ 4.1 จะแสดงช่วงของปริมาณจราจรที่วัดได้ โดยเฉพาะระหว่างตำแหน่ง A กับ B มีการเหลื่อมกันประมาณ 1 นาที 30 วินาที แสดงให้เห็นว่า เวลาที่จะหาแถวคอยโดยพิจารณาระหว่างตำแหน่ง A กับ B จะต้องพิจารณาการเลื่อนของเวลา (Time Lag) ด้วย

อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยก็ได้ทดลองหาปริมาณจราจรทุก 15 วินาที เข้ามาด้วย เพื่อจะได้เปรียบเทียบค่าปริมาณจราจรที่ได้ กับ การกระจายของค่าปริมาณจราจรดังแสดงในรูปที่ 4.5

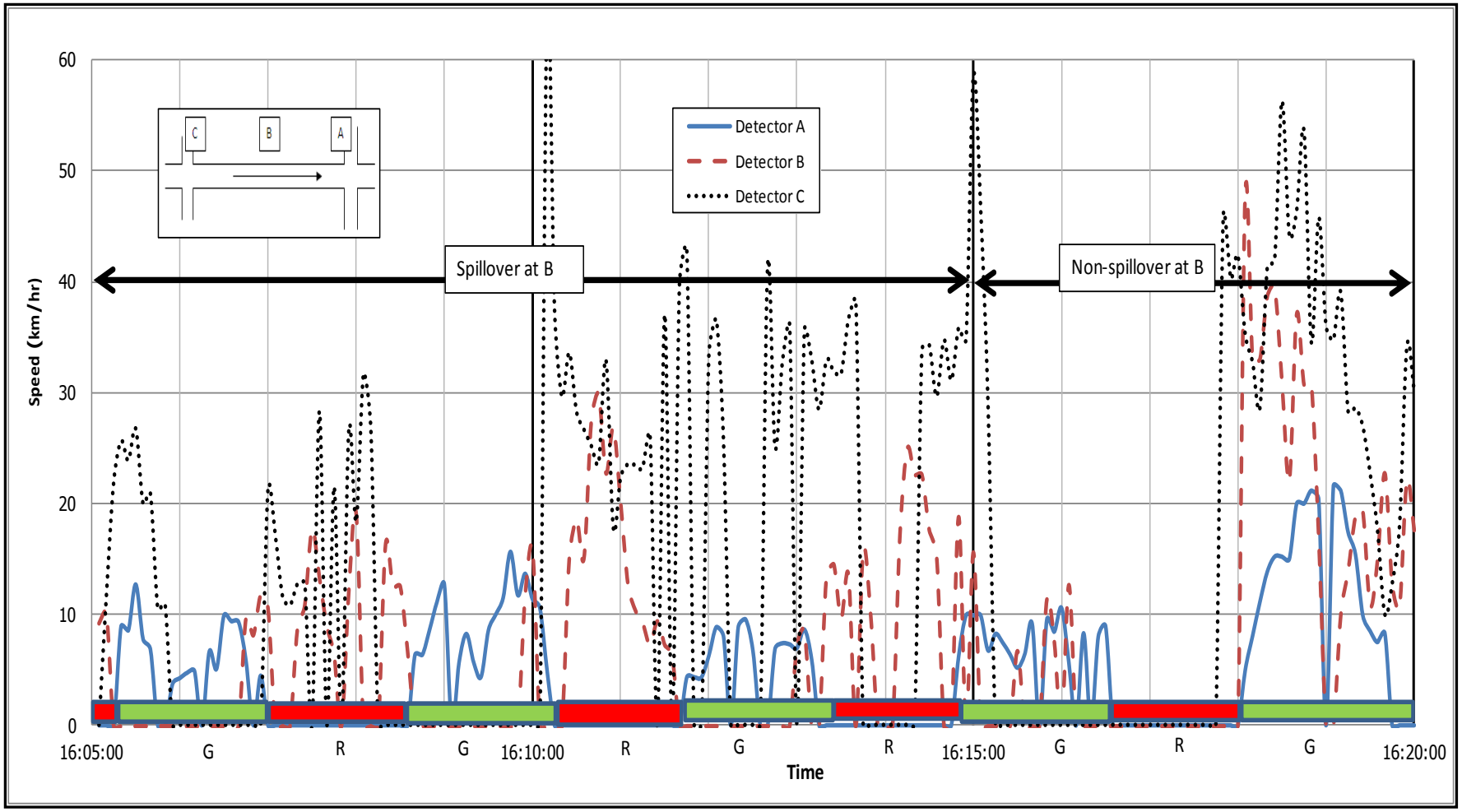


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างปริมาณจราจรที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่งในช่องจราจรที่ 1 โดยวัดทุก 15 วินาที (วันที่ 23 กันยายน 2554 เวลา 16:05-16:20 น.)

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ปริมาณจราจรที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง มีการกระจายที่กว้างกว่า มีความผันแปรน้อยกว่าการวัดทุก 5 วินาที โดยที่เห็นได้ชัด คือ ไม่มีค่าปริมาณจราจรที่เกินกว่า 2,000 คัน/ชั่วโมง และ ยังสามารถหาการเลื่อนของเวลา (Time Lag) ได้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ดี ค่าปริมาณจราจรที่ได้ มีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าการเก็บทุก 5 วินาที ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อมูลปริมาณจราจรทุก 5 วินาที เพื่อใช้ประมาณความยาวแถวคอย เพื่อให้ได้ข้อมูลสภาพจราจรที่มีความแม่นยำกว่า

4.2 ข้อมูลความเร็ว

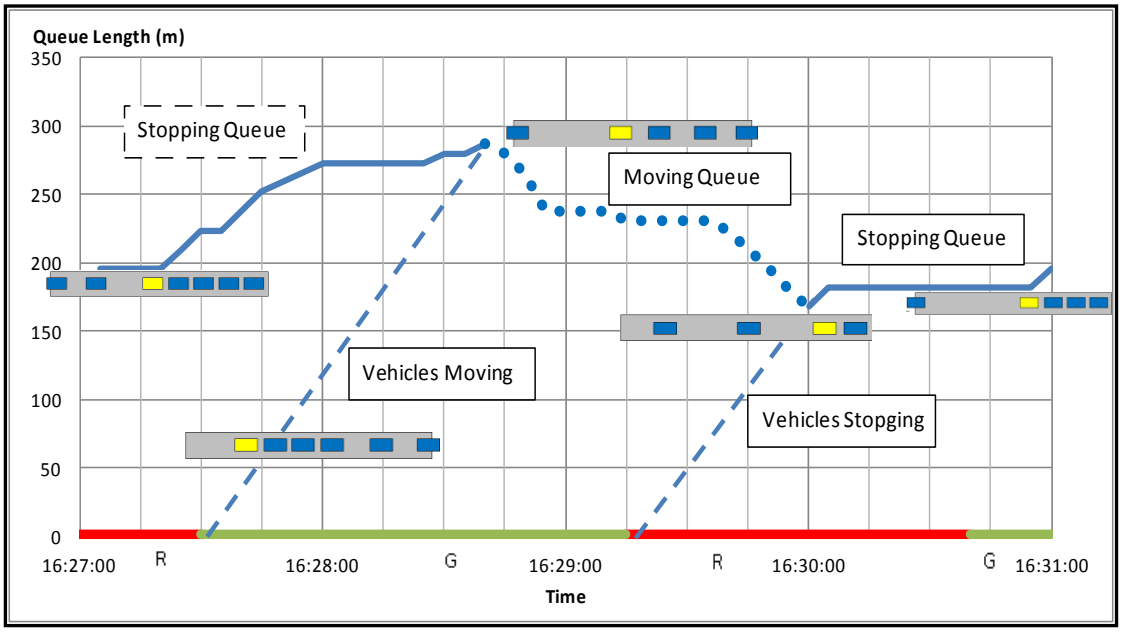
การวิเคราะห์ความเร็วเบื้องต้นนั้น ได้ใช้ข้อมูลที่เก็บได้จากสภาพการจราจรที่ติดขัด ในวันที่ 23 กันยายน 2555 เช่นเดียวกันกับข้อมูลปริมาณจราจร ดังที่แสดงในรูปที่ 4.6 โดยเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง A ความเร็วสามารถวัดได้เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวเท่านั้น ขณะได้รับสัญญาณไฟแดงโดยที่ความเร็วของการจราจรมีค่าเป็นศูนย์ สำหรับเครื่องตรวจวัดที่ตำแหน่ง B ค่าของความเร็วที่วัดได้จะมีลักษณะคล้ายกับตำแหน่ง A แต่จะมีการเหลื่อมของเวลาเกิดขึ้นตามระยะทางที่ห่างกัน และ มีการกระจายตัวของความเร็วมากกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ความเร็วที่วัดได้ยังมากกว่าโดยได้ความเร็วที่มากกว่า 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในบางช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นไม่ถึงตำแหน่ง B และสำหรับเครื่องตรวจวัดที่ตำแหน่ง C นั้น ความเร็วที่วัดได้มีการแปรผันสูงโดยบางครั้งวัดความเร็วสูงสุดได้ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยเฉพาะช่วงที่มีกลุ่มรถได้รับสัญญาณไฟเขียวจากแยกก่อนหน้า นอกจากนี้ จากรูปที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่วัดได้จากเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง A และ B ก็พบว่า มีการเหลื่อมกันของเวลาอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 1 นาที 30 วินาที ซึ่งจะต้องพิจารณาโดยเฉพาะการคำนวณหาแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกได้เช่นกันกับที่เห็นจากการวัดปริมาณจราจรดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.4



รูปที่ 4.5 การกระจายของความเร็วที่วัดได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ในช่องจราจรที่ 1 (วันที่ 23 กันยายน 2554 เวลา 16:05-16:20 น.)

4.3 ข้อมูลแถวคอยที่ได้จากการสังเกตในภาคสนาม

ข้อมูลแถวคอยที่ได้จากการสังเกตในภาคสนามนั้น มีทั้งลักษณะการเกิดของท้ายแถวคอย หรือ แถวคอยหยุด (Stopping queue) และ แถวคอยที่กำลังเคลื่อนตัวเนื่องจากได้รับสัญญาณไฟเขียว (Moving queue) รูปที่ 4.6 เป็นตัวอย่างที่แสดงถึงแถวคอยที่วัดได้จากการสังเกตทั้ง 2 กรณีในภาคสนามที่สัมพันธ์กับช่วงจังหวะสัญญาณไฟ

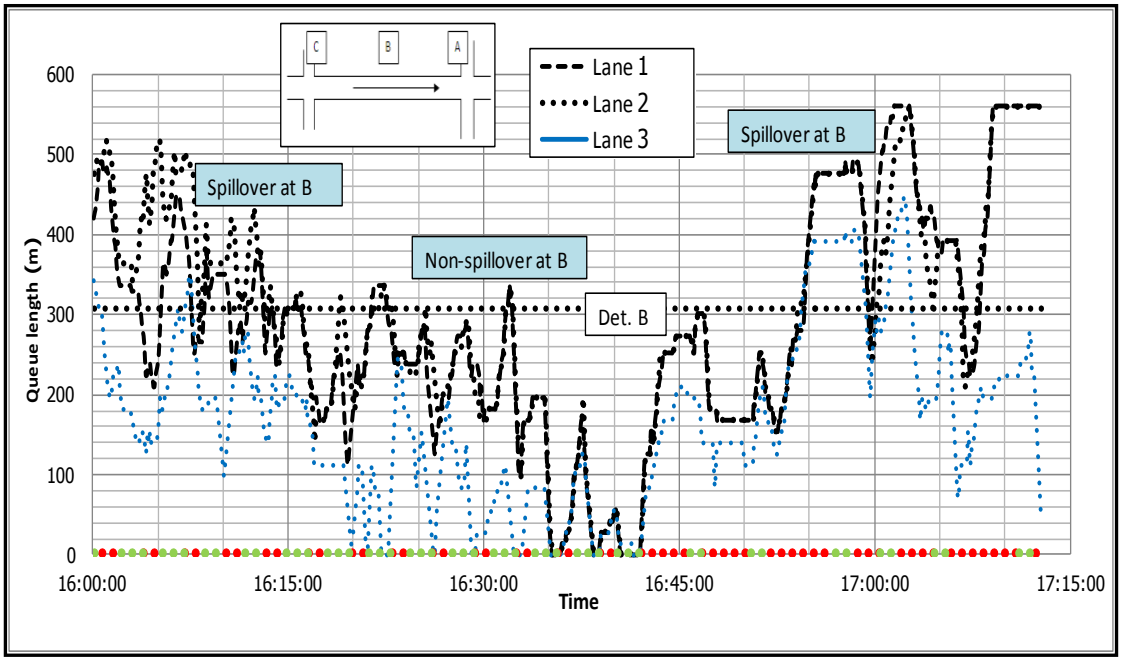


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างแถวคอยที่วัดได้จากการสังเกตในช่องจราจรที่ 1 ระหว่างเวลา 16:27-16:31น.

จากรูปที่ 4.6 เริ่มจากเวลา 16:27 น. ท้ายแถวคอย (Stopping queue) กำลังเพิ่มขึ้น ซึ่งตอนนั้นยังเป็นสัญญาณไฟแดง พอถึงช่วงสัญญาณไฟเขียว รถที่ติดแถวคอยเริ่มเคลื่อนที่ จนไปถึงรถคันสุดท้ายที่จอดอยู่ แล้วเกิดแถวคอยเคลื่อนตัว (Moving queue) ที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าสู่ทางแยก (การเคลื่อนที่ของรถคันสุดท้ายในแถวคอยหยุด) เมื่อถึงช่วงสัญญาณไฟแดง รถก็เริ่มจอดเรียงเป็นแถวคอย (Stopping queue) ขึ้นอีก จนรถคันสุดท้ายที่ติดแถวคอยในรอบก่อนหน้าเข้ามาจอดติดเป็นแถวคอย สรุปโดยง่าย คือ ช่วงที่ท้ายแถวคอยยาวขึ้นคือแถวคอยหยุด (Stopping queue) ส่วนช่วงที่แถวคอยลดลงคือการเคลื่อนที่ของรถคันสุดท้ายที่เป็นแถวคอยหยุด (Moving queue)

ในการหาแถวคอยจริงในภาคสนามนั้น ได้หาแถวคอยทั้ง 3 ช่องจราจร ในรูปที่ 4.7 โดยการวัดความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนามนั้น จะใช้วิธีพิจารณาท้ายแถวคอย

เทียบกับตำแหน่งของตอม่อทางพิเศษ สำหรับช่องจราจรที่ได้วัดนั้น มีด้วยกัน 3 ช่องจราจร ช่องจราจรที่ 1 คือ ช่องจราจรสำหรับให้รถไปตรง กับ เลี้ยวซ้าย (ติดกับบาทวิถี) ช่องจราจรที่ 2 คือ ช่องจราจรสำหรับให้รถไปตรงเท่านั้น และ ช่องจราจรที่ 3 คือ ช่องจราจรสำหรับให้รถเลี้ยวขวาเท่านั้น (ติดกับกึ่งกลางถนน)



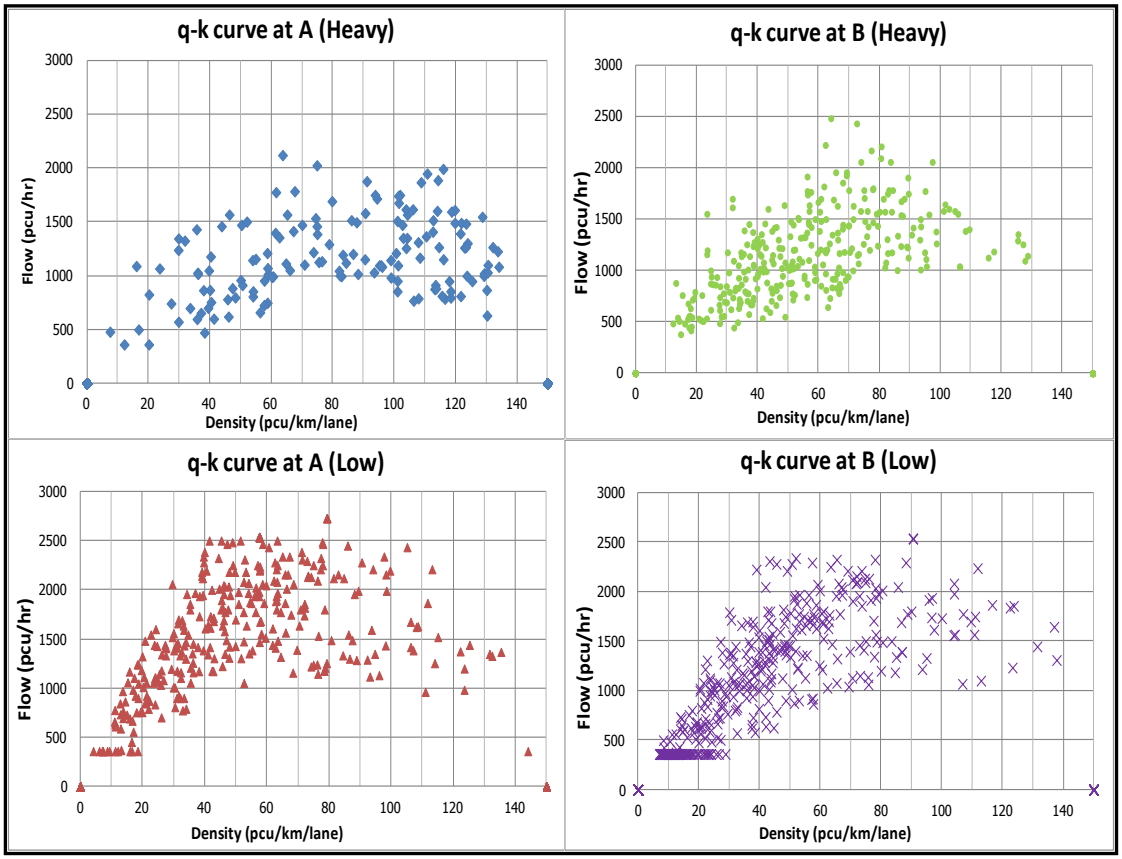
รูปที่ 4.7 แถวคอยที่วัดจริงในภาคสนามทั้ง 3 ช่องจราจร
(วันที่ 23 กันยายน 2554 เวลา 16:00-17:15 น.)

จากรูปที่ 4.7 พบว่า แถวคอยที่เกิดขึ้นในช่องจราจรที่ 1 และ 2 มีแนวโน้มที่เหมือนกัน แต่ช่องจราจรที่ 3 นั้น เกิดแถวคอยที่แตกต่างกัน โดยเกิดสั้นกว่าในช่องจราจร 2 ช่องจราจรแรก สำหรับกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นเกินตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง B นั้น พบว่า ท้ายแถวคอยในช่องจราจรที่ 1 และ 2 ยาวล้นตำแหน่ง B ตั้งแต่เริ่มเก็บข้อมูลจราจร คือ ตั้งแต่เวลา 16.00 น. แต่หลังจากเวลาประมาณ 16.12 น. ท้ายแถวคอยเริ่มหดสั้นลงจนไม่ถึงตำแหน่ง B จนถึงเวลาประมาณ 16.55 น. ก็กลับมายาวล้นตำแหน่ง B อีกครั้ง แถวคอยในช่องจราจรที่ 1 กับ 2 นั้น มีความแตกต่างกันในบางช่วงเวลา คือ เวลาประมาณ 16.05 น. แถวคอยในช่องจราจรที่ 1 จะหดสั้นลงจนไม่ถึงตำแหน่ง B แต่แถวคอยในช่องจราจรที่ 2 กลับยาวขึ้น สำหรับช่องจราจรที่ 3 นั้น ท้ายแถวคอยได้ยาวล้นเกินตำแหน่ง B ในช่วงเวลาประมาณ 16.55 – 17.03 น. เท่านั้น สาเหตุที่ช่องจราจรที่ 3 มีท้ายแถวคอยที่สั้นกว่า 2 ช่องแรก เป็นเพราะรถในช่วงถนนส่วน

ใหญ่มีแนวโน้มที่จะไปตรงมากกว่าเลี้ยวขวา จึงมีความต้องการที่จะใช้ช่องจราจรที่ 1 และ 2 มากกว่าช่องจราจรที่ 3 และ สัญญาณไฟเขียวที่ให้รถไปตรง กับ เลี้ยวขวา เปิดแยกกัน

4.4 การหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นบนช่วงถนน

จากข้อมูลปริมาณจราจร และความหนาแน่น จากตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ A และ B ทั้ง 3 ช่องจราจร สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นในแต่ละตำแหน่งได้ดังรูปที่ 4.8 โดยมีเงื่อนไขที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 (หัวข้อที่ 3.2.2) ว่า ค่าความหนาแน่นที่มากที่สุดในแต่ละช่องจราจรมีค่าเท่ากับ 150 คัน/กิโลเมตร/ช่องจราจร และ ในการหาปริมาณจราจรเพื่อนำมาวาดในกราฟนั้น จะหาระยะเวลาระหว่างรถคันแรกกับ รถคันหลังผ่านเข้าสู่ตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร (Time headway) เฉลี่ยทุก 10 วินาที จากนั้นจึงแปลงกลับมาเป็นปริมาณจราจร โดยปริมาณจราจรเป็นส่วนกลับของ Time headway

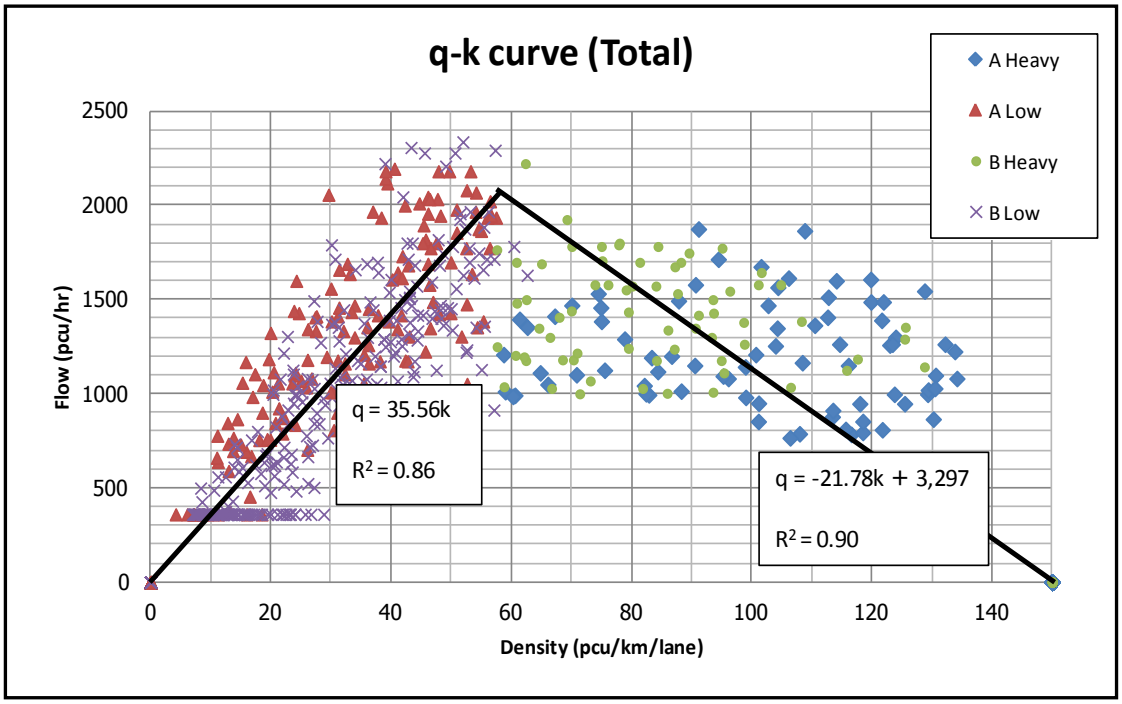


รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น ทั้งในสภาพการจราจรที่หนาแน่นและเบาบาง ที่ตำแหน่ง A และ B

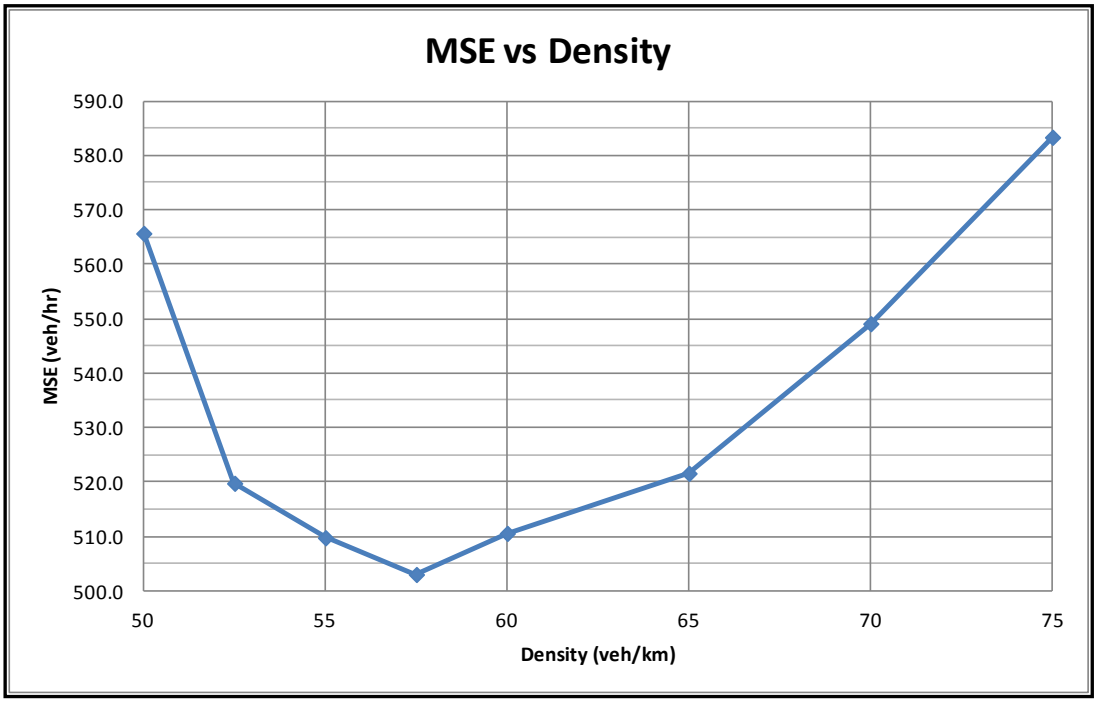
เมื่อได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นทั้งตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร A และ B ในสภาพการจราจรทั้งหนาแน่นและเบาบางเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะพิจารณาว่า กราฟความสัมพันธ์ที่จะเป็นตัวแทนของช่วงถนนที่ศึกษาจะใช้ตำแหน่งใด และเป็นสภาพการจราจรแบบใด

วิธีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น ทำได้โดยนำข้อมูลปริมาณจราจรและความหนาแน่นมาลงบนกราฟ มาสร้างแบบจำลองสมการเพื่อมาคำนวณแถวคอย โดยรูปแบบของแบบจำลองสมการที่เป็นไปได้คือ (1) สมการเส้นโค้งพาลาโบลาคว่ำตามทฤษฎีของกรีนชิลด์ (Greenshield) ในปี 1934 และ (2) สมการเส้นตรง 2 ช่วง เป็นรูปสามเหลี่ยมคว่ำ (Piecewise Linear หรือ Triangular Curve) โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีที่ (2) เพราะจะได้ค่าความเร็วของคลื่นกระแทกที่คงที่ แม้ว่าวิธีนี้จะมีความยากลำบากมากกว่าวิธีที่ (1)

จากการศึกษาทฤษฎีการไหลของการจราจรของ Immers and Logghe (2003) พบว่า กราฟของสามเหลี่ยมคว่ำ เส้นตรงที่อยู่ด้านซ้ายจะเป็นสภาพการจราจรที่เบาบางหรือไม่ติดขัด (Uncongested condition) ส่วนด้านขวาจะเป็นสภาพการจราจรที่หนาแน่นหรือติดขัด (Congested condition) ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงกำหนดให้เส้นตรงด้านซ้ายเป็นข้อมูลปริมาณจราจรกับความหนาแน่นที่ตำแหน่ง A และ B ในสภาพการจราจรเบาบาง ส่วนเส้นตรงด้านขวาเป็นข้อมูลปริมาณจราจรกับความหนาแน่นที่ตำแหน่ง A และ B ในสภาพการจราจรที่ติดขัดดังแสดงในรูปที่ 4.9 หลังจากนั้นได้หาแบบจำลองสมการเส้นตรงทั้ง 2 ส่วน พบว่า ในช่วงที่เส้นกราฟด้านซ้าย (สภาพการจราจรเบาบาง) ถึงจุดที่เป็นความจุของช่วงถนน จะได้สมการเส้นตรงคือ $q = 35.56k$ โดยที่ q คือปริมาณจราจร (คัน/ชั่วโมง) k คือความหนาแน่น (คัน/กิโลเมตร) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่หน้าค่า k คือ ความเร็วอิสระ (Free flow speed) ของช่วงถนนนี้ และ เส้นกราฟด้านขวา (สภาพการจราจรติดขัด) โดยได้สมการเส้นตรง คือ $q = -21.78k + 3,597$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่หน้าค่า k คือ คลื่นกระแทกที่ทำให้แถวคอยที่จอดอยู่ มีการเคลื่อนตัวอีกครั้งเนื่องจากได้รับสัญญาณไฟเขียว (Backward shockwave) ส่วนตำแหน่งที่เป็นความจุของถนน (จุดบรรจบระหว่างเส้นกราฟ 2 เส้น) พบว่า มีปริมาณจราจรที่ 2,045 คัน/ชั่วโมง ที่ความหนาแน่นเท่ากับ 58 คัน/กิโลเมตร ซึ่งสมการที่ได้มานี้ ตำแหน่งที่เป็นความจุของช่วงถนนมาจากการลองผิดลองถูกของค่าความหนาแน่น โดยพิจารณาหลักการทางสถิติจากหลักการสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) โดยให้ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดที่นำมาพิจารณา มีค่าเฉลี่ยยกกำลังสอง (Mean square error; MSE) ที่น้อยสุดดังที่สรุปในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น พร้อมทั้งสมการแบบจำลองของช่วงถนนในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.10 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองจากการแทนค่าความหนาแน่นต่างๆ

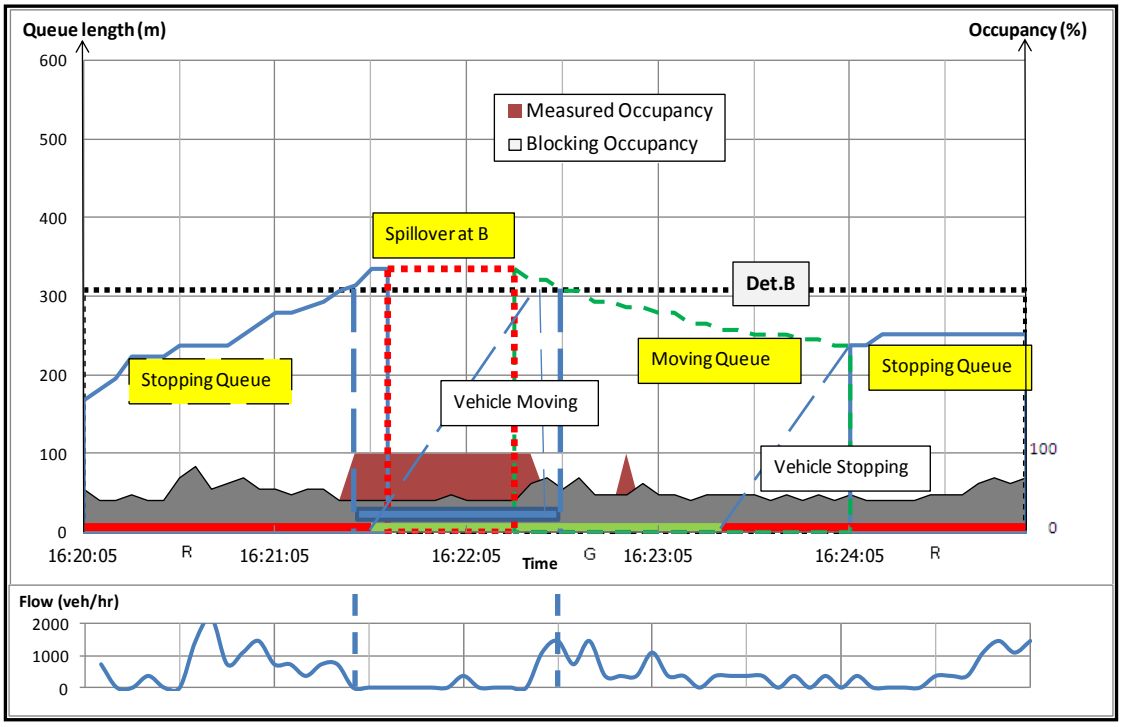
จากรูปที่ 4.10 สาเหตุที่ใช้หลักการของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองจากการลากเส้นผ่านกึ่งกลางกลุ่มข้อมูล เนื่องจากค่าเฉลี่ยเป็นค่ากลางที่นิยมใช้โดยทั่วไป และเหมาะสำหรับจำนวนข้อมูลที่ไม่มากนัก อย่างไรก็ดี ได้มีประเด็นที่ว่า หากเส้นกราฟไม่ได้พิจารณาจากค่าเฉลี่ยยกกำลังสองที่น้อยสุด ผลการประมาณที่ได้จะมีความแตกต่างจากเดิมหรือไม่ ผลก็คือ ไม่น่าจะแตกต่างจากเดิมมากนัก ยกตัวอย่างเช่น หากในเส้นกราฟฝั่งซ้ายได้เปลี่ยนการพิจารณาขอบบนของข้อมูล จะทำให้ได้สมการ $q = 60k$ ซึ่งจากการแทนค่าปริมาณจราจรเข้าไป พบว่า ได้ค่าความหนาแน่นที่ไม่ต่างจากเดิมมากนัก แล้วหลังจากที่ลากเส้นสมการต่อมายังกราฟฝั่งขวา พบว่าสมการที่ได้นั้น ได้ค่าคลื่นกระแทกที่ทำให้แถวคอยที่จอดอยู่ มีการเคลื่อนตัวอีกครั้ง ที่ไม่ต่างจากการพิจารณาเดิมมากนัก ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการประมาณแถวคอย

4.5 การระบุช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นหรือไม่ล้นตำแหน่ง B

จากงานวิจัยของ Geroliminis (2009) ที่ระบุไว้ว่า ช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร ทราบได้จากการที่ค่า Occupancy ที่ได้จากการวัดจริง (Measured Occupancy) มีค่ามากกว่าค่า Blocking Occupancy ตามสมการที่ (2.14) สมการนี้มีอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาไฟแดงกับรอบเวลาสัญญาณไฟซึ่งต้องทราบจากภาคสนาม จากการเก็บข้อมูลในภาคสนามพบว่าในแต่ละรอบสัญญาณไฟเฉพาะทิศทางที่ไปตรง มีรอบเวลาที่คงที่เป็นส่วนใหญ่ 180 วินาที โดยมีช่วงเวลาสัญญาณไฟแดง 75 วินาที สรุปแล้วได้อัตราส่วนเท่ากับ 0.42 สำหรับทิศทางที่เลี้ยวขวาซึ่งแยกจากทิศทางไปตรง มีช่วงเวลาสัญญาณไฟแดง 35 วินาที สรุปแล้วได้อัตราส่วนเท่ากับ 0.19

ตัวแปรในสมการที่ (2.14) คือ ปริมาณจราจรซึ่งหาได้จากการวัดทุก 5 วินาที สำหรับค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ที่ต้องทราบ คือ ความยาวประสิทธิผล (Effective length) ของรถมีค่าเท่ากับ *7* เมตร และ ความเร็วอิสระ (Free flow speed) หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นที่หามาในข้างต้น มีค่าเท่ากับ 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

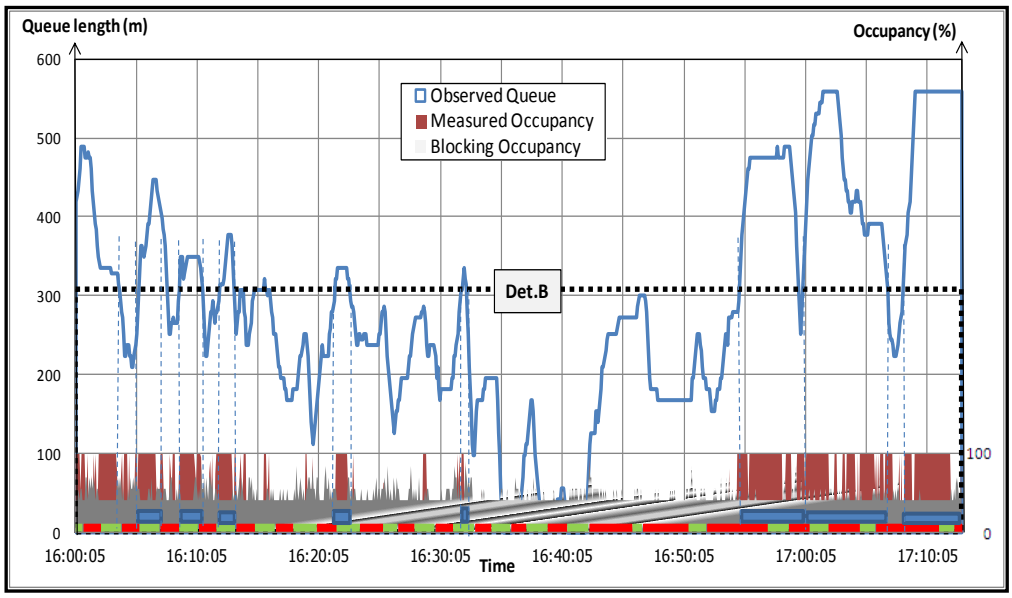
เมื่อได้ค่าต่างๆที่ต้องการหาในสมการที่ (2.14) เรียบร้อยแล้ว ก็สามารถระบุช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นตำแหน่ง B ได้ดังที่แสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งตัวอย่างการล้นของท้ายแถวในช่องจราจรที่ 1 ภายในช่วงเวลา 5 นาที ช่วงเวลาที่ท้ายแถวล้นตำแหน่ง B คือบริเวณที่มีแถบสีเข้มกระจายอย่างหนาแน่น



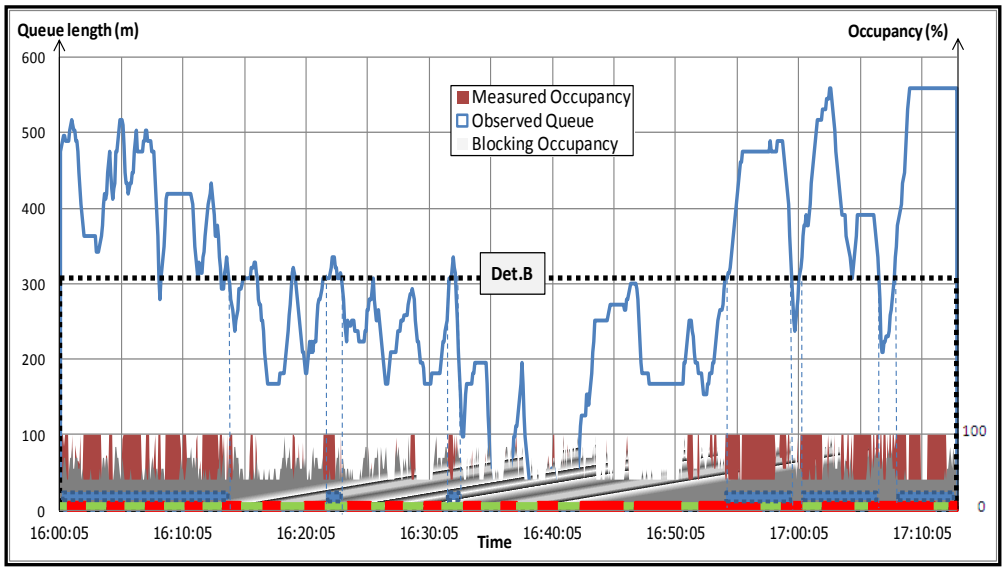
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการล้นของท้ายแถวในช่องจราจรที่ 1 ในช่วงเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.11 ในตอนเริ่มต้นท้ายแถวคอย (Stopping Queue) เริ่มยาวขึ้นเรื่อยๆ โดยค่า Occupancy ณ ตำแหน่ง B ยังไม่ถึง 100 มีรถผ่านเข้าต่อเนื่อง และเป็นสัญญาณไฟแดง จากนั้นเมื่อแถวคอยยาวมาถึงตำแหน่ง B ปรากฏว่า ค่า Occupancy มีค่าเท่ากับ 100 ทันที (เกิดแถบสีเข้ม) พร้อมทั้งค่าปริมาณจราจร (Flow) มีค่าเป็นศูนย์ เมื่อท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ไปเล็กน้อยแล้วก็ค่า Occupancy คงที่ ในขณะเดียวกันเป็นช่วงสัญญาณไฟเขียว รถที่ติดแถวคอย ณ ตำแหน่ง B เริ่มเคลื่อนตัว จะทำให้ค่า Occupancy ลดลง พร้อมทั้งมีรถเคลื่อนผ่านมากขึ้น อย่างไรก็ตามแถวคอยก็ยังติดอยู่เพราะการเคลื่อนที่ของรถยังไปไม่ถึงท้ายแถวคอย รถคันสุดท้ายกว่าที่จะเคลื่อนที่เป็นได้ ต้องใช้เวลาระยะหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับระยะท้ายแถวคอยที่ไปถึง จากนั้นรถคันสุดท้ายในแถวคอยเคลื่อนตัวกลับมาถึงตำแหน่ง B แล้วแถวคอยก็ถอยกลับไปเรื่อยๆ ขณะเมื่อเวลาประมาณ 16:22:50 สังเกตได้ว่ามีค่า Occupancy เท่ากับ 100 ทำให้เกิดแถบสีเข้มอยู่เล็กน้อย เนื่องจากในขณะนั้น มีรถประจำทางจอดรับส่งผู้โดยสาร โดยสังเกตได้จากค่าปริมาณจราจร (Flow) มีค่าเป็นศูนย์ จึงมีผลให้รถที่วิ่งต่อกันมา เกิดการชะลอตัวเล็กน้อย

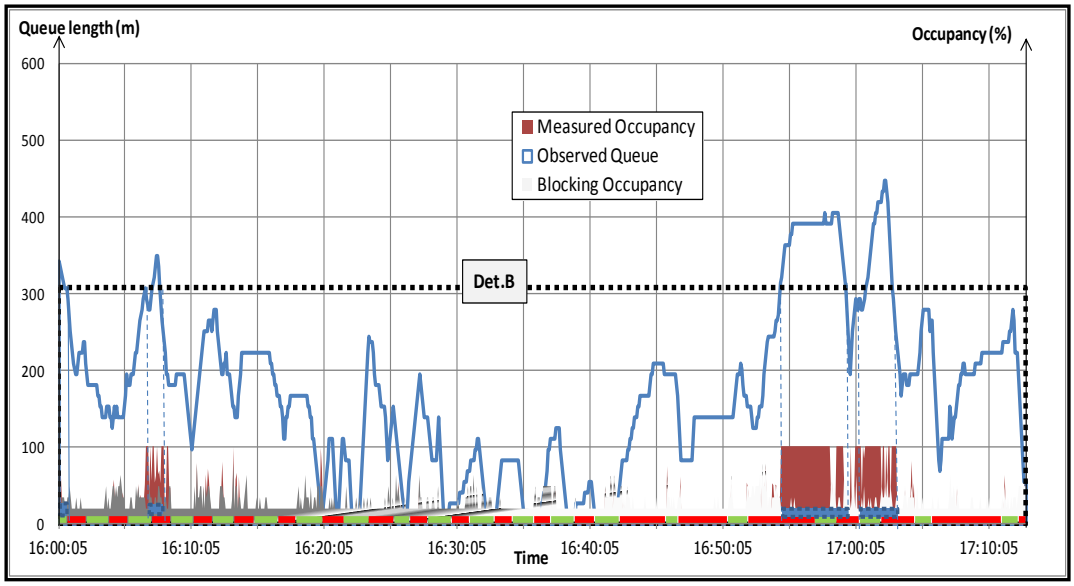
รูปที่ 4.12 ถึง 4.15 แสดงผลการตรวจสอบการล้นของท้ายแถว ณ ตำแหน่ง B ทั้ง 3 ช่องจราจร และรวม 2 จราจรไปตรง เมื่อเทียบกับความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้น โดยแถบสีเข้มแสดงถึงช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ที่ค่า Occupancy ที่วัดได้ มีค่าถึง 100%



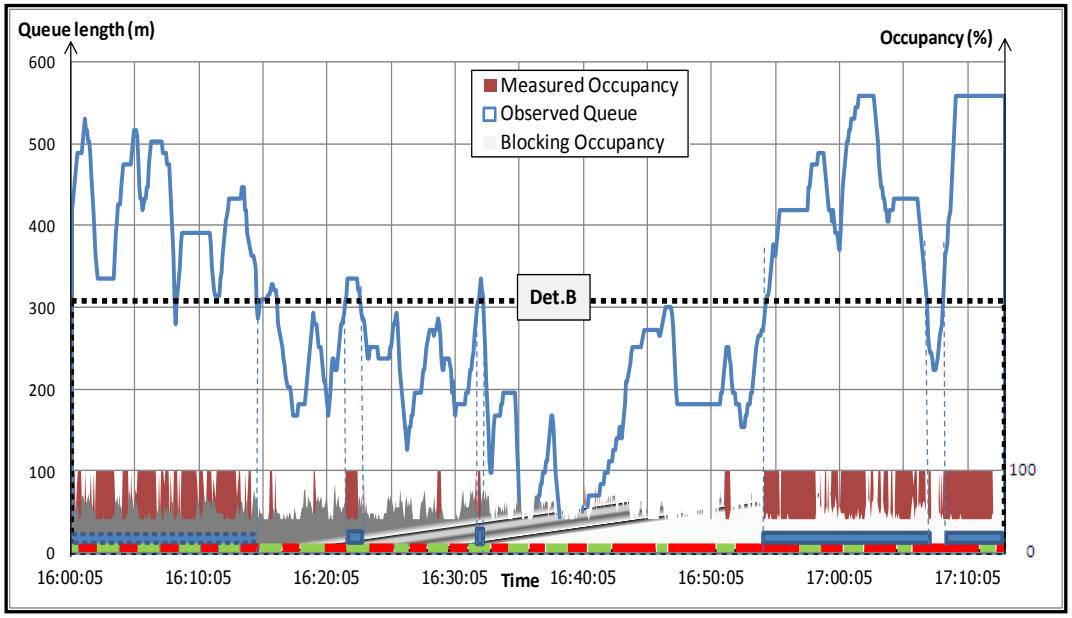
รูปที่ 4.12 ช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ได้ในช่องจราจรที่ 1



รูปที่ 4.13 ช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ได้ในในช่องจราจรที่ 2



รูปที่ 4.14 ช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ได้ในในช่องจราจรที่ 3



รูปที่ 4.15 ช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B รวม 2 ช่องจราจรไปตรง

บทที่ 5
การประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม

การประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณการจราจรสะสม เริ่มจากการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาออก โดยพิจารณาเวลาในการเดินทางในแต่ละรอบสัญญาณไฟ จากนั้นปรับแก้โดยพิจารณาสัดส่วนของปริมาณรถเข้าให้เท่ากับรถออกในแต่ละช่องจราจร จากนั้นแยกกรณีที่ท้ายแถวล้นหรือไม่ล้นตำแหน่ง B แล้วประมาณแถวคอยแยกตามกรณีไป ในแต่ละกรณีได้วิเคราะห์ความแตกต่างของแถวคอยที่ได้จากการประมาณกับแถวคอยวัดจริงจากภาคสนาม อภิปรายผล และสรุปผลการประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม

5.1 การเลื่อนของกราฟปริมาณจราจรสะสม

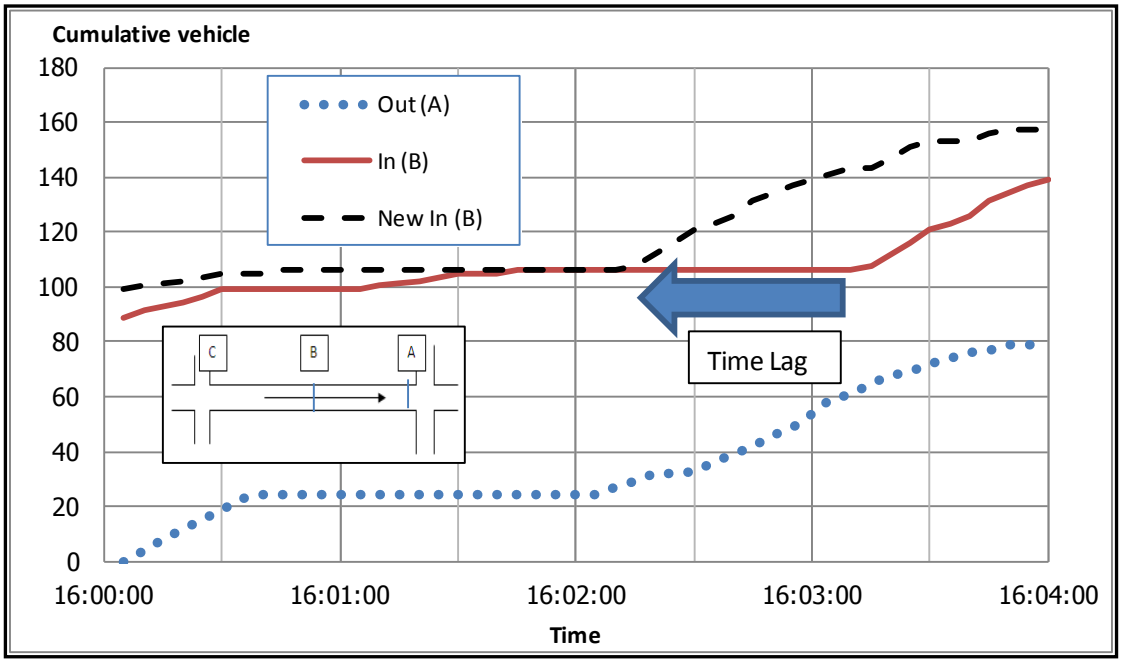
การเลื่อนของเวลา (Time Lag) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณา เพราะในแต่ละตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรทั้ง A B และ C อยู่คนละตำแหน่งบนถนนและมีระยะห่างอยู่พอสมควร หากนำข้อมูลจราจรทั้ง 3 ตำแหน่งมาวิเคราะห์ภายใต้เวลาเดียวกัน อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ สำหรับการเลื่อนของเวลาสำหรับวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมในงานวิจัยนี้จะเลื่อนเวลาโดยดูจากเวลาเดินทาง (Travel Time) ของรถแต่ละคันระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ แล้วมาเฉลี่ยกันให้เป็นค่าเวลาที่ต้องใช้เลื่อนกราฟของช่วงถนน ส่วนการเลื่อนกราฟก็จะเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้าถอยกลับไป

ในการหาค่าเวลาที่ใช้สำหรับเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้านั้น ได้สุ่มรถออกมาในแต่ละรอบสัญญาณไฟ จับเวลารถจากตำแหน่งท้ายแถวในกรณีที่ยังไม่ล้นตำแหน่ง B หรือ ณ ตำแหน่ง B ในกรณีที่ล้นตำแหน่ง B ไปจนถึงเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่ง A ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเวลาเดินทางของรถที่สุ่มมาในแต่ละรอบสัญญาณไฟ

ตารางที่ 5.1 ค่าเวลาเดินทางของรถที่สุ่มมาในแต่ละรอบสัญญาณไฟ

Cycle	Travel Time	Cycle	Travel Time
1	0:01:30	11	0:00:55
2	0:01:10	12	0:01:05
3	0:01:25	13	0:00:55
4	0:01:20	14	0:00:50
5	0:01:15	15	0:01:15
6	0:01:20	16	0:01:15
7	0:01:10	17	0:01:25
8	0:00:55	18	0:01:25
9	0:01:00	19	0:01:20
10	0:01:00	Average	0:01:11

ผลที่ได้ คือ หากต้องพิจารณากราฟปริมาณจราจรสะสม แถคอยที่เกิดขึ้นระหว่าง A กับ B จะต้องปรับเลื่อนเวลาของกราฟที่ตำแหน่ง B ถอยกลับไป 1 นาที 11 วินาที



รูปที่ 5.1 ผลจากการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้า

สำหรับการพิจารณาการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ช่วงเวลาในการเลื่อนกราฟ คือ เวลาในการเดินทางระหว่างทั้ง 2 ตำแหน่ง ที่ความเร็วอิสระ (Free flow speed) เนื่องจากในช่วงดังกล่าวไม่มีรถจำนวนมากจอดอยู่ติดอยู่เป็นแถวคอยเหมือนช่วง A กับ B ส่วนวิธีการหาค่าเวลาเดินทางนั้น ได้หาความเร็วอิสระจากการเก็บข้อมูลจราจรเบื้องต้นในช่วงถนนนี้ พบว่า มีความเร็วอยู่ที่ 35 กิโลเมตร

ต่อชั่วโมง ระยะห่างระหว่างตำแหน่ง B กับ C เท่ากับ 242 เมตร ดังนั้นได้เวลาเดินทางสำหรับการเลื่อนกราฟในช่วงนี้เท่ากับ 25 วินาที

5.2 การปรับแก้ปริมาณจราจรโดยพิจารณาสัดส่วนของปริมาณรถเข้าให้เท่ากับรถออกในแต่ละช่องจราจร

ในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลมีรอบสัญญาณไฟ 19 รอบ แต่ละรอบมีปริมาณการเข้าออกของรถในแต่ละช่องจราจรที่แตกต่างกันไป ตารางที่ 5.2 ถึง ตารางที่ 5.5 เป็นผลของค่าตัวคูณถ่วงน้ำหนัก เพื่อใช้ในการปรับแก้กราฟปริมาณสะสมขาเข้าในแต่ละช่องจราจร และรวม 2 ช่องจราจรไปตรง การหาตัวคูณถ่วงน้ำหนักในแต่ละช่องจราจร พบว่า ค่าเฉลี่ยทั้ง 19 รอบสัญญาณสามารถบอกถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจรได้ เช่น ช่องจราจรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.45 แสดงว่ามีรถเปลี่ยนช่องเข้ามาอยู่ในช่องจราจรนี้มาก ช่องจราจรที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 แสดงว่ามีรถออกจากช่องจราจรนี้ไม่ต่างกับเข้ามากนัก ส่วนช่องจราจรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 แสดงว่ามีรถเปลี่ยนออกไปอยู่ในช่องจราจรอื่นมาก สำหรับวิธีการคำนวณ ยกตัวอย่างเช่นช่องจราจรที่ 1 ในรอบสัญญาณที่ 1 มีปริมาณรถเข้า (IN) 19 คัน คิดเป็นสัดส่วน (% IN) 33.93% มีปริมาณรถออก (OUT) 23 คัน คิดเป็นสัดส่วน (% OUT) 31.94% ดังนั้นจะต้องทำให้สัดส่วนปริมาณรถเข้ามีค่าเท่ากับปริมาณรถออกโดยเริ่มจาก

ปริมาณรถเข้าปรับแก้ $\left(\mathrm{IN}_{\mathrm{adjust}}\right)$

$$= \frac{\text{สัดส่วนของรถเข้า } (\%\ \mathrm{IN})}{100} \times \text{ปริมาณรถเข้าทั้งหมด } \left(\sum \mathrm{IN}\right) = \frac{33.93}{100} \times 56 = 18 \text{ คัน}$$

ดังนั้นสัดส่วนที่ใช้ปรับแก้สำหรับใช้เป็นตัวคูณถ่วงน้ำหนัก (Factor)

$$= \frac{\text{ปริมาณรถเข้าปรับแก้ } \left(\mathrm{IN}_{\mathrm{adjust}}\right)}{\text{ปริมาณรถเข้าเดิม } (\mathrm{IN})} = \frac{18}{19} = 0.94$$

จากนั้นก็นำตัวคูณถ่วงน้ำหนักนี้ไปปรับแก้กับปริมาณจราจรทุก 5 วินาที ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ก็จะได้กราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้าที่ปรับแก้ใหม่

ตารางที่ 5.2 ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการปรับแก้ในแต่ละรอบสัญญาณในช่องจราจรที่ 1

Cycle	Lane 1						Total IN (veh)	Total OUT (veh)
	IN (veh)	% In	OUT (veh)	% Out	IN (Adjust)	Factor		
1	19	33.9	23	31.9	17.9	0.94	56	72
2	24	30.8	24	34.8	27.1	1.13	78	69
3	20	30.3	31	36.5	24.1	1.20	66	85
4	26	33.3	26	34.2	26.7	1.03	78	76
5	18	24.0	27	33.8	25.3	1.41	75	80
6	12	30.8	39	42.4	16.5	1.38	39	92
7	36	33.0	18	32.7	35.7	0.99	109	55
8	11	29.7	30	38.5	14.2	1.29	37	78
9	30	29.4	21	33.3	34.0	1.13	102	63
10	12	22.6	42	38.5	20.4	1.70	53	109
11	29	29.3	36	37.5	37.1	1.28	99	96
12	11	12.8	28	35.4	30.5	2.77	86	79
13	8	20.5	20	32.8	12.8	1.60	39	61
14	31	20.8	22	28.9	43.1	1.39	149	76
15	11	28.2	23	29.9	11.6	1.06	39	77
16	27	18.4	26	22.8	33.5	1.24	147	114
17	14	15.6	35	35.6	31.8	2.27	90	99
18	14	14.7	29	32.2	30.6	2.19	95	90
19	15	16.5	23	25.6	23.3	1.55	91	90
					Average	1.45		

ตารางที่ 5.3 ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการปรับแก้ในแต่ละรอบสัญญาณในช่องจราจรที่ 2

Cycle	Lane 2						Total IN (veh)	Total OUT (veh)
	IN (veh)	% In	OUT (veh)	% Out	IN (Adjust)	Factor		
1	27	48.2	32	44.4	24.9	0.92	56	72
2	29	37.2	25	36.2	28.3	0.97	78	69
3	16	24.2	36	42.4	28.0	1.75	66	85
4	30	38.5	34	44.7	34.9	1.16	78	76
5	32	42.7	42	52.5	39.4	1.23	75	80
6	20	51.3	43	46.7	18.2	0.91	39	92
7	50	45.9	25	45.5	49.5	0.99	109	55
8	19	51.4	37	47.4	17.6	0.92	37	78
9	53	52.0	25	39.9	40.5	0.76	102	63
10	30	56.6	52	47.7	25.3	0.84	53	109
11	52	52.5	45	46.9	46.4	0.89	99	96
12	51	59.3	41	51.9	44.6	0.88	86	79
13	26	66.7	32	52.5	20.5	0.79	39	61
14	85	57.1	30	39.5	58.8	0.69	149	76
15	15	38.5	36	46.6	18.2	1.22	39	77
16	63	42.9	51	44.7	65.8	1.04	147	114
17	46	51.1	44	44.4	40.0	0.87	90	99
18	48	50.5	35	38.9	36.9	0.77	95	90
19	50	54.6	40	44.4	40.4	0.81	91	90
					Average	0.97		

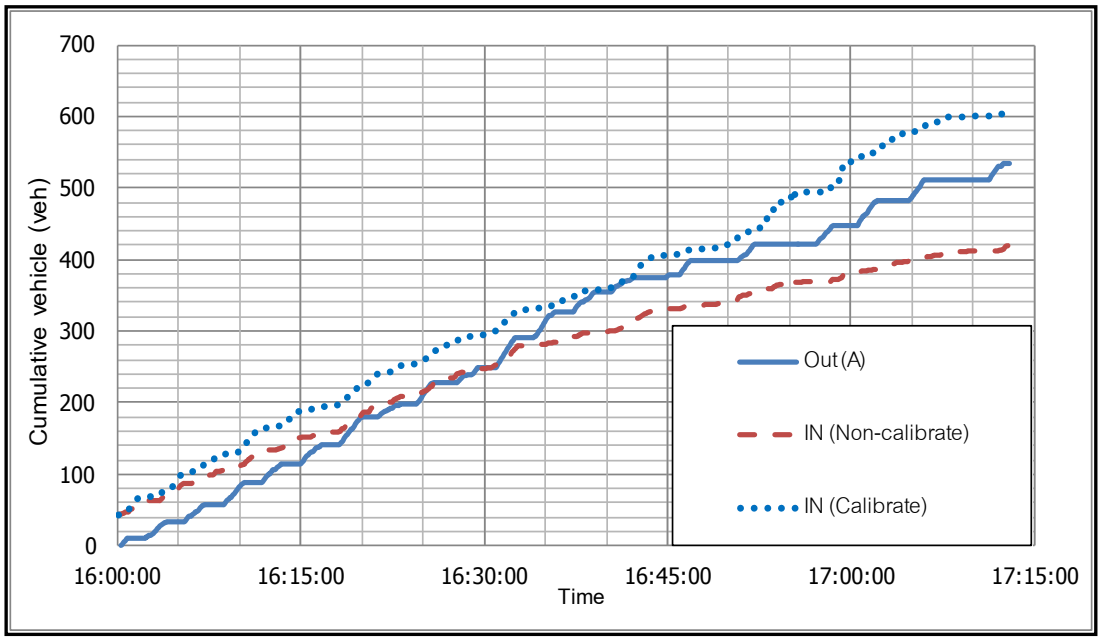
ตารางที่ 5.4 ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการปรับแก้ในแต่ละรอบสัญญาณในช่องจราจรที่ 3

Cycle	Lane 3						Total IN (veh)	Total OUT (veh)
	IN (veh)	% In	OUT (veh)	% Out	IN (Adjust)	Factor		
1	10	17.8	17	23.6	13.2	1.32	56	72
2	25	32.0	20	28.9	22.6	0.90	78	69
3	30	45.4	18	21.1	14.0	0.47	66	85
4	22	28.2	16	21.0	16.4	0.75	78	76
5	25	33.3	11	13.7	10.3	0.41	75	80
6	7	17.9	10	10.8	4.2	0.61	39	92
7	23	21.1	12	21.8	23.8	1.03	109	55
8	7	18.9	11	14.1	5.2	0.75	37	78
9	19	18.6	17	26.9	27.5	1.45	102	63
10	11	20.7	15	13.7	7.3	0.66	53	109
11	18	18.1	15	15.6	15.5	0.86	99	96
12	24	27.9	10	12.6	10.9	0.45	86	79
13	5	12.8	9	14.7	5.8	1.15	39	61
14	33	22.1	24	31.5	47.1	1.43	149	76
15	13	33.3	18	23.3	9.1	0.70	39	77
16	57	38.7	37	32.4	47.7	0.84	147	114
17	30	33.3	20	20.2	18.2	0.61	90	99
18	33	34.7	26	28.8	27.4	0.83	95	90
19	26	28.5	27	30.0	27.3	1.05	91	90
					Average	0.86		

ตารางที่ 5.5 ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้ในการปรับแก้ในแต่ละรอบสัญญาณรวม 2 ช่องไปตรง

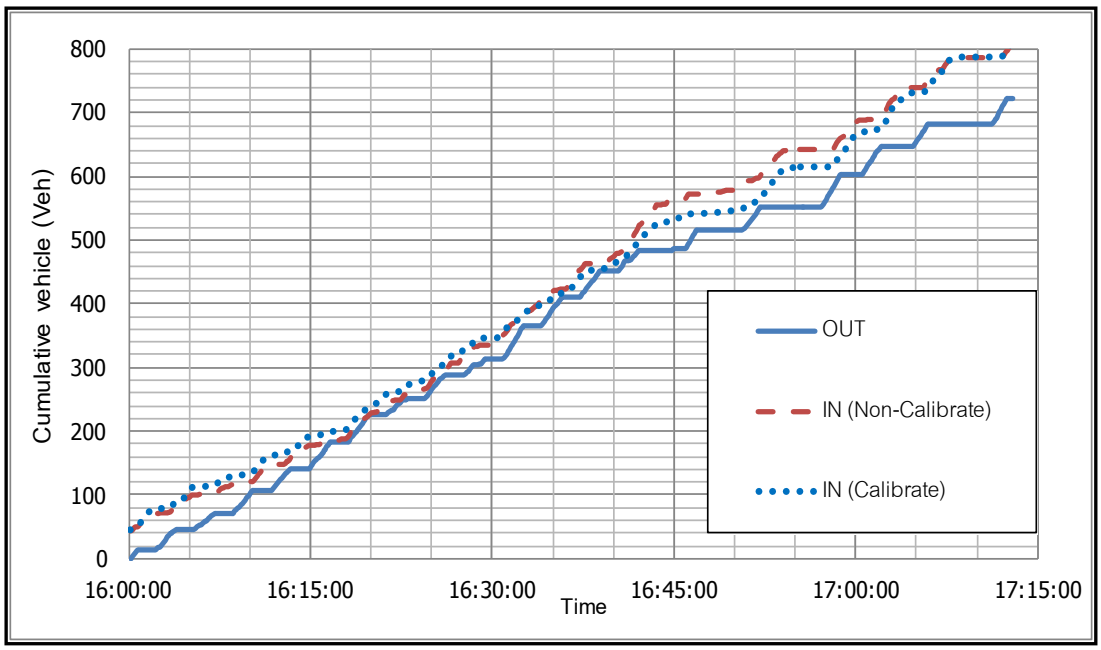
Cycle	Lane 1+2						Total IN (veh)	Total OUT (veh)
	IN (veh)	% In	OUT (veh)	% Out	IN (Adjust)	Factor		
1	46	82.1	55	76.3	42.8	0.93	56	72
2	53	67.9	49	71.0	55.4	1.05	78	69
3	36	54.5	67	78.8	52.0	1.45	66	85
4	56	71.7	60	78.9	61.6	1.10	78	76
5	50	66.7	69	86.2	64.7	1.29	75	80
6	32	82.0	82	89.1	34.8	1.09	39	92
7	86	78.9	43	78.1	85.2	0.99	109	55
8	30	81.0	67	85.9	31.8	1.06	37	78
9	83	81.3	46	73.0	74.5	0.90	102	63
10	42	79.2	94	86.2	45.7	1.09	53	109
11	81	81.8	81	84.3	83.5	1.03	99	96
12	62	72.0	69	87.3	75.1	1.21	86	79
13	34	87.1	52	85.2	33.2	0.98	39	61
14	116	77.8	52	68.4	101.9	0.88	149	76
15	26	66.7	59	76.6	29.9	1.15	39	77
16	90	61.2	77	67.5	99.3	1.10	147	114
17	60	66.7	79	79.8	71.8	1.20	90	99
18	62	65.2	64	71.1	67.6	1.09	95	90
19	65	71.4	63	70.0	63.7	0.98	91	90
					Average	1.08		

ในการเริ่มต้นขณะที่ยังไม่ได้ปรับแก้ กราฟปริมาณรถเข้าสะสมจากตำแหน่ง B (IN) ที่ได้มานั้น มีความผิดพลาดจากสภาพความเป็นจริงค่อนข้างมาก แต่เมื่อได้ปรับแก้โดยพิจารณาสัดส่วนของปริมาณรถเข้าให้เท่ากับปริมาณรถออกในแต่ละช่องจราจร พร้อมทั้งการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมเรียบร้อยแล้ว พบว่า ผลที่ได้จะเริ่มใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 5.2 ถึง 5.4



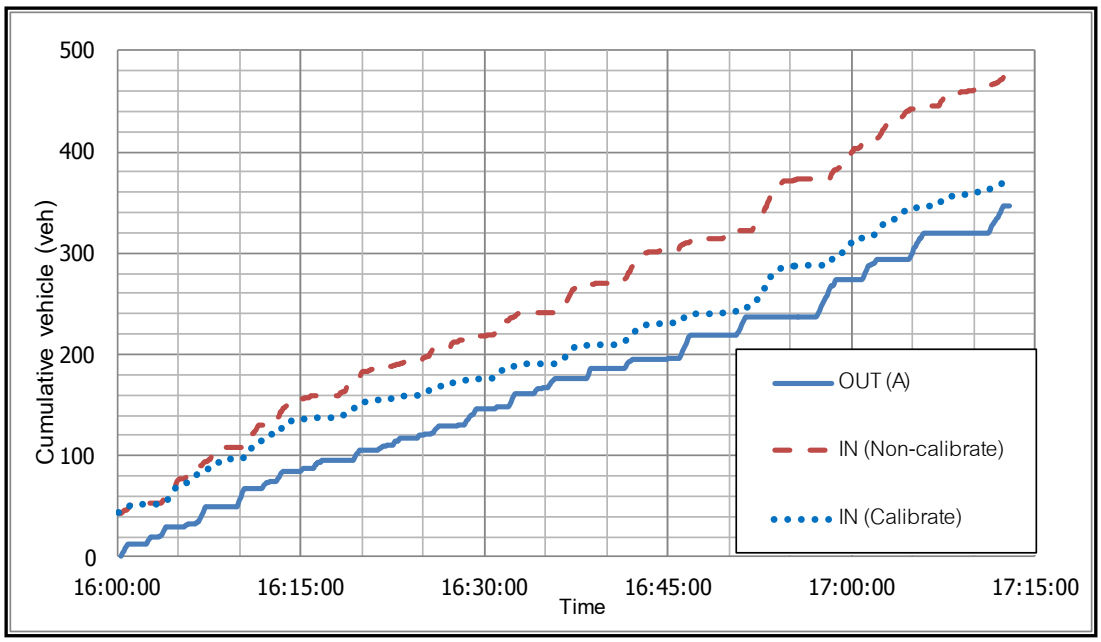
รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรสะสมกับเวลา ในช่องจราจรที่ 1 (ไปตรง)

จากรูปที่ 5.2 พบว่า ในกรณีที่ไม่ได้ปรับแก้อะไรใดๆ (Non-Calibrate) กราฟปริมาณรถเข้าสะสมจากตำแหน่ง B (IN) ที่ได้ จะต่ำกว่ากราฟปริมาณรถออกสะสมเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ซึ่งเป็นไปไม่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพความเป็นจริง แต่หลังจากที่ได้ปรับแก้ (Calibrate) สัดส่วนปริมาณรถเข้าให้เท่ากับปริมาณรถออกในแต่ละช่องจราจรแล้ว พบว่า กราฟปริมาณรถเข้าสะสมสูงกว่ากราฟปริมาณรถออกสะสม ณ ตำแหน่ง A (OUT) อยู่ตลอดเวลา ซึ่งใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้น



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรสะสมกับเวลา ในช่องจราจรที่ 2 (ไปตรง)

จากรูปที่ 5.3 แม้ว่าในกรณีที่ไม่ได้ปรับแก้อะไรใดๆ กราฟปริมาณรถเข้าสะสมที่ได้จะสูงกว่ากราฟปริมาณรถออกสะสม แต่ในช่วงท้ายของเวลาที่เก็บข้อมูล พบความแตกต่างระหว่างปริมาณรถเข้ากับรถออก จะแตกต่างกันเกือบถึง 100 คัน ซึ่งในสภาพความเป็นจริงนั้นเป็นไปไม่ได้ เพราะระยะห่างระหว่างตำแหน่ง A กับ B มีระยะเพียง 280 เมตร ซึ่งรถสามารถจอดเรียงติดกันได้ไม่เกิน 45 คันใน 1 ช่องจราจร แต่หลังจากที่ได้ปรับแก้โดยพิจารณาสัดส่วนของปริมาณรถเข้าให้เท่ากับรถออกในแต่ละช่องจราจร พบว่า กราฟปริมาณรถเข้าสะสมเริ่มชิดกับกราฟปริมาณรถออกสะสมมากขึ้น



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรสะสม กับ เวลา ในช่องจราจรที่ 3 (เลี้ยวขวา)

จากรูปที่ 5.4 แม้ว่าในกรณีที่ไม่ได้ปรับแก้อะไรใดๆ กราฟปริมาณรถเข้าสะสมที่ได้จะสูงกว่ากราฟปริมาณรถออกสะสม และในช่วงท้ายของเวลาที่เก็บข้อมูลนั้น พบว่า ความแตกต่างระหว่างปริมาณรถเข้า กับ รถออกเช่นเดียวกันกับในช่องจราจรที่ 2 แต่หลังจากที่ได้ปรับแก้โดยพิจารณาสัดส่วนของปริมาณรถเข้าให้เท่ากับรถออกในแต่ละช่องจราจรพบว่า กราฟปริมาณรถเข้าสะสมสูงกว่ากราฟปริมาณรถออกสะสมอยู่ตลอดเวลา ซึ่งใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้น

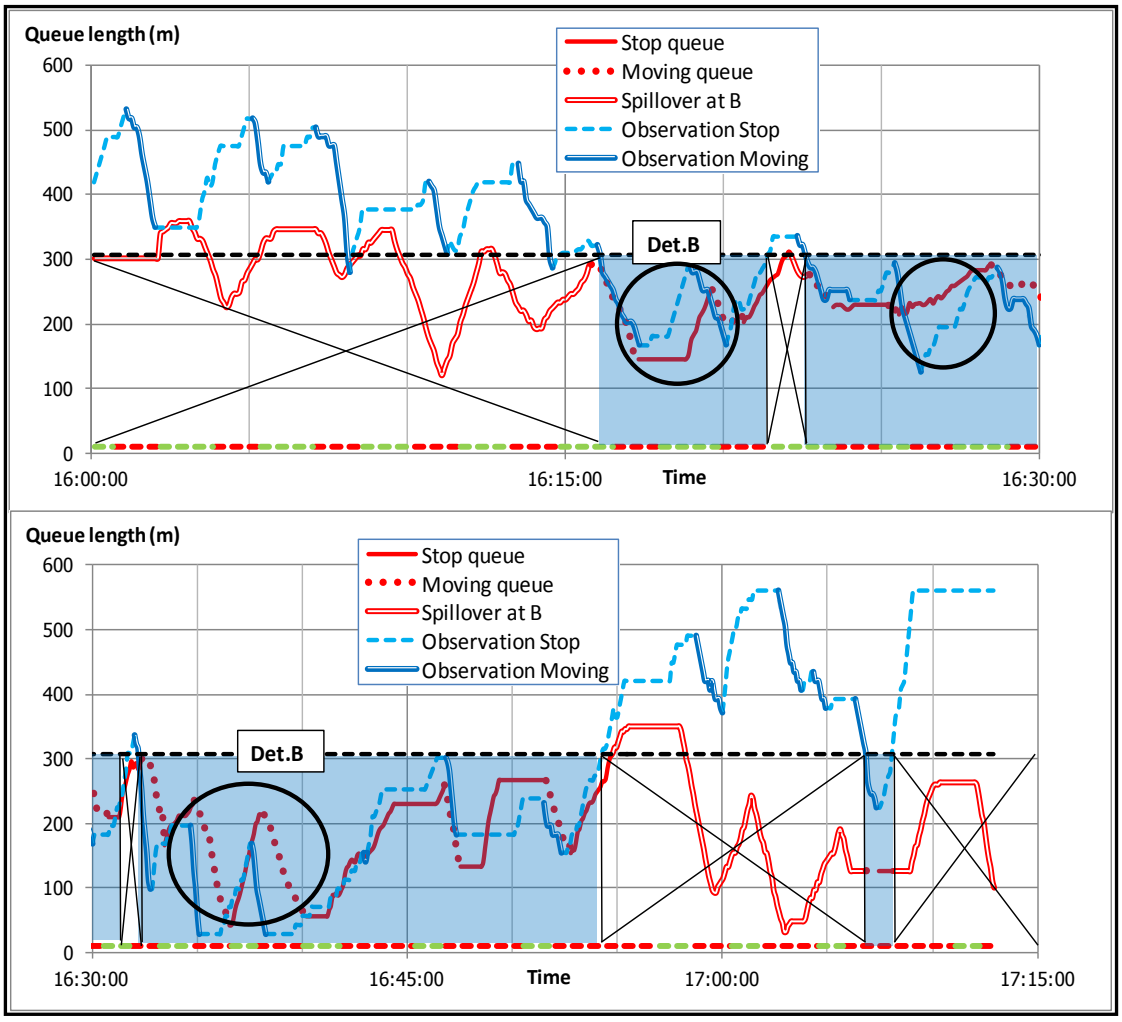
จากหัวข้อที่ 5.1 และ 5.2 จะเห็นได้ว่า เมื่อได้ปรับทั้งในเรื่องของการเลื่อนเวลากราฟปริมาณจรจรสะสม เพื่อพิจารณาเวลาเดินทางระหว่าง 2 ตำแหน่ง และ การปรับแก้สัดส่วนรถเข้าให้เท่ากับสัดส่วนรถออกในแต่ละช่องจราจร เพื่อขจัดในเรื่องของพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจรแล้ว ก็สามารถประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรต่อไปได้อย่างมั่นใจและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.3 การวิเคราะห์ผลการประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม

การวิเคราะห์ผลการประมาณแถวคอยในวิธีนี้ จะแบ่งการวิเคราะห์เป็นกรณีที่ท้ายแถวไม่ล้น และ ล้นตำแหน่ง B ตามลำดับ

5.3.1 กรณีที่ท้ายแถวคอยไม่ล้นตำแหน่ง B

จากการประมาณแถวคอยในช่วงที่ท้ายแถวยังไม่ล้นตำแหน่ง B (ระหว่างตำแหน่ง A กับ B) สามารถได้ผลการประมาณโดยเปรียบเทียบกับแถวคอยที่วัดจริงในภาคสนาม (2 ช่องจราจรไปตรง) ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยพิจารณาเฉพาะช่วงเวลาที่แสดงในพื้นที่สีเข้ม



รูปที่ 5.5 แถวคอยที่ประมาณโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมระหว่างตำแหน่ง A กับ B กรณีคิดรวม 2 ช่องจราจรไปตรง

จากรูปที่ 5.5 พบว่า ความยาวแถวคอยที่ประมาณได้ โดยเฉพาะแถวคอยหยุด (Stopping queue) ที่เกิดขึ้น มีค่าที่ไม่เกินระยะของตำแหน่ง B แต่อย่างไรก็ดี แถวคอยที่ประมาณได้มานั้นยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ ที่สังเกตได้ชัดคือ (1) ช่วงเวลาประมาณ 16:17-16:20 น. พบแถวคอยจากการประมาณมีค่าต่ำกว่าแถวคอยวัดจริง แม้ว่าความยาวแถวคอยทั้ง 2 อย่าง จะคล้ายกันก็ตาม ซึ่งความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากการเลื่อนของเวลา (2) ช่วงเวลาประมาณ 16:25-16:30 น. แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ในช่วงนี้ แถวคอยที่วัดจริงลดลงและเพิ่มขึ้นตามปกติ แต่ความยาวแถวคอยที่ได้จากการประมาณกลับยาวขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวอาจจะมีปริมาณรถเข้ามากกว่ารถออก หรือ มีรถเข้ามาจอดขวางบริเวณทางแยก และ (3) ช่วงเวลาประมาณ 16:33-16:40 น. ได้การประมาณแถวคอยที่เกินกว่าแถวคอยวัดจริง สิ่งที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากมีรถจำนวนหนึ่งติดค้างอยู่บนช่วงถนน แต่ยังไม่ได้หยุดเป็นแถวคอย ส่วนช่วงเวลาที่เหลือนั้นก็เป็นไปตามแนวโน้มของแถวคอยที่วัดจริง ส่วนนอกเหนือพื้นที่สีเข้มเป็นช่วงที่แถวคอยล้นตำแหน่ง B พบว่าการประมาณส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงไม่เกินระยะตำแหน่ง B (Spillover at B) แต่ก็มีบางส่วน ที่เกินตำแหน่ง B มาเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ อย่างไรก็ดีการประมาณก็ไม่สามารถไปใกล้เคียงแถวคอยที่วัดจริงได้ ดังนั้นก็จะต้องประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง B กับ C ต่อไป

ต่อไปเป็นการอธิบายถึงแถวคอยที่ได้จากการประมาณเมื่อเปรียบเทียบกับแถวคอยที่วัดจริงในภาคสนามและกราฟปริมาณสะสมทั้งเข้าและออก โดยตัดช่วงเวลาที่ท้ายไม่ล้นตำแหน่ง B ตั้งแต่เวลา 16:35-16:50 น. เพื่อให้เห็นถึงพฤติกรรมการเกิดแถวคอยมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นการยกตัวอย่างการคำนวณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมในช่วงที่ท้ายแถวไม่ล้นตำแหน่ง B ข้อมูลในรูปแสดงเส้นกราฟความยาวแถวคอยที่ได้จากการประมาณเทียบกับแถวคอยที่ได้จากการสังเกต และเส้นกราฟปริมาณจราจรสะสมทั้งตำแหน่งรถเข้า (IN) และออก (OUT) พร้อมกับช่วงจังหวะสัญญาณไฟแดง (R) และเขียว (G)

จากรูปที่ 5.6 แถวคอยที่ได้จากการประมาณ จะยึดข้อมูลจำนวนรถที่ติดค้างสะสมอยู่ในช่วงตำแหน่ง A-B เป็นหลัก

(1) ช่วงเวลาเริ่มต้นเป็นช่วงไฟเขียว เส้นกราฟซึ่งแสดงถึงจำนวนรถสะสมนั้นลดลงตามปริมาณรถที่ออกจากทางแยก

(2) จากนั้นเมื่อเริ่มสัญญาณไฟแดงพบว่า จำนวนรถสะสมเพิ่มขึ้นอีกครั้งตามรถที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่ง B

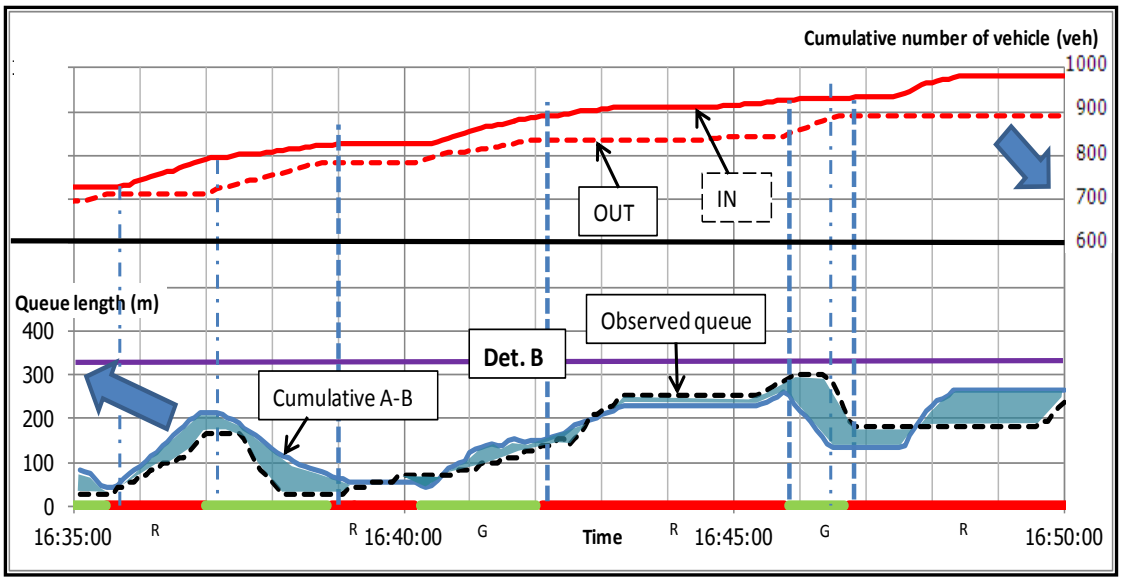
(3) เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวอีกครั้งพบว่า จำนวนรถสะสมจะลดลงอีกครั้ง โดยจะลดลงไปเรื่อยๆขณะได้รับสัญญาณไฟแดง

(4) ขณะได้รับสัญญาณไฟแดงพบว่าจำนวนรถสะสมมีค่าคงที่เพราะในช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีรถเข้ามายังตำแหน่ง B

(5) ช่วงเริ่มสัญญาณไฟเขียวในเวลา 16:40:00 น. จำนวนรถสะสมกลับเพิ่มขึ้นไปแทนที่จะลดลง เนื่องจากในช่วงเวลานั้น รถออกจากตำแหน่ง A ได้น้อย เพราะมีท้ายแถวในช่วงถนนถัดไป ล้นเข้ามาถึงตำแหน่ง A ส่วนที่ตำแหน่ง B ก็มีจำนวนรถที่เข้าสู่ตำแหน่ง B ที่มากกว่า

(6) เมื่อได้รับสัญญาณไฟแดงอีกครั้ง จำนวนรถสะสมก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากไม่มีรถออกจากตำแหน่ง A จนมาคงที่เมื่อเวลา 16:43:00 น. มาจนถึงเวลา 16:46:00 น. จำนวนรถสะสมได้ลดลงเนื่องจากได้รับสัญญาณไฟเขียว

(7) เมื่อได้รับสัญญาณไฟแดงอีกครั้งพบว่าจำนวนรถสะสมคงที่ แต่จากนั้นไม่นานก็เพิ่มขึ้นมาอีกครั้ง แต่ในเวลา 16:48:15 น. จำนวนรถสะสมมีค่าคงที่



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์กราฟปริมาณจราจรสะสมในช่วงที่ไม่ล้นตำแหน่ง B (A-B) ระหว่างเวลา 16:35-16:50 น. รวม 2 ช่วงจราจรไปตรง

จากรูปที่ 5.6 ขณะที่แถวคอยที่ได้จากการสังเกตจะยึดข้อมูลที่ไม่เหมือนกับแถวคอยที่ได้จากการประมาณ แต่จะพิจารณาข้อมูลท้ายแถวคอย (Stopping queue) ขณะที่รถสะสม หรือแถวคอยยาวขึ้น และ พิจารณาท้ายแถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ขณะที่รถที่เป็นท้ายแถวคอย (คันสุดท้าย) เคลื่อนตัว

(1) ช่วงเวลาเริ่มต้น พบว่า ไม่มีแถวคอยเกิดขึ้นซึ่งไม่เหมือนกับที่ได้จากการคำนวณ สิ่งที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากแถวคอยที่ได้จากการประมาณจะคิดจำนวนรถที่สะสมในช่วง A-B ซึ่งอาจจอดนิ่งหรือเคลื่อนตัวอยู่

(2) จากนั้นเมื่อได้รับสัญญาณไฟแดงท้ายแถว (Stopping queue) ยาวขึ้นมาตามจำนวนรถที่ผ่านตำแหน่ง B

(3) เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) สั้นลงไป

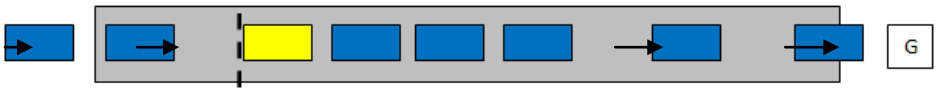
(4) ขณะที่ได้รับสัญญาณไฟแดง ท้ายแถวคอยยาวขึ้นเรื่อยๆ แม้ว่าจะมีช่วงสัญญาณไฟเขียว เพราะในช่วงเวลานั้น ท้ายแถวคอยในช่วงถนนถัดไป ล้นเข้ามาถึงตำแหน่ง A ทำให้รถเคลื่อนที่ออกจากทางแยกได้น้อย และ ท้ายแถวก็ยาวเรื่อยๆเนื่องมาจากรถเข้ามาจอดต่อกัน

(5) หลังจากช่วงไฟเขียวในรอบต่อไป รถก็สามารถออกไปจนแถวคอยหดลงในจนกระทั่งคงที่ ณ เวลา 16:47:00 น.

ระหว่างเวลา 16:43:00 น. ถึง 16:46:00 น. สังเกตได้ว่า แถวคอยที่วัดจริงในภาคสนามมีค่ามากกว่าแถวคอยจากการประมาณ แต่ตามสภาพความเป็นจริงแล้ว ท้ายแถวคอยไม่ควรจะมากกว่า เนื่องจากก่อนหน้านี้แม้ว่าจะเป็นช่วงไฟเขียว แต่ทั้งท้ายแถวและจำนวนรถสะสมกำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พอถึงช่วงไฟแดง เป็นไปได้ยากที่จำนวนรถสะสมจะลดลงไป และในขณะนั้นไม่มีรถเข้าตำแหน่ง B ผลที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากการเปลี่ยนช่องจราจรของรถ และ ระหว่างเวลา 16:46:00 น. ถึง 16:47:30 น. พบว่าจำนวนรถสะสมลดลงก่อนแถวคอยวัดจริง เนื่องจากเป็นช่วงสัญญาณไฟเขียว รถออกจากตำแหน่ง A มากขึ้น มีผลให้จำนวนรถสะสมมีค่าน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง

จากการเปรียบเทียบแถวคอยทั้ง 2 แบบ พบว่า มีความแตกต่างกันคือ (1) เป็นไปได้น้อยที่แถวคอยจากการประมาณจะมีค่าเป็นศูนย์ เพราะกรณีนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อในช่วงเวลา

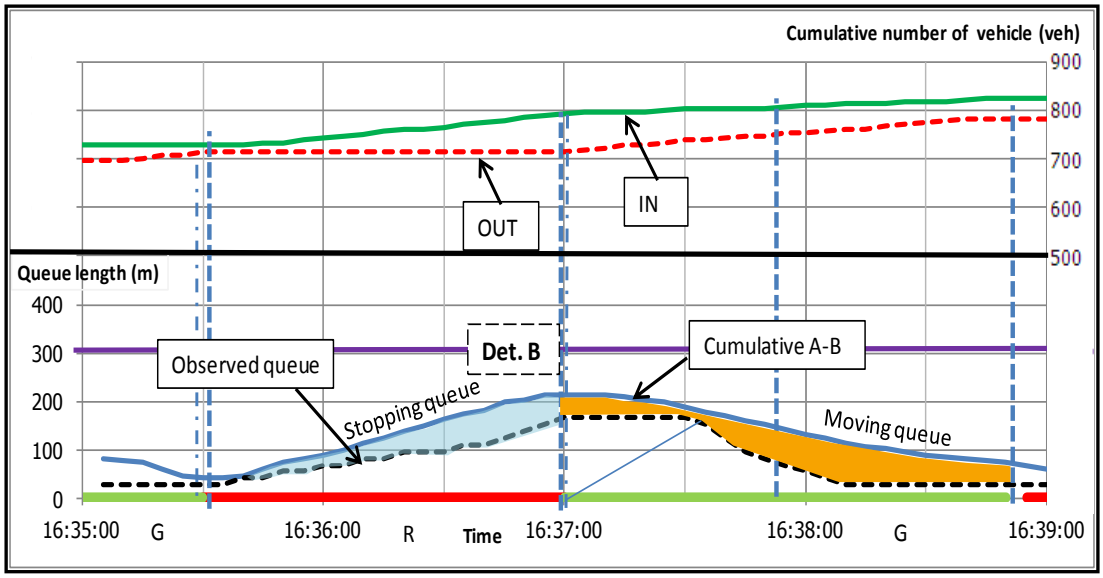
นั้น ไม่มีรถในช่วงถนนที่พิจารณา (2) แถวคอยที่ได้จากการประมาณจะแปรผันตามจังหวะสัญญาณไฟ ช่วงสัญญาณไฟแดงจำนวนรถสะสมจะเพิ่มขึ้น และ ช่วงสัญญาณไฟเขียวจำนวนรถสะสมจะลดลง และ (3) มีช่วงเวลาเพียงส่วนน้อยที่แถวคอยที่วัดจริงในภาคสนามมีค่ามากกว่าแถวคอยที่ได้จากการประมาณ เนื่องจากในช่วงเวลานั้นมีรถออกจากตำแหน่ง A แต่ท้ายแถวก็ต่อกันยาวขึ้นเรื่อยๆ เพราะมีรถเข้าสู่ตำแหน่ง B มากกว่ารถออกที่ตำแหน่ง A ดังแสดงในรูปที่ 5.7



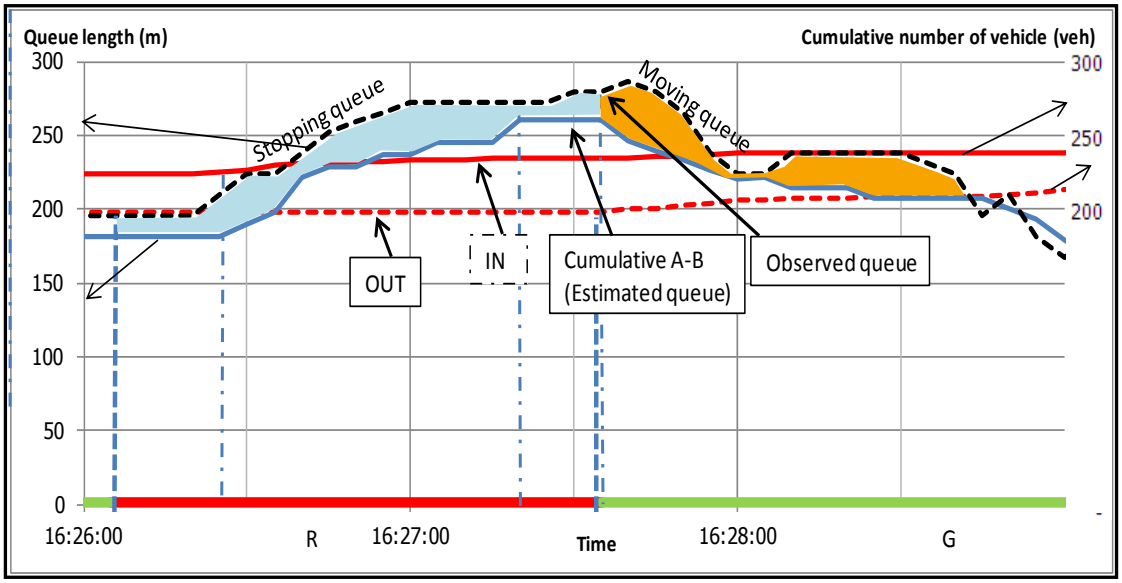
รูปที่ 5.7 กรณีที่แถวคอยวัดจริงมีค่ามากกว่าแถวคอยที่ได้จากกราฟปริมาณจราจรสะสม

ต่อไปเป็นการวิเคราะห์ผลการประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B โดยแสดงรายละเอียดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างแถวคอยจากการประมาณ กับ แถวคอยที่วัดจริง รูปที่ 5.8 เป็นตัวอย่างของรอบสัญญาณไฟที่แถวคอยจากการประมาณมีค่ามากกว่าแถวคอยวัดจริง โดยได้สิ่งที่แตกต่างกันได้ชัดเจนคือ (1) แถวคอยที่ได้จากการประมาณนั้น ไม่มีค่าเป็นศูนย์ และ มากกว่าหรืออาจเท่ากับแถวคอยวัดจริงอยู่เสมอ ในช่วงที่แถวคอยสั้นมากๆ และ (2) หลังจากที่ได้รับสัญญาณไฟเขียวพบว่าแถวคอยที่ได้จากการประมาณจะลดลงก่อนแถวคอยวัดจริง เพราะมีรถออกจากตำแหน่ง A และการเคลื่อนที่ของรถยังมาไม่ถึงรถคันสุดท้ายที่จอด จากนั้นที่แถวคอยที่วัดจริงที่เป็นแถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) จะลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่แถวคอยจากการประมาณลดลงได้ไม่มาก เนื่องจากมีรถเข้าสู่ตำแหน่ง B ด้วย

รูปที่ 5.9 เป็นตัวอย่างของรอบสัญญาณไฟที่แถวคอยที่ได้จากการประมาณมีค่าน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง สาเหตุที่แถวคอยจากการประมาณมีค่ามากกว่าแถวคอยวัดจริงในช่วงสัญญาณไฟแดงอาจจะเป็นเพราะความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนช่องจราจรของรถ หรือ ในช่วงเวลานั้นมีรถออกจากตำแหน่ง A แต่ท้ายแถวคอยก็สะสมยาวขึ้นเพราะมีรถเข้าสู่ตำแหน่ง B เช่นเดียวกันและเข้ามากกว่ารถออกที่ตำแหน่ง A ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ สภาพเช่นนี้สามารถเห็นกราฟปริมาณจราจรสะสมในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.8 ตัวอย่างในช่วงรอบสัญญาณไฟที่แถวคอยจากการประมาณมีค่ามากกว่าแถวคอยวัดจริง (จากการคำนวณรวม 2 ช่องจราจรไปตรงระหว่างเวลา 16:35-16:39 น.)



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างของรอบสัญญาณไฟที่แถวคอยจากการประมาณมีค่าน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง (จากการคำนวณในช่องจราจรที่ 1 ระหว่างเวลา 16:26-16:29 น.)

ผลที่เกิดขึ้นทั้งในกรณีที่แถวคอยจากการประมาณมีค่ามากกว่าแถวคอยวัดจริงนั้น รูปแบบของการเพิ่มขึ้นของท้ายแถวคอย (Stopping queue) การลดลงของแถวคอยเคลื่อนที่

(Moving queue) มีรูปแบบที่ไม่แน่นอนซึ่งไม่สามารถหาความสัมพันธ์อะไรได้ เพราะสิ่งเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณรถที่เข้าสู่ตำแหน่ง B ในช่วงเวลานั้นๆ แต่อย่างไรก็ดีในประมาณโดยส่วนใหญ่ จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับแถวคอยวัดจริง นอกจากนี้ยังพบว่าในกรณีที่ท้ายแถวกำลังยาวขึ้น แถวคอยที่ได้จากการประมาณจะมีค่าใกล้เคียงแถวคอยวัดจริงมากขึ้น และ ตำแหน่งของแถวคอยสูงสุด พบว่า เมื่อเริ่มสัญญาณไฟเขียวแถวคอยจากการประมาณจะลดลงทันทีตามปริมาณรถที่ออกตำแหน่ง A ส่วนแถวคอยวัดจริงจะต้องรอเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้น แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) จะลดลงได้

5.3.2 **กรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง** B

การวิเคราะห์ในส่วนนี้ ได้เปรียบเทียบความยาวแถวคอยที่ได้จากการประมาณโดยวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม กับ ค่าความยาวแถวคอยที่วัดจริงในภาคสนาม ในในกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B การวิเคราะห์เริ่มจากการพิจารณาแยกช่องจราจร เพื่อตรวจสอบว่าจะให้ผลการประมาณที่ดีหรือไม่ เมื่อเทียบกับการประมาณรวม 2 ช่องจราจรไปตรง

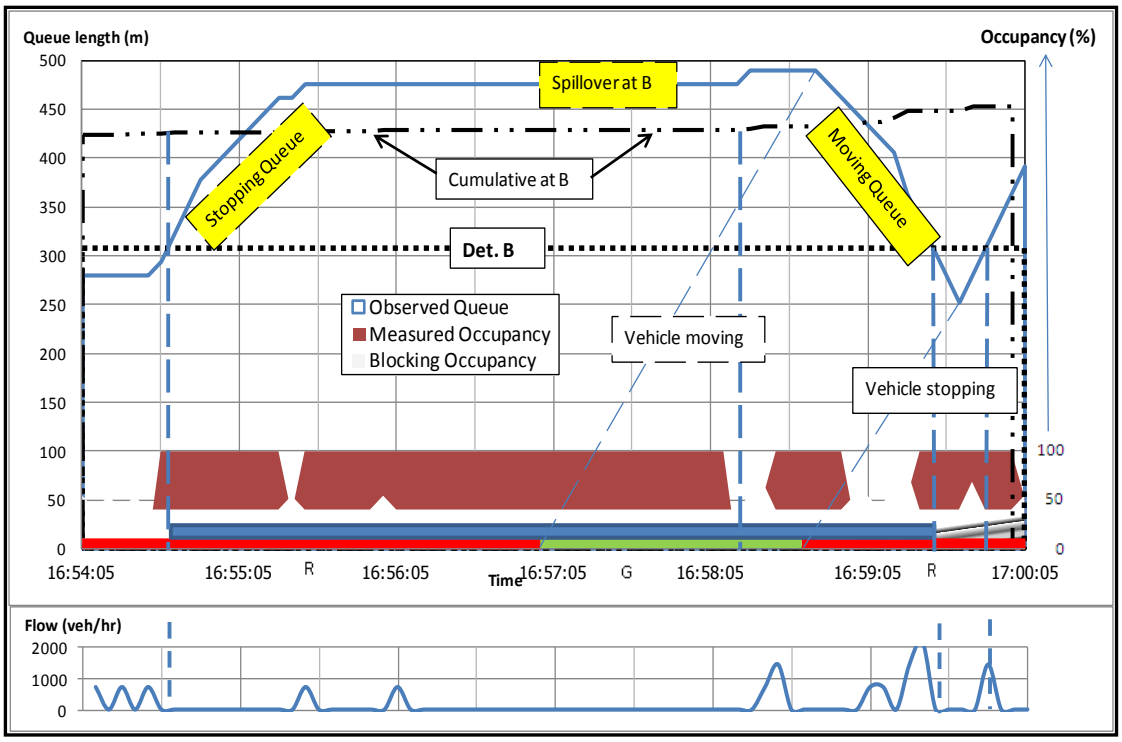
จากรูปที่ 5.5 เป็นการประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมระหว่างตำแหน่ง A กับ B แม้ว่าจะสามารถประมาณ ทั้งช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นและไม่ล้นตำแหน่ง B แต่ในช่วงเวลาที่ล้นตำแหน่ง B ก็ไม่สามารถประมาณได้ยาวเทียบเท่ากับแถวคอยวัดจริงได้ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงประมาณแถวคอย โดยตัดเฉพาะส่วนที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B มาเท่านั้น (พิจารณาการตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง B กับ C เพิ่มขึ้นมา) อย่างไรก็ดีจะต้องมีการระบุช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ของแถวคอยที่ได้จากการประมาณ แล้วเปรียบเทียบกับแถวคอยที่วัดจริงในภาคสนามเพื่อตรวจสอบความใกล้เคียงด้วย ตารางที่ 5.6 ได้แสดงช่วงที่ท้ายแถวคอยในแต่ละช่องจราจรเริ่มล้นตำแหน่ง B พร้อมทั้งระบุความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไปจากตำแหน่ง B และระยะเวลาที่แถวคอยยังไม่สลายตัวโดยดูจากค่า Occupancy ที่ยังมีค่าเท่ากับ 100%

ตารางที่ 5.6 ช่วงที่ท้ายแถวคอยเริ่มล้นตำแหน่ง B รวม 2 ช่องจราจรที่ไปตรง

No.	Time spillover	B-A	Error (m)	100% Duration
1	16:21:25	282.0	26.0	55 sec
2	16:32:40	338.5	30.5	10 sec
3	16:54:15	295.2	12.8	4 min
4	17:08:15	166.5	141.5	4 min

จากตารางที่ 5.6 พบว่าการล้นครั้งที่ 4 แถวคอยที่ประมาณได้มีความคลาดเคลื่อนต่างจากแถวคอยที่วัดจริงค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นช่วงหลังจากที่แถวคอยพ้นตำแหน่ง B ไม่นาน แต่ท้ายแถวคอยก็เคลื่อนที่มาถึงอีกครั้ง การคำนวณในช่วง B-C จะทำตั้งแต่เวลา 16:21:25 น. ซึ่งเริ่มจากการล้นครั้งที่ 1 แล้วคำนวณต่อไปทุกๆครั้งตามเวลาที่เริ่มล้นในตาราง แต่ครั้งที่ 3 เป็นต้นไป จะคำนวณในช่วง B-C ตลอด เพราะแถวคอยล้นตำแหน่ง B ต่อเนื่อง

ต่อไปจะเป็นการเสนอลักษณะการล้นของท้ายแถวคอย ณ ตำแหน่ง B โดยพิจารณากราฟปริมาณจราจรสะสม และ Occupancy ที่ได้นำงานวิจัยจาก Geroliminis (2009) มาประยุกต์ใช้ดังแสดงในรูปที่ 5.10

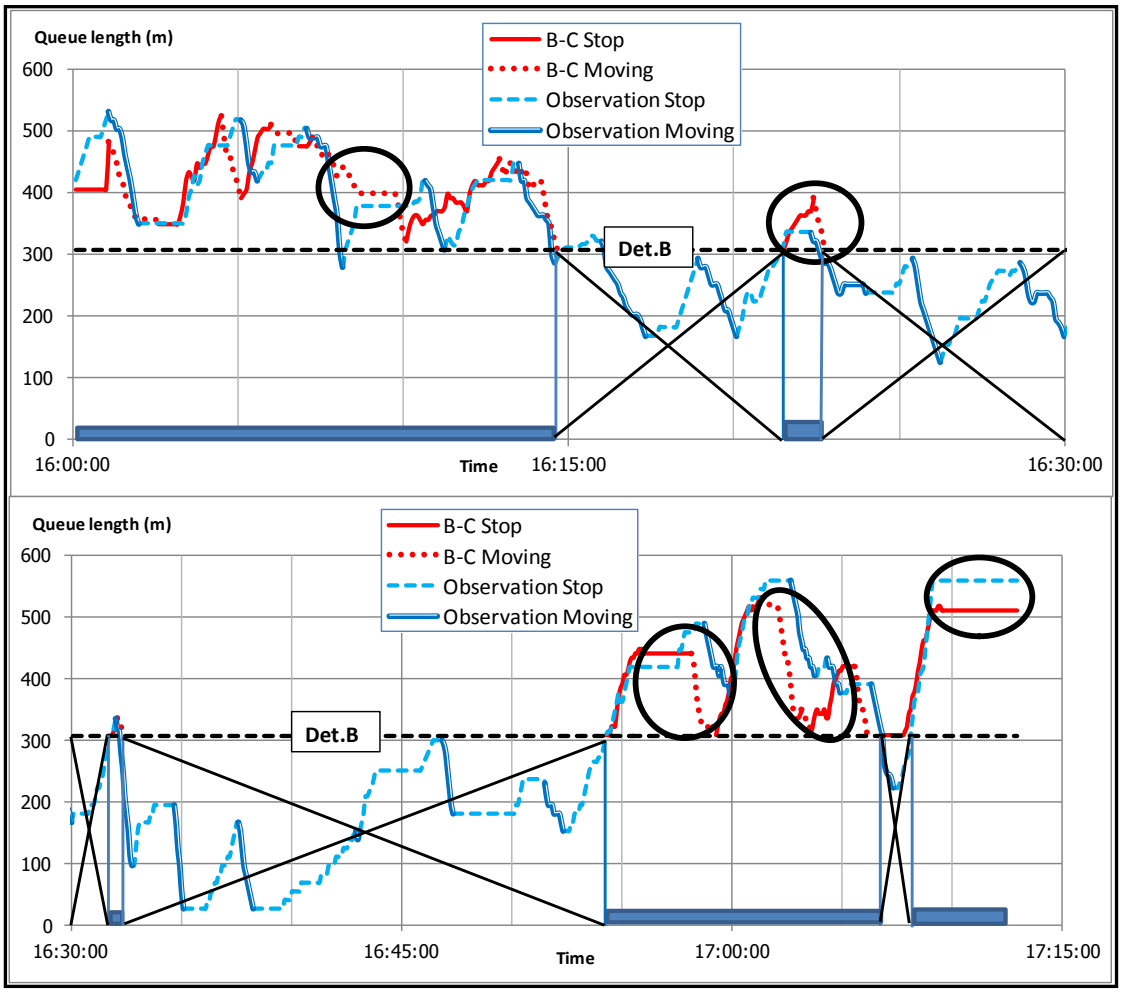


รูปที่ 5.10 ตัวอย่างช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B จากการดูกราฟปริมาณจราจรสะสม ปริมาณจราจร และ Occupancy

จากรูปที่ 5.10 สังเกตได้ว่า ช่วงที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ค่า Occupancy มีค่าเท่ากับ 100% และ กราฟปริมาณสะสมที่ B คงที่เกือบตลอดช่วงเวลาที่แถวคอยล้นตำแหน่ง B ค่า Occupancy เริ่มมีค่าลดลงพร้อมกับกราฟปริมาณสะสมที่ B เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้นขึ้นแล้วรถเริ่มออกตัว ณ ตำแหน่ง B แต่อย่างไรก็ดี ณ เวลานี้ ท้ายแถวคอยก็ยังไม่เคลื่อนที่ จนกระทั่งท้ายแถวหยุด (Stopping queue) เคลื่อนที่กลายเป็นแถวคอย

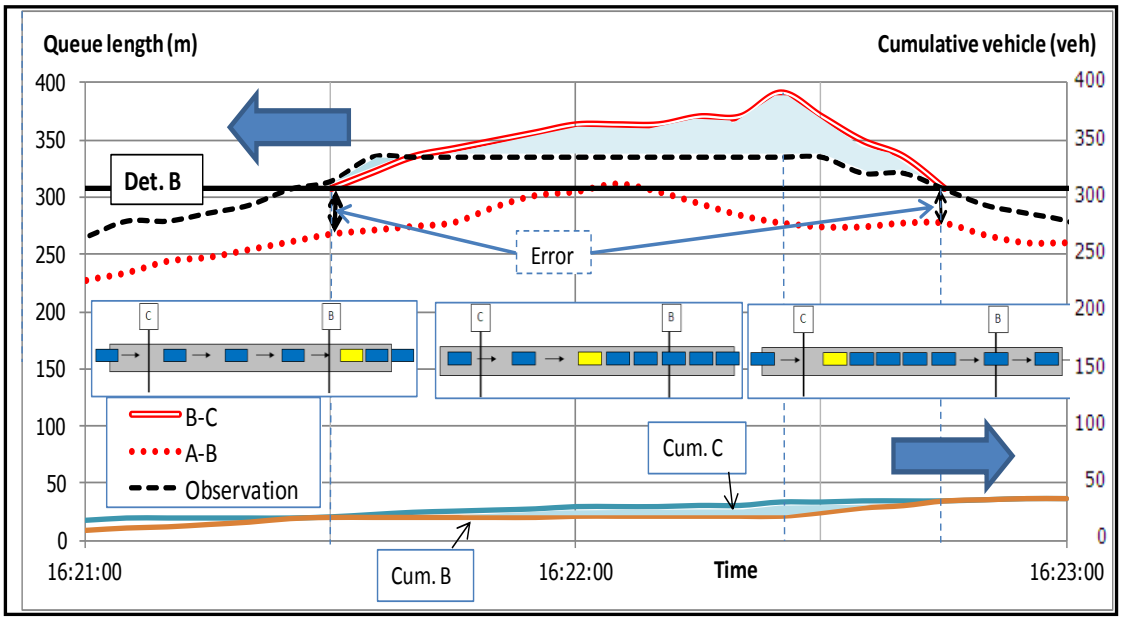
เคลื่อนที่ (Moving queue) ที่ลดลง แล้วเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่ง B ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งขึ้นอยู่กับระยะท้ายแถวคอยที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาที่เริ่มต้นจากท้ายแถวคอย (Stopping queue) ล้นตำแหน่ง B และ แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ลดลงจนผ่านตำแหน่ง B ถือเป็นช่วงที่จะนำมาพิจารณาคำนวณแถวคอยโดยใช้ระยะจากตำแหน่ง B ถึง C ตามที่ได้ระบุในตารางที่ 5.6

ขั้นตอนในการประมาณแถวคอยในกรณีนี้ เริ่มจากเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้า จากนั้นประมาณความยาวแถวคอยตามช่วงเวลาที่ระบุไว้ข้างต้น สำหรับการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมระหว่างตำแหน่ง B กับ C จะสุ่มหาเวลาการเดินทางของรถในช่วงที่ท้ายแถวคอยกำลังล้นตำแหน่ง B พบว่า ค่าเวลาเดินทางเฉลี่ยอยู่ที่ 1 นาที ผลการประมาณแถวคอยโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม ในกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.11 ซึ่งเป็นการประมาณความยาวแถวคอยรวม 2 ช่องจราจร



รูปที่ 5.11 ผลที่ได้จากการประมาณแถวคอยในช่วง B-C รวม 2 ช่องจราจร

จากรูปที่ 5.11 พบว่า แถวคอยที่ประมาณได้มานั้น ยังมีความคลาดเคลื่อนที่สังเกตได้ชัดอยู่ 5 จุดคือ (1) ช่วงเวลาระหว่าง 16:08-16:10 น. ได้การประมาณที่ไม่เป็นไปตามแนวโน้มของแถวคอยวัดจริง เนื่องจากในช่วงเวลานั้นมีการเปลี่ยนช่องจราจรตรงบริเวณท้ายแถวคอยขณะที่เกิดแถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ทำให้แถวคอยทั้ง 2 ช่องจราจรลดลงไม่เท่ากัน จึงมีผลให้จำนวนรถสะสมลดลงน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง (2) เวลาประมาณ 16:17 น. ได้การประมาณที่มากเกินกว่าแถวคอยวัดจริง เพราะระหว่างตำแหน่ง B กับ C มีระยะทางอยู่พอสมควร ซึ่งเป็นไปได้ที่จะมีรถอยู่บนช่วงถนน โดยที่ไม่ได้ติดแถวคอย (3) เวลาประมาณ 16:58 น. ได้การประมาณที่ไม่สามารถขึ้นไปถึงแถวคอยวัดจริง อีกทั้งยังลดลงก่อน สิ่งที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจาก ในช่วงเวลานั้นเป็นช่วงที่มีรถเคลื่อนออกผ่านตำแหน่ง B แต่ไม่มีรถผ่านตำแหน่ง C (4) ช่วงเวลาระหว่าง 17:00-17:05 น. ได้การประมาณที่ลดลงเร็วกว่าแถวคอยวัดจริง อีกทั้งมีค่าที่น้อยกว่าอยู่พอสมควร ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเช่นเดียวกับ (3) นอกจากนี้ เนื่องจากการระบุแถวคอยวัดจริงในกรณีรวม 2 ช่อง ได้นำแถวคอยทั้ง 2 ช่องมาเฉลี่ยกัน แต่ในขณะที่ในช่วงเวลานั้น เป็นช่วงที่แถวคอยจริงทั้ง 2 ช่องจราจรมีความแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าว และ (5) ช่วงเวลาหลัง 17:10 น. พบการประมาณมีค่าน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนช่องจราจรจากช่องจราจรที่ 3 (เลี้ยวขวา) ที่เข้ามาใน 2 ช่องจราจรที่ไปตรงในภายหลัง รูปที่ 5.12 เป็นตัวอย่างการอภิปรายผลของการประมาณแถวคอยในช่วง B-C ที่เกิดขึ้นมา 1 ช่วง ในช่วงเวลา 16:21-16:23 น.



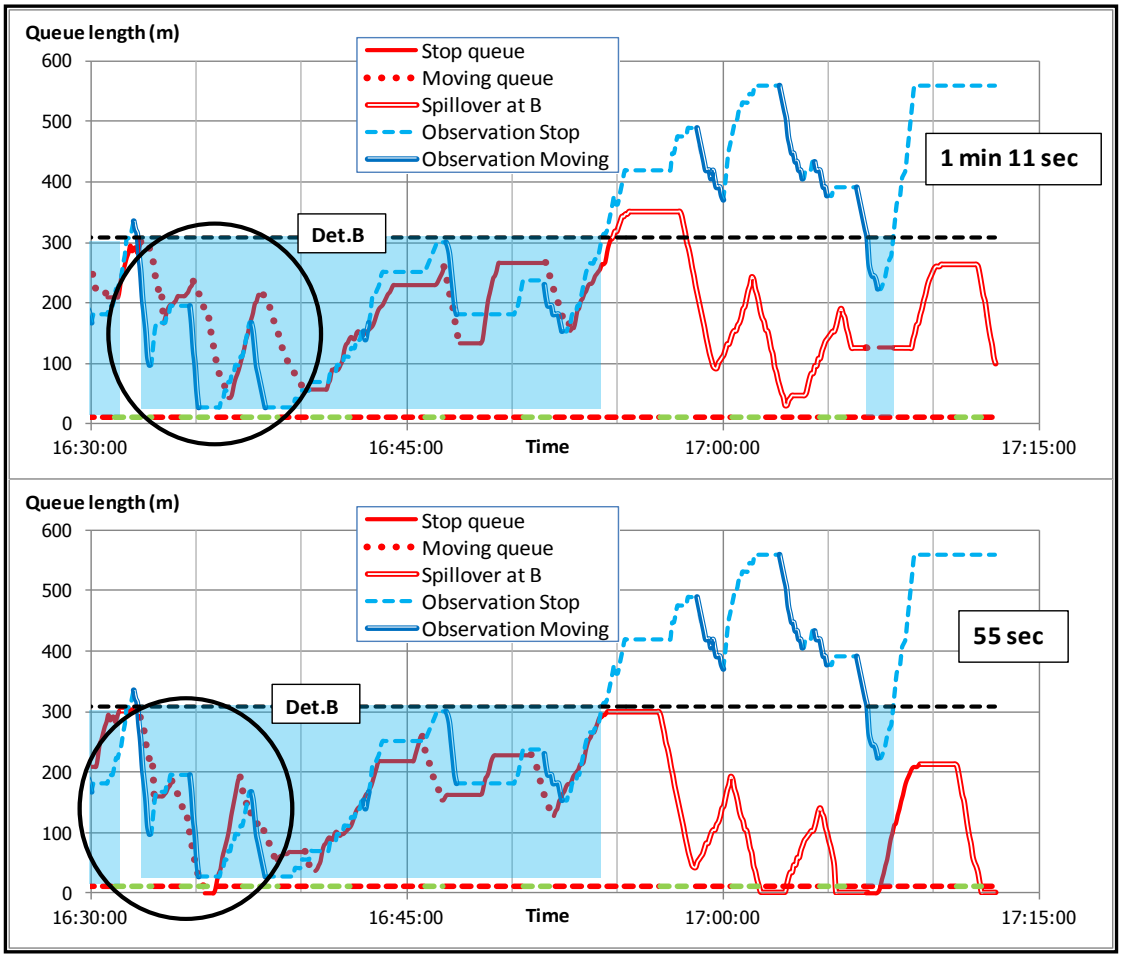
รูปที่ 5.12 ตัวอย่างการอภิปรายผลของการประมาณแถวคอยในช่วง B-C ที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 5.12 พบว่า การประมาณในช่วงที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B มีรถเข้าสู่ตำแหน่ง C อย่างต่อเนื่อง ซึ่งดูได้จากกราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้าที่ตำแหน่ง C เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนกราฟปริมาณจราจรสะสมที่ขาออกที่ตำแหน่ง B พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะคงที่ เนื่องจากมีรถติดเป็นแถวคอยอยู่ ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ ผลก็คือจำนวนรถสะสมเพิ่มขึ้นตามจำนวนรถที่เข้าสู่ตำแหน่ง C แถวคอยเพิ่มขึ้นจนกระทั่งลดลงเมื่อรถที่ตำแหน่ง B เคลื่อนที่ แล้วไม่นานท้ายแถวที่สะสมอยู่ก็ลดลง แถวคอยสิ้นสุดการล้นที่ตำแหน่ง B โดยดูจากกราฟปริมาณจราจรที่ B มีค่าคงที่ เนื่องจากไม่มีรถเคลื่อนที่ผ่านอีก จากผลการประมาณที่ได้สังเกตได้ว่า แถวคอยที่ได้จากการประมาณมีค่าสูงกว่าแถวคอยวัดจริง เนื่องจากมีรถเคลื่อนที่อยู่ระหว่างตำแหน่ง B กับ C อยู่ แต่ยังไม่ได้ติดอยู่เป็นท้ายแถวคอย เมื่อเปรียบเทียบกับการประมาณในช่วง A-B ก่อนหน้านี้โดยเฉพาะช่วงก่อนที่ท้ายแถวคอยจะล้น และสิ้นสุดการล้นที่ตำแหน่ง B พบว่า มีความคลาดเคลื่อน (Error) ไม่เกิน 50 เมตร ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้

5.4 การปรับแก้กราฟปริมาณจราจรสะสม

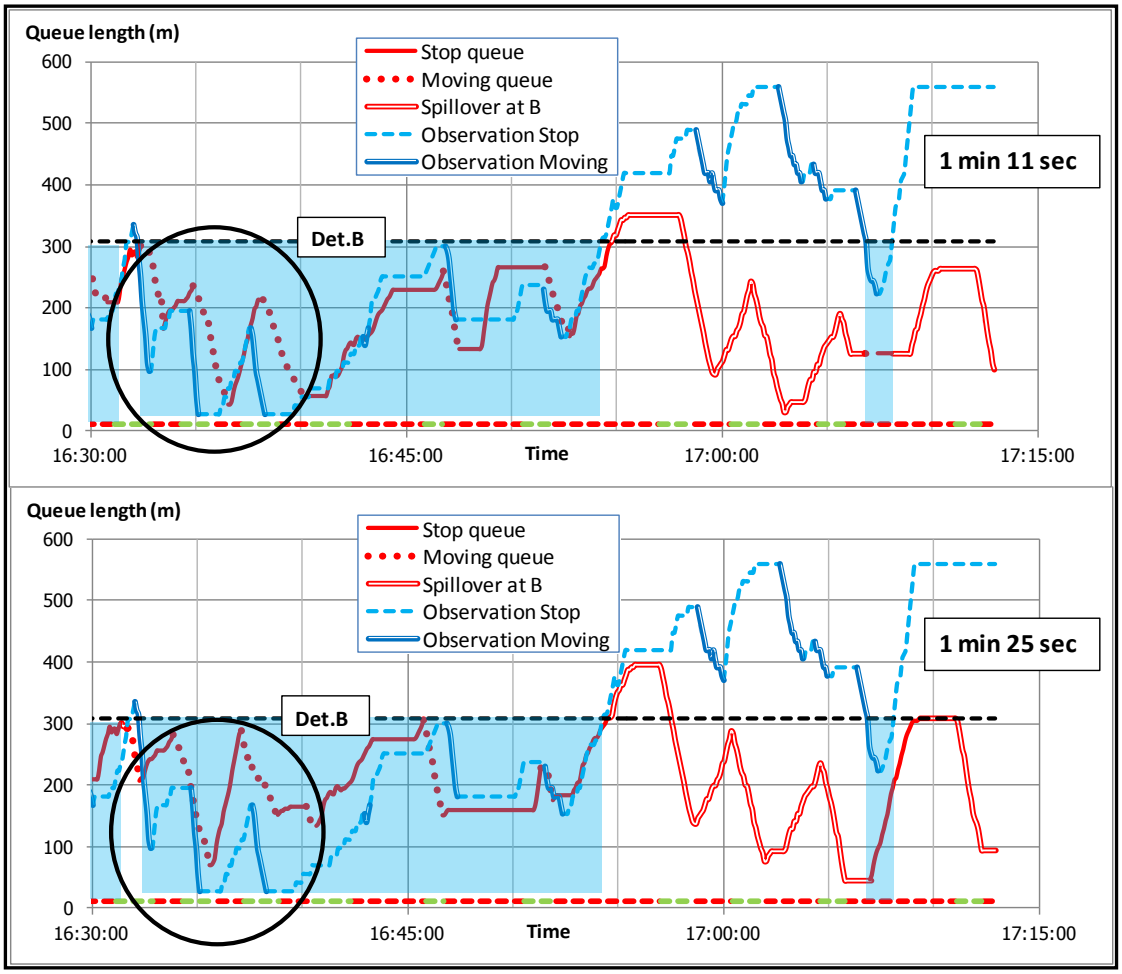
จากรูปที่ 5.5 ที่เป็นการประมาณแถวคอยในช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B สังเกตได้ว่า ระหว่างเวลา 16:30-16:40 น. กราฟแถวคอยที่ได้จากการประมาณมีความแตกต่างจากกราฟแถวคอยวัดจริงมีแนวโน้มที่เหมือนกัน ซึ่งน่าจะเป็นประเด็นสำคัญที่ทำให้การประมาณเกิดความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงได้มีการตั้งสันนิษฐานไว้คือเส้นกราฟระหว่างการประมาณกับการวัดจริงมีการเหลื่อมกันอยู่ เนื่องจากการปรับแก้โดยการเลื่อนกราฟนั้น ได้พิจารณาเวลาการเดินทางระหว่างตำแหน่ง A กับ B ตลอดช่วงเวลาเก็บข้อมูล มีผลทำให้บางช่วงเวลาอาจให้ผลการประมาณที่คลาดเคลื่อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดว่า อาจจะต้องลองปรับแก้เลื่อนกราฟในช่วงเวลาที่เห็นว่ากราฟจากการประมาณมีความแตกต่างจากกราฟที่วัดจริง

การปรับแก้เลื่อนกราฟลองเปลี่ยนระยะเวลาในการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้าอยู่ 2 ครั้งคือ (1) 50 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่น้อยที่สุดจากการเก็บข้อมูลเวลาเดินทางในแต่ละรอบสัญญาณไฟตามที่สรุปไว้ในตารางที่ 5.1 และ (2) 1 นาที 25 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่มากที่สุดจากการเก็บข้อมูลเวลาเดินทาง โดยแสดงตัวอย่างการประมาณรวม 2 ช่องจราจรไปตรง เพื่อทดลองว่าจะสามารถลดความคลาดเคลื่อนได้หรือไม่ ผลการปรับแก้ที่ได้ทั้งครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ



รูปที่ 5.13 ผลการปรับแก้โดยเลื่อนกราฟออกไป 55 วินาที ในช่วงเวลา 16:30-16:40 น. เมื่อเทียบกับการเลื่อนกราฟโดยใช้เวลาเดิม

ผลการปรับแก้ พบว่า การเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมกลับออกไป 55 วินาที สามารถลดค่า MAPE จากเดิม 51.32% เหลือ 33.99% ส่วนการเลื่อนกราฟออกไป 1 นาที 25 วินาที พบว่า ได้ค่า MAPE มากขึ้นเป็น 69.24% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมที่ถูกต้องเหมาะสมกับสมกับสภาพจราจรที่เกิดขึ้นในขณะนั้น เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณแถวคอยโดยวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม



รูปที่ 5.14 ผลการปรับแก้โดยเลื่อนกราฟออกไป 1 นาที 25 วินาที ในช่วงเวลา 16:30-16:40 น. เมื่อเทียบกับการเลื่อนกราฟโดยใช้เวลาเดิม

5.5 การเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงระหว่างแถวคอยจากการประมาณกับแถวคอยวัดจริง

ผลการประมาณความยาวแถวคอยเมื่อเทียบกับแถวคอยวัดจริงในภาคสนาม ให้ผลของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งในกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นและไม่ล้นตำแหน่ง B โดยใช้ค่า MAPE (Mean Average Percentage Error) และค่า RMSE (Root Mean Square Error) ตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ก่อนที่จะปรับแก้การเลื่อนของเวลาดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 สรุปความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณความยาวแถวคอยของ ในวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม ในช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยไม่ล้น และ ล้นตำแหน่ง B

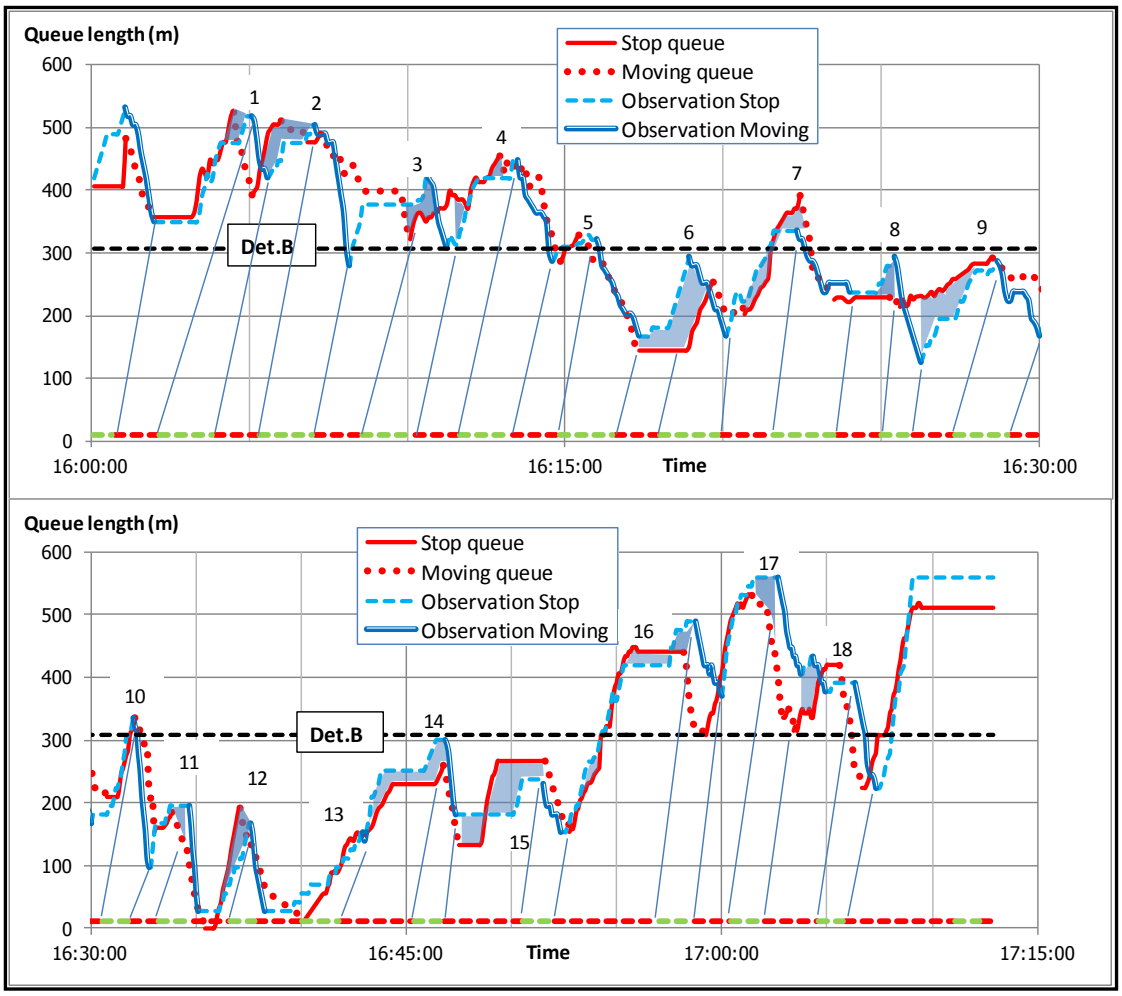
ความคลาดเคลื่อน / การประมาณ	ไม่ล้นตำแหน่ง B (ช่วง A-B)		ล้นตำแหน่ง B (ช่วง B-C)	
	MAPE (%)	RMSE (m)	MAPE (%)	RMSE (m)
ช่องจราจรที่ 1	72.70	53	8.03	44
ช่องจราจรที่ 2	72.12	61	12.28	71
ช่องจราจรที่ 3	88.96	67	13.34	43
รวม 2 ช่องจราจรไปตรง	51.32	51	9.40	55

จากตารางที่ 5.7 พบว่า (1) ค่า MAPE กับ RMSE สำหรับช่องจราจรที่ 1 ได้ 72.70% กับ 53 เมตร ในกรณีที่ไม่ล้นตำแหน่ง และ 8.03% กับ 44 เมตร ในกรณีที่ล้นตำแหน่ง B (2) สำหรับช่องจราจรที่ 2 ได้ 72.12% ได้ 61 เมตร ในกรณีที่ไม่ล้นตำแหน่ง และ 12.28% กับ 71 เมตร ในกรณีที่ล้นตำแหน่ง B (3) สำหรับช่องจราจรที่ 3 ได้ 88.96% กับ 67 เมตร ในกรณีที่ไม่ล้นตำแหน่ง และ 13.34% กับ 43 เมตร ในกรณีที่ล้นตำแหน่ง B (4) สำหรับรวม 2 ช่องจราจรได้ 51.32% กับ 51 เมตร ในกรณีที่ไม่ล้นตำแหน่ง และ 9.40% กับ 55 เมตร ในกรณีที่ล้นตำแหน่ง B

จากการประมาณความยาวแถวคอยทั้งกรณีแยกช่องจราจรและรวม 2 ช่องจราจรไปตรงโดยเฉพาะในกรณีที่ท้ายแถวคอยไม่ล้นตำแหน่ง B (A-B) พบว่า การประมาณแถวคอยในกรณีแยกช่องจราจรทั้ง 3 ช่องจราจร มีความคลาดเคลื่อนมากกว่ากรณีการประมาณรวม 2 ช่องจราจรไปตรง เนื่องจากสามารถขจัดในเรื่องของการเปลี่ยนช่องจราจรได้ไม่มากก็น้อย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบเฉพาะกรณีที่ประมาณรวม 2 ช่องจราจรไปตรงท่านั้น โดยได้ปรับแก้การเลื่อนของเวลาตามที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 5.4 เรียบร้อยแล้ว

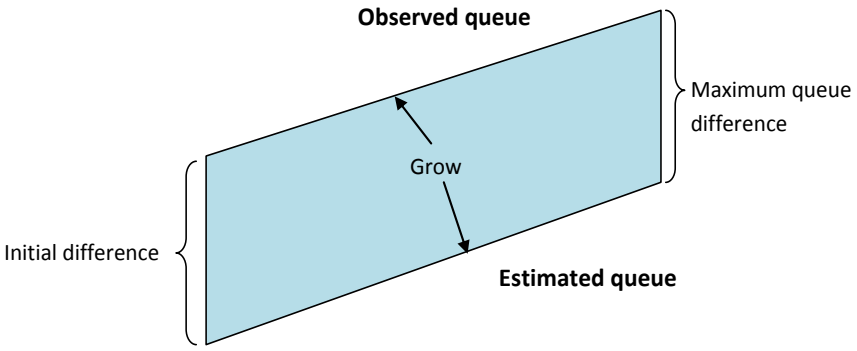
การเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียง ได้เปรียบเทียบทั้ง 2 กรณีคือ กรณีที่ท้ายแถวคอยไม่ล้นตำแหน่ง B และ กรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B การเปรียบเทียบได้มุ่งเน้นเฉพาะช่วงที่แถวคอยกำลังยาวขึ้นซึ่งก็คือแถวคอยหยุด (Stopping-queue) จากได้รับสัญญาณไฟแดงในแต่ละรอบสัญญาณไฟ รวม 18 รอบ โดยเปรียบเทียบแถวคอยที่ยาวที่สุดในแต่ละรอบพร้อมระบุร้อยละของความแตกต่าง ระบุความคลาดเคลื่อนว่ามากว่า (Over estimation) หรือ น้อยกว่า (Under estimation) และเปรียบเทียบโดยใช้ค่า MAPE (Mean Average Percentage Error) โดย

การแสดงผลการประมาณแถวคอยในแต่ละช่องจราจรในรูปของเส้นกราฟ ส่วนที่เป็นพื้นที่สีเข้มคือช่วงเวลาที่ท้ายแถวยังไม่ล้นตำแหน่ง B ส่วนนอกเหนือจากพื้นที่นี้ คือช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B ดังแสดงในรูปที่ 5.15 และตารางที่ 5.8



รูปที่ 5.15 การประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม รวม 2 ช่องจราจรไปตรง

จากรูปที่ 5.15 ส่วนที่แรเงา คือ บริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างแถวคอยจากการประมาณกับแถวคอยวัดจริง ถ้าพื้นที่แรเงาในแต่ละรอบสัญญาณไฟมีมาก แสดงว่าเกิดความคลาดเคลื่อนมาก พื้นที่แรเงาที่เกิดขึ้นที่เป็นไปได้สามารถวิเคราะห์เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนเริ่มต้น (Initial difference) เมื่อแถวคอยหยุดเริ่มยาวขึ้น ส่วนการเพิ่มขึ้นของความยาวแถวคอย (Grow) และ ความยาวแถวคอยมากที่สุด (Maximum queue) จะแสดงในรูปที่ 5.16 ซึ่งเป็นตัวอย่างกรณีที่แถวคอยจากการประมาณ (Estimated queue) มีค่าน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง (Observed queue)

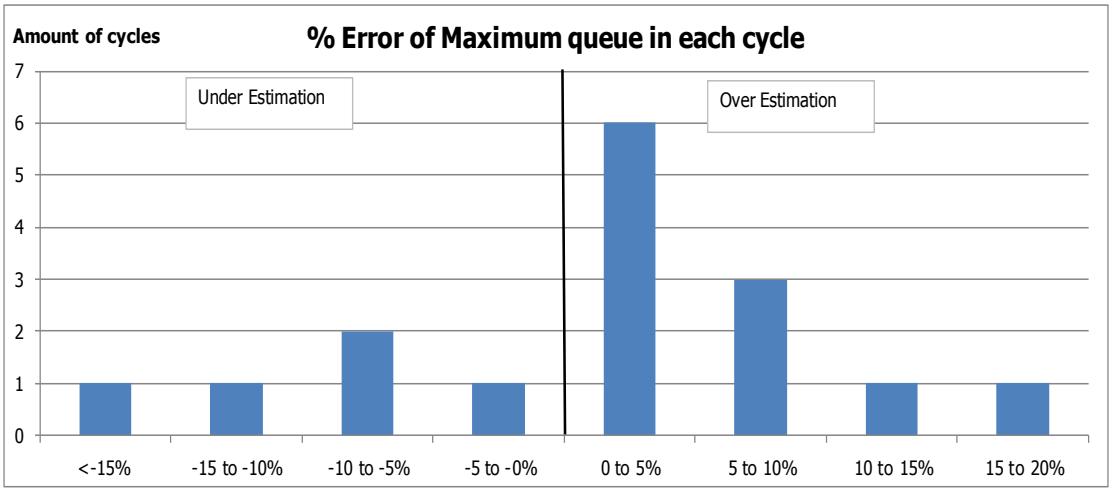


รูปที่ 5.16 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากส่วนที่แรเงา

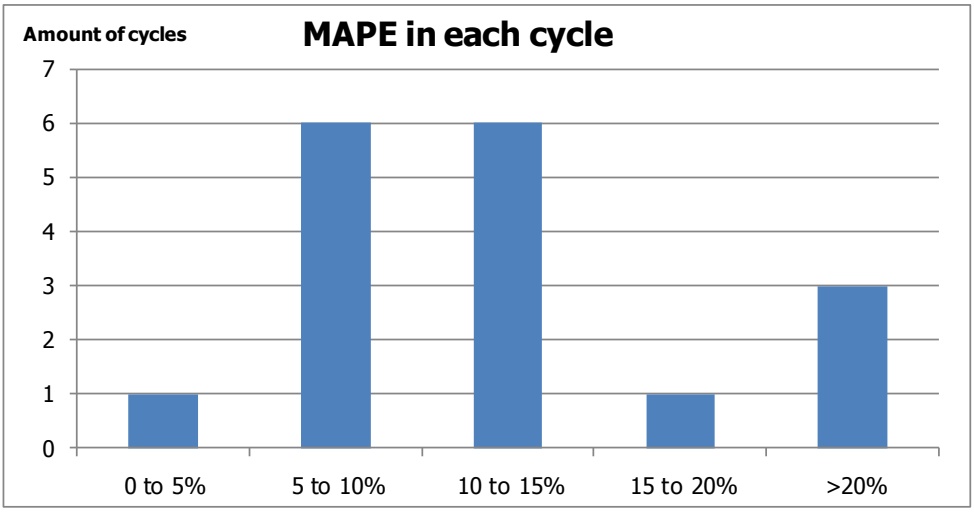
ตารางที่ 5.8 ความยาวแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ รวม 2 ช่องจราจรไปตรง

Cycle	Max. Estimated queue (m)	Max. Observed queue (m)	Difference (m) and % Error		Estimation (Over / Under)	MAPE (%)
1	525	518	7	1.35%	Over	10.02
2	511	504	7	1.38%	Over	7.45
3	364	420	-58	-13.80%	Over	12.53
4	455	448	7	1.56%	Over	8.08
5	329	322	7	2.17%	Over	4.89
6	254	294	-30	10.20%	Over	26.14
7	272	287	-15	-5.23%	Under	9.76
8	230	294	-64	-21.76%	Under	8.84
9	293	287	6	2.09%	Over	23.04
10	336	336	0	0.00%	Over	12.43
11	185	196	-11	-5.61%	Under	14.37
12	191	168	23	13.69%	Over	23.89
13	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
14	260	301	-41	-13.62%	Under	13.27
15	267	231	36	15.31%	Over	18.11
16	441	490	-49	-10.00%	Under	7.89
17	532	560	-28	-5.00%	Under	7.82
18	420	392	28	6.66%	Over	12.85

จากตารางที่ 5.8 พบว่า ในรอบสัญญาณไฟที่ 13 ไม่สามารถระบุแถวคอยที่มากที่สุดได้ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีท้ายแถวคอยในช่วงถนนก่อนหน้าล้นยาวมาถึงตำแหน่ง A ทำให้รถไม่สามารถออกจากตำแหน่ง A ได้ แม้ว่าได้รับสัญญาณไฟแล้วก็ตาม อย่างไรก็ดีในรอบสัญญาณไฟที่เหลืออีก 17 รอบ สามารถสรุปค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุด และ ค่า MAPE ที่เกิดขึ้น ในแต่ละรอบสัญญาณไฟได้ดังรูปที่ 5.17 และ 5.18 ตามลำดับ



รูปที่ 5.17 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม

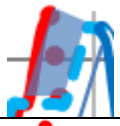
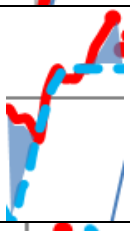
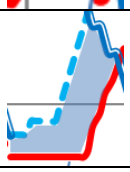


รูปที่ 5.18 ค่า MAPE ที่เกิดขึ้น ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม

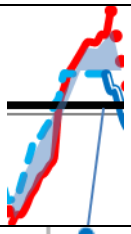
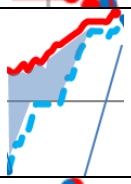
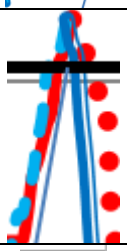
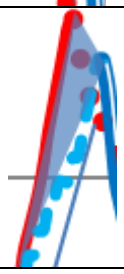
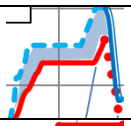
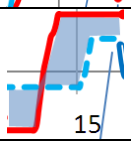
จากรูปที่ 5.17 และ 5.18 พบว่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุดอยู่ในช่วง -21 ถึง 15% โดยส่วนใหญ่ได้การประมาณที่มากกว่า (Over estimation) แถวคอยที่วัดจริงในช่วง 0-5% และ จากตารางที่ 5.8 เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากงานวิจัยของ Liu (2009) ดังตารางที่ 2.1 กับ ค่าของความคลาดเคลื่อน (Difference) ของแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ที่นำมาแปลงเป็นค่า MAPE พบว่า ได้ค่าเท่ากับ 7.66% ซึ่งมีความใกล้เคียงกว่างานวิจัยของ Liu (2009) ที่ได้ค่าเท่ากับ 15% สำหรับค่า MAPE ที่เกิดขึ้นตลอดช่วงที่เกิด

แถวคอยหยุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ พบว่า ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 4 ถึง 26% โดยส่วนใหญ่ได้ค่าในช่วง 5-15% เนื่องจากผลการเปรียบเทียบที่ได้มีความคลาดเคลื่อนตรงแถวคอยที่ยาวที่สุดเป็นส่วนมาก และ จากรูปที่ 5.16 ที่เป็นส่วนที่แรงเงาซึ่งแสดงถึงความคลาดเคลื่อนตั้งแต่จุดเริ่มต้นแถวคอยหยุด (Stopping queue) ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่ลองปรับจุดเริ่มต้นของแถวคอยหยุดให้เท่ากัน โดยนำตัวอย่างในรูปที่ 5.16 มายุบส่วนบนกับส่วนล่างให้ชนกัน (ส่วนการการประมาณกับแถวคอยวัดจริง) โดยหาผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟดังแสดงผลในตารางที่ 5.9

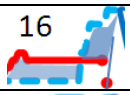
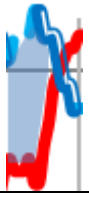
ตารางที่ 5.9 ผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ระหว่างการประมาณกับแถวคอยวัดจริง

Cycle	Shape	Initial estimated queue (m)	Initial observed queue (m)	Difference in initial queue (m)	Difference in maximum queue (m)
1		476	476	0	7
2		490	420	70	7
3		322	378	-56	-58
4		392	315	77	7
5		308	308	0	7
6		146	168	-22	-30

ตารางที่ 5.9 ผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ระหว่างการประมาณกับแถวคอยวัดจริง (ต่อ)

Cycle	Shape	Initial estimated queue (m)	Initial observed queue (m)	Difference in initial queue (m)	Difference in maximum queue (m)
7		203	224	-21	-15
8		230	238	-8	-64
9		232	126	-126	6
10		209	209	0	0
11		185	196	-11	-94
12		41	42	-1	23
13	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
14		152	154	-2	-41
15		133	182	-49	36

ตารางที่ 5.9 ผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ระหว่างการประมาณกับแถวคอยวัดจริง (ต่อ)

Cycle	Shape	Initial estimated queue (m)	Initial observed queue (m)	Difference in initial queue (m)	Difference in maximum queue (m)
16		427	420	7	-49
17		532	560	-28	-61
18		343	406	-60	-42

จากตารางที่ 5.9 พบว่า ทั้ง 17 รอบสัญญาณไฟ (ไม่นับรวมรอบสัญญาณไฟที่ 13) มี 3 รอบสัญญาณไฟ (แสดงตารางสีทึบ) ที่ให้ผลการประมาณที่ใกล้เคียงแล้ว ส่วนที่เหลืออีก 14 รอบ พบว่า มีเพียง 3 รอบสัญญาณไฟเท่านั้น (รอบที่ 3, 6 และ 7 ซึ่งแสดงตัวเลขที่ขีดเส้นใต้) ที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อยุบส่วนบนกับส่วนล่างของพื้นที่แรเงาที่มีความคลาดเคลื่อนมาชนกัน จะสามารถช่วยในการประมาณแถวคอยให้มีความใกล้เคียงได้มากขึ้น (ดูจากค่า Difference in initial queue กับ Difference in maximum queue ที่ไม่แตกต่างกันมาก) สำหรับรอบสัญญาณไฟที่เหลือนั้นได้รูปแรเงาที่แตกต่างจากตัวอย่างในรูปที่ 5.16 ยกตัวอย่างเช่น (1) รอบที่ 2 มีจำนวนที่อยู่ในระหว่างตำแหน่ง B กับ C ที่ยังไม่ได้ติดแถวคอย แต่ในช่วงเวลานั้นมีรถออกจาก B มากกว่าเข้าที่ C ก่อนแถวคอยวัดจริงจะลดลง (2) รอบที่ 8 มีจำนวนที่อยู่ในระหว่างตำแหน่ง B กับ C ที่ยังไม่ได้ติดแถวคอย และ (3) รอบที่ 16 ในช่วงเวลานั้นเป็นช่วงที่มีรถเคลื่อนผ่านตำแหน่ง B แต่ไม่มีรถผ่านตำแหน่ง C ทั้งที่ก่อนหน้านั้นมีจำนวนที่อยู่ในระหว่างตำแหน่ง B กับ C ติดค้างอยู่ สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า การปรับแก้โดยการปรับแถวคอยทั้งจากการประมาณกับแถวคอยจริงให้เท่ากันในตอนเริ่มต้น สามารถใช้ได้เฉพาะกรณีที่มีรถเคลื่อนที่ติดค้างอยู่ในช่วงถนนแต่ยังไม่ได้ติดแถวคอย และรถที่แล่นเข้าสู่ช่วงถนนต้องมีอัตราที่คงที่ด้วย ดังนั้นสรุปได้ว่าในวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม การปรับแก้โดยการเลื่อนเวลา น่าจะเป็นวิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมที่สุดแล้ว

5.6 สรุปผลการประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม

การประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีปริมาณจราจรสะสมนั้น มีการปรับแก้อยู่ 2 อย่าง คือ (1) การเลื่อนของกราฟปริมาณจราจรสะสม เพื่อพิจารณาเวลาเดินทางระหว่างเครื่องตรวจวัดการจราจร 2 ตำแหน่ง การเลื่อนกราฟได้เลื่อนกราฟปริมาณสะสมขาเข้าให้ถอยออกไป โดยพิจารณาเวลาในการเดินทางระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ แล้วมาเฉลี่ยกันได้เวลาเท่ากับ 1 นาที 11 วินาที และ (2) การปรับแก้สัดส่วนรถเข้าให้เท่ากับรถออกในแต่ละช่องจราจร เพื่อขจัดในเรื่องของพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร ก่อนที่จะประมาณแถวคอยจริง

ผลการประมาณแถวคอยในกรณีที่ท้ายแถวคอยไม่ล้นและล้นตำแหน่ง B ในแต่ละช่องจราจร โดยใช้ค่า MAPE ในการตรวจความคลาดเคลื่อนตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ในกรณีที่ท้ายแถวไม่ล้นตำแหน่ง B พบว่า การพิจารณาแบบแยกช่องจราจรนั้น ในช่องจราจรที่ 1 และ 2 ให้ค่า MAPE ที่ไม่แตกต่างกันมาก (72.70% กับ 72.12%) อย่างไรก็ดีค่า MAPE ที่ได้ถือว่าสูงมาก โดยมีประเด็นหลักที่เป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนคือ (1) ในช่วงเวลานั้นอาจมีปริมาณรถเข้ามากกว่ารถออก หรือ มีรถเข้ามาจอดขวางบริเวณทางแยก (2) ในช่วงเวลาที่แถวคอยมีค่าน้อย มีรถที่เคลื่อนตัวอยู่ระหว่างตำแหน่ง A กับ B โดยที่ยังไม่ได้ติดอยู่ในแถวคอย และ (3) ในช่วงเวลานั้น มีรถจากช่องจราจรที่ 3 ที่เป็นช่องเลี้ยวขวา เบี่ยงเข้ามาในช่องจราจรที่ 2 เพื่อที่จะออกจากทางแยก เนื่องจากช่องจราจรเลี้ยวขวายังติดสัญญาณไฟแดงอยู่ มีผลทำให้ช่องจราจรนี้ มีปริมาณรถออกที่มากขึ้น ทำให้ประมาณความยาวแถวคอยน้อยกว่าความเป็นจริง ส่วนในช่องจราจรที่ 3 พบว่าให้ค่า MAPE ที่สูงกว่าช่องจราจรที่ 1 และ 2 เป็นอย่างมาก (88.96%) เพราะเป็นช่องที่มีพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจรของรถอยู่ตลอด โดยรถส่วนใหญ่ชอบที่จะอยู่ในช่องนี้ แล้วเปลี่ยนช่วงไปเข้าช่องที่ 2 ก่อนที่จะออกจากทางแยก เมื่อพิจารณาคิดรวม 2 ช่องจราจรไปตรง พบว่า สามารถขจัดในเรื่องของการเปลี่ยนช่องจราจรได้ มีผลทำให้ได้ค่า MAPE ที่ลดลง (51.32%) อย่างไรก็ดีค่า MAPE ที่ได้ยังสูงอยู่ ดังนั้นจึงได้ลองปรับแก้โดยการปรับเปลี่ยนการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสม พบว่า การเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมกลับออกไป 55 วินาที สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากเดิม 51.32% เหลือ 33.99%

ในกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B พบว่า ค่า MAPE ของการประมาณความยาวแถวคอยทั้งช่องจราจรที่ 1 2 และ 3 ที่ได้มีค่าต่ำมาก (8.03% 12.28% และ 9.40%) ส่วนการพิจารณารวม 2 ช่องจราจรไปตรง พบว่าได้ค่า MAPE ที่ไม่ต่างจากการคิดแยกช่องมากนัก (9.48%) เพราะในช่วงที่ล้นตำแหน่ง B ไม่มีพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจรมาก อย่างไรก็ดีค่า

MAPE ที่ได้มีค่าน้อย (ประมาณ 10%) ไม่เหมือนกรณีที่ไม่ล้นตำแหน่ง B (มากกว่า 50%) มีสาเหตุมาจาก (1) ระหว่างตำแหน่ง A กับ B มีพฤติกรรมการจราจรเกิดขึ้นตลอดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลไม่ว่าจะเป็นการเกิดแถวคอยหยุด (Stopping queue) แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) มีพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร (2) จากการคำนวณค่า MAPE ในสมการที่ (3.8) ในช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B ตัวหารซึ่งเป็นแถวคอยที่วัดจริง มีค่าน้อยกว่า ตำแหน่ง B กับ C ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะได้ค่า MAPE ที่สูงกว่า อย่างไรก็ดีในสาเหตุนี้ เมื่อมาดูค่า RMSE พบว่า ค่าที่ได้ทั้ง 2 กรณีไม่ต่างกันมากเหมือนค่า MAPE โดยได้ค่านี้อยู่ในช่วง 40-70 เมตร แต่จากตารางที่ 5.7 สังเกตได้ว่า ค่า RMSE ที่ได้ในช่องจราจรที่ 3 ในช่วงที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B มีค่าน้อยกว่าช่องจราจรอื่น (43 เมตร) เพราะว่าช่วงเวลาที่ล้นตำแหน่ง B มีน้อยมาก ทำให้มีโอกาสที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน มีน้อยกว่าช่องจราจรอื่น

การเปรียบเทียบการประมาณแถวคอยกับแถวคอยที่วัดจริงได้มุ่งเน้นเฉพาะช่วงที่แถวคอยกำลังยาวขึ้นซึ่งก็คือแถวคอยหยุด (Stopping queue) จากการได้รับสัญญาณไฟแดงในแต่ละรอบสัญญาณไฟ รวม 18 รอบ ผลที่ได้ พบว่า ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุดส่วนใหญ่ อยู่ในช่วงการประมาณที่มากกว่า (Over estimation) แถวคอยที่วัดจริง ในช่วงระหว่าง 0-5% สำหรับค่า MAPE ที่เกิดขึ้น พบว่า ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 5-15% และ จากการที่ได้ลองปรับแก้โดยปรับจุดเริ่มต้นของแถวคอยหยุดให้เท่ากันโดยหาผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟมาเปรียบเทียบกัน พบว่าผลที่ได้แตกต่างกันมาก ดังนั้นในวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม การปรับแก้โดยการเลื่อนเวลา เป็นวิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมที่สุดแล้ว

บทที่ 6
การประมาณแถวคอยโดยใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทก

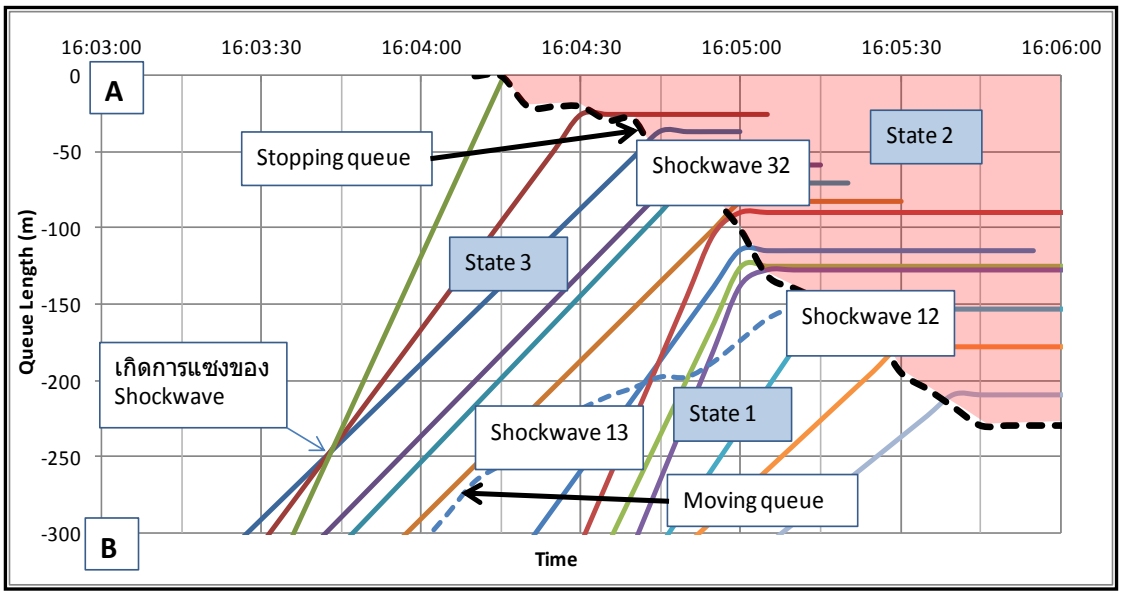
การประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีวิเคราะห์คลื่นกระแทกนั้น จะแบ่งการพิจาณาผลออกเป็น 2 กรณี คือ พิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาลที่ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น โดยคำนวณคลื่นกระแทกทุกๆ 5 วินาที และ พิจารณาการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นโดยใช้กราฟในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ในแต่ละกรณีจะประมาณแถวคอยในแต่ละช่องจราจรเพียง 2 ช่องจราจรที่ไปตรงเท่านั้น

6.1 การวิเคราะห์คลื่นกระแทกโดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล

โดยทั่วไปการวิเคราะห์คลื่นกระแทกจะกระทำในระบบมหาภาค (Macro) กล่าวคือ จะพิจารณาลักษณะการจราจรบนช่วงถนนที่เป็นค่าเฉลี่ย หรือ หาตัวแทนของลักษณะการจราจร โดยมีสมมติฐานว่าการจราจรที่เคลื่อนผ่านถนนเส้นนี้จะมีลักษณะการจราจรเดียว และสามารถหาลักษณะการจราจรตัวแทน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ได้ สำหรับงานวิจัยในส่วนนี้ ได้ตั้งสมมติฐานของการหาลักษณะการจราจร (ความสัมพันธ์ของความเร็ว ปริมาณการจราจร และความหนาแน่นการจราจร) มาจากค่าการจราจรที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นลักษณะการจราจรที่ได้จากการวัดค่าจราจรในภาคสนามแบบทันกาลนั้น จะวัดค่าการจราจรทุก 5 วินาที และคำนวณดังสมการที่ (3.4) (3.5) และ (3.6) พร้อมกับรายงานความยาวแถวคอยทุก 5 วินาที ผลจากการหาความยาวแถวคอยที่ได้จากการวิเคราะห์คลื่นกระแทกทุก 5 วินาที สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างของลักษณะการจราจรที่คัดเลือกมาจากผลที่ได้ในช่องจราจรที่ 1

แต่จากการตั้งสมมติฐานที่ว่า ความเร็วที่ผ่านเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง B และ C ถ้ารถคันหลังเร็วกว่ารถคันหน้า จะสามารถแซงกันได้ ดังนั้นค่าของคลื่นกระแทก 12 ที่เข้าไปต่อยังท้ายแถวคอย อาจไม่เรียงต่อกันตามที่ได้เก็บข้อมูล ณ ตำแหน่ง B หรือ C ทำให้ต้องสร้างแผนภูมิระยะทางกับเวลา เพื่อแสดงถึงความเร็วของกลุ่มรถทุก 5 วินาทีที่แตกต่างกัน จนเกิดการแซงกัน จึงได้ตั้งสมมติฐานอีกอย่างหนึ่งที่ว่า ความเร็วที่ผ่านตำแหน่ง B หรือ C ไปแล้ว จะมีค่าคงที่ รูปที่ 6.1 เป็นตัวอย่างที่แสดงถึงความเร็วของกลุ่มรถทุก 5 วินาทีที่เข้าไปต่อท้ายแถวคอย

เมื่อผ่านตำแหน่ง B ไปแล้ว ซึ่งสังเกตได้ว่า (1) ค่าของคลื่นกระแทก 12 ที่เข้ามาต่อท้ายแถวคอยอาจจะไม่เรียงกันเนื่องจากเกิดการแซง และ (2) เวลาที่รถแต่ละคันมาต่อท้ายแถวคอย จะช้ากว่าเวลาที่เก็บข้อมูลได้จากตำแหน่ง B



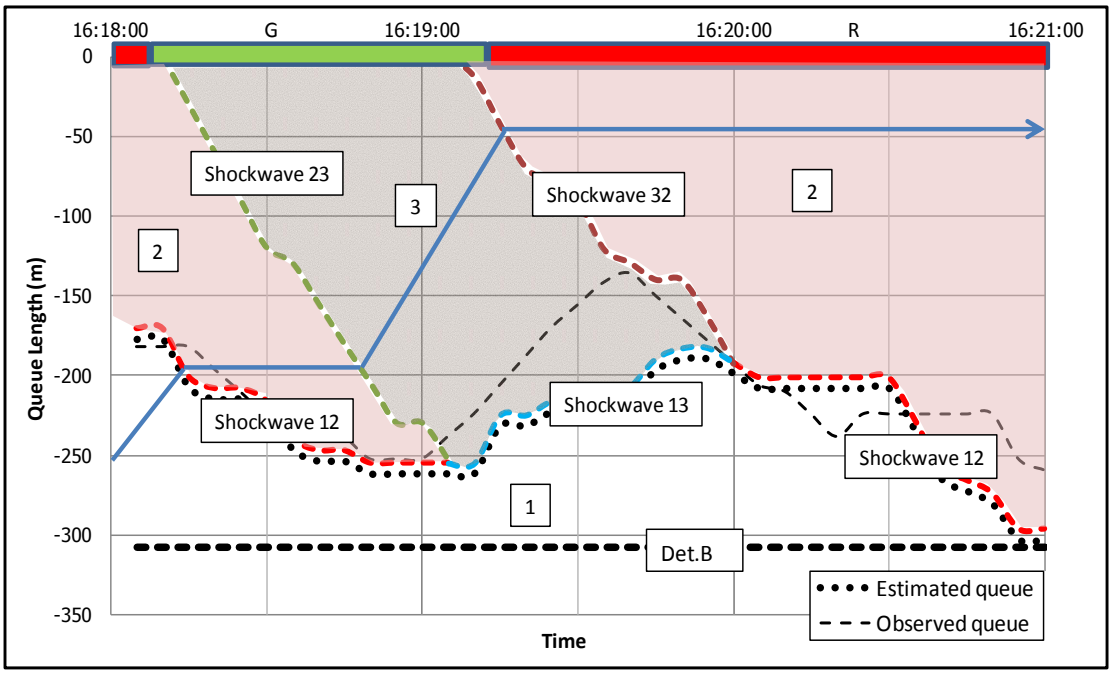
รูปที่ 6.1 ตัวอย่างลักษณะการเกิดแถวคอย จากกลุ่มรถที่ผ่านตำแหน่ง B ทุก 5 วินาทีที่เข้าไปต่อท้ายแถวคอย (สมมติฐานรถสามารถแซงกันได้)

ตัวอย่างการหาตำแหน่งของแถวคอยในช่วงเวลาต่างๆในรูปที่ 6.1 มีสถานะของการจราจรอยู่ 3 สถานะด้วยกัน คือ สถานะที่รถเข้าสู่แถวคอยเป็นสถานะที่ 1 (State 1) สถานะที่รถติดอยู่ในแถวคอยเป็นสถานะที่ 2 (State 2) และ สถานะที่รถเคลื่อนตัวอีกครั้งจากการรับสัญญาณไฟเขียวให้สถานะที่ 3 (State 3) โดยแสดงในรูปที่ 6.2 มีรถคันหนึ่งเดิมวิ่งอยู่ในสถานะที่ 1 เมื่อเข้าสู่สถานะที่ 2 ในเวลา 16:18:15 น. มีผลทำให้รถหยุดนิ่งอยู่ในแถวคอย จากนั้นเวลา 16:18:45 น. รถก็ออกตัวอีกครั้งเข้าสู่สถานะที่ 3 จากการที่ได้รับสัญญาณไฟเขียว อย่างไรก็ดีรถก็ไม่สามารถผ่านทางแยกนี้ได้ จึงต้องเข้าสู่สถานะที่ 1 หยุดนิ่งอยู่ในแถวคอยอีกครั้งในเวลา 16:19:15 น.

6.1.1 กรณีที่ท้ายแถวคอยไม่ล้นตำแหน่ง B

เมื่อได้ข้อมูลจราจรอันประกอบไปด้วยปริมาณจราจรและความหนาแน่นในแต่ละตำแหน่งทุก 5 วินาทีเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีนี้ได้ การประมาณเริ่ม

จากกรณีที่ท้ายแถวคอยยังไม่ล้นตำแหน่ง B ซึ่งสามารถประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B รูปที่ 6.2 เป็นตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1



รูปที่ 6.2 ตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล

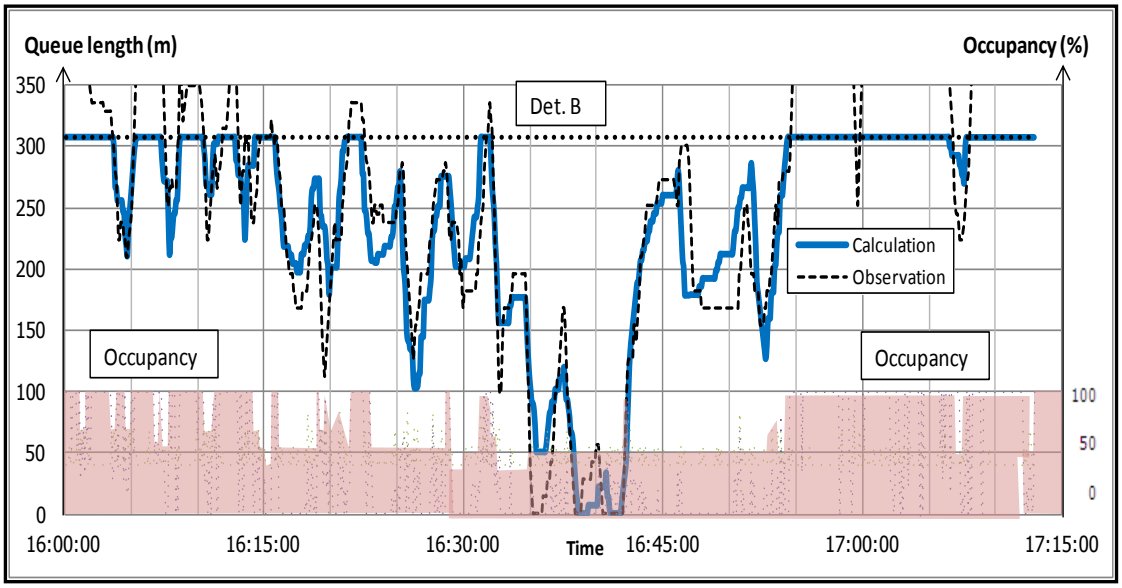
จากรูปที่ 6.2 สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของความยาวแถวคอยนั้นได้ โดยเริ่มจากเวลา 16:18:00 น. แถวคอยอยู่ที่ระยะ 175 เมตร แล้วท้ายแถวคอย (Stopping queue) ก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆเนื่องมาจากคลื่นกระแทก 12 จนถึงเมื่อเวลาประมาณ 16:19:00 น. ท้ายแถวคอยได้สลายตัวลง เนื่องจากคลื่นกระแทก 23 ทำให้เกิดแถวคอยที่เคลื่อนตัวลดลง (Moving queue) โดยคลื่นกระแทก 13 แถวคอยลดลงไปเรื่อยๆจนกระทั้งเวลา 16:20:00 น. ก็ได้มาชนกับคลื่นกระแทก 32 ทำให้เกิดท้ายแถวคอยขึ้นมาอีกครั้ง อย่างไรก็ดีท้ายแถวคอยมีความยาวคงที่เป็นเวลาประมาณ 30 วินาที เนื่องจากยังไม่มีรถเข้ามาติดท้ายแถวคอย จากนั้นแถวคอยก็ยาวขึ้นเรื่อยๆ แต่ยังไม่ถึงตำแหน่ง B

เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้น พบว่า คลื่นกระแทกมีการเปลี่ยนที่เร็วและช้าสลับไปมาอยู่บ่อยครั้งอย่างไม่คงที่ โดยเฉพาะคลื่นกระแทก 12 32 และ 13 มีการแปรผันอยู่ตลอดไม่คงที่ ไม่ค่อยมีความราบเรียบเหมือนการเปลี่ยนแปลงของแถวคอยวัดจริง เนื่องมาจากชุดข้อมูลปริมาณจราจรกับความหนาแน่นทุก 5 วินาทีที่แตกต่างกัน มี

ผลให้ได้ค่าคลื่นกระแทกที่ต่างกัน นอกจากนี้ผลที่ได้มาจากการใช้ความเร็วที่วัดได้ทุก 5 วินาทีมีค่าที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการแซงกันหรือเกิดคลื่นกระแทกย่อยๆขึ้นมา จนเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแถวคอยวัดจริง ส่วนคลื่นกระแทก 23 ยังไม่แปรผันมากนัก เนื่องจากเป็นการวัดข้อมูลจราจรของรถที่ออกตัวจากการได้รับไฟเขียวซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาเส้นกราฟในรูปที่ 6.2 พบว่า เส้นกราฟของคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ และมากเกินกว่าเส้นกราฟที่เกิดขึ้นจริงตามทฤษฎี ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเก็บข้อมูลจราจรและคำนวณเป็นรอบสัญญาณไฟ ดังนั้นจึงได้มีการพิจารณามาใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น เพื่อขจัดในเรื่องความเร็วที่ไม่คงที่ จนสามารถคำนวณผลให้สอดคล้องตามทฤษฎีได้ไม่มากก็น้อย ซึ่งจะอภิปรายในหัวข้อที่ 6.2 ต่อไป

จากรูปที่ 6.2 ยังพบความคลาดเคลื่อนที่เห็นได้ชัดอยู่ประการหนึ่ง คือ คลื่นกระแทก 13 ซึ่งมีผลให้แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ลดลงน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง เนื่องจากค่าคลื่นกระแทกนี้ต้องวัดข้อมูลจราจรจากตำแหน่ง B ทำให้ค่าคลื่นกระแทกที่ได้มานั้นช้ากว่าแถวคอยวัดจริง มีผลให้แถวคอยวัดจริงลดลงเร็วกว่าที่แถวคอยที่ได้จากการประมาณ หลังเวลา 16:20:00 น. พบว่า คลื่นกระแทก 12 เกิดแถวคอยคงที่เร็วกว่าแถวคอยวัดจริง เนื่องจากในช่วงเวลานั้น ไม่มีรถผ่านที่ตำแหน่ง B แต่ท้ายแถวคอยจริงยังมีการสะสมยาวขึ้นอยู่ ต้องใช้เวลา 20 วินาทีกว่าที่จะไม่มีการต่อท้ายแถวคอยขึ้น เวลาที่รถเข้ามาต่อท้ายแถวคอย มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของการประมาณความยาวแถวคอยโดยทำให้ได้ค่าความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้นที่เร็วกว่าแถวคอยวัดจริง และ ในกรณีที่แถวคอยหดสั้นลงโดยแถวคอยจากการประมาณจะลดลงช้ากว่าแถวคอยวัดจริง

เนื่องจากในการคำนวณความยาวแถวคอยโดยใช้วิธีนี้ ได้แบ่งการคำนวณโดยเริ่มจากพิจารณาคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่ง A กับ B ก่อน ผลที่ได้ก็คือท้ายแถวคอยที่เกิดขึ้นทั้งช่องจราจรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีทิศทางไปตรง มีความยาวคงที่ ณ ระยะ 308 เมตร ซึ่งเป็นที่ตั้งของเครื่องตรวจวัดการจราจร B ดังแสดงในรูปที่ 6.3 ในช่องจราจรที่ 1 ช่วงที่เส้นกราฟคงที่ตรงระยะ 308 เมตร คือ ช่วงที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร B (สามารถดูได้จากค่า Occupancy ที่มีค่ามากกว่า 50% ประกอบไปด้วยได้) ดังนั้นส่วนที่เส้นกราฟคงที่ ณ ระยะ 308 เมตรจะต้องพิจารณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C ต่อไป

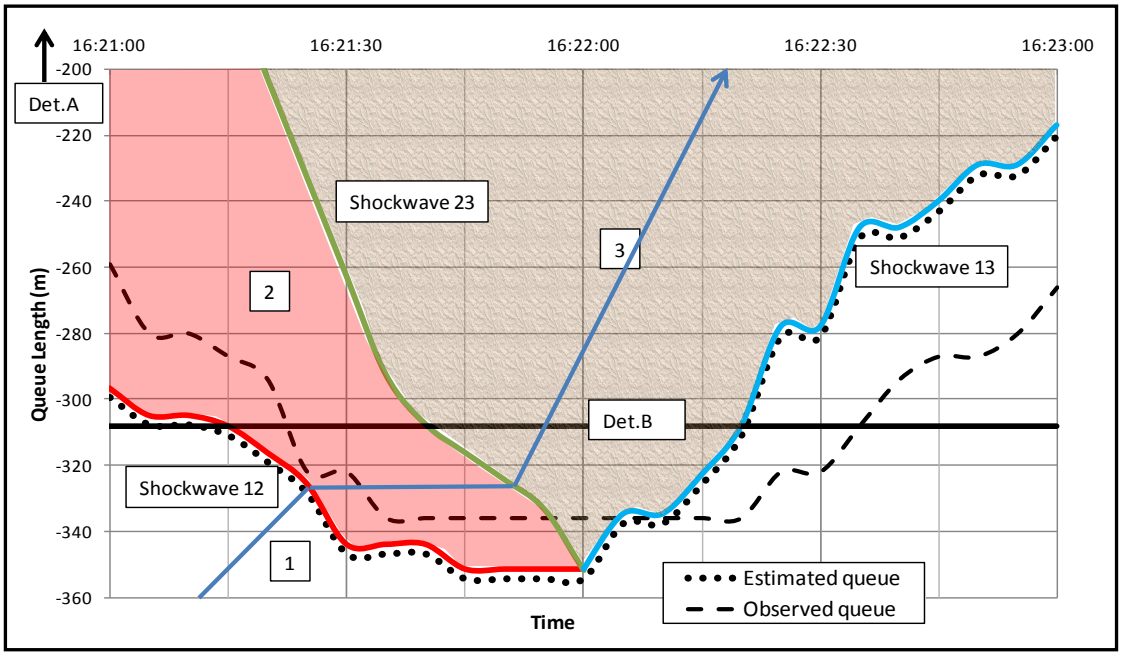


รูปที่ 6.3 การประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อพิจาณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล

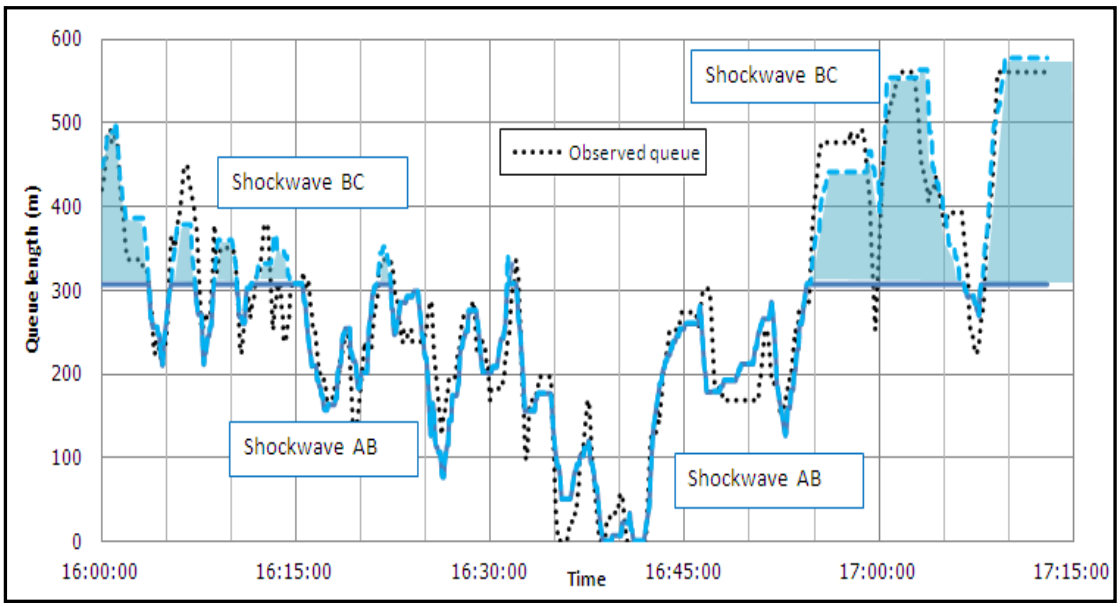
6.1.2 กรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B

สำหรับการประมาณแถวคอยในวิธีคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C จะประมาณหลังจากท้ายแถวคอยล้นมาถึงตำแหน่ง B พอดี รูปที่ 6.4 เป็นตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1

จากรูปที่ 6.4 คลื่นกระแทก 12 ที่มาจากการได้รับสัญญาณไฟแดง แสดงถึงตำแหน่งของท้ายแถวคอย เริ่มล้นตำแหน่ง B ณ เวลา 16:21:15 น. และล้นออกจากตำแหน่ง B ไปเรื่อยๆ ท้ายแถวคอยยาวออกไปจนกระทั่งถึงระยะที่ 350 เมตร จากนั้นก็เริ่มหยุดนิ่งเป็นเวลา 15 วินาที ท้ายแถวคอยสลายตัว ณ เวลา 16:22:00 น. เมื่อคลื่นกระแทก 23 ซึ่งเกิดจากการได้รับสัญญาณไฟเขียวมาถึง แถวคอยลดลงไปเรื่อยๆโดยคลื่นกระแทก 13 จนสามารถผ่านตำแหน่ง B มาได้ จากการเปรียบเทียบกับแถวคอยวัดจริงพบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ไม่มากนัก แต่ยังมีอยู่หนึ่งจุดที่น่าสนใจ คือ คลื่นกระแทก 13 ที่ทำให้แถวคอยหดสั้นลงเร็วกว่าแถวคอยวัดจริง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนในส่วนของตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรที่เก็บข้อมูล เนื่องจากในช่วง B-C คลื่นกระแทก 13 ต้องใช้ข้อมูลจราจรจากตำแหน่ง C อาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในเรื่องของเวลาที่ทำให้ได้การประมาณที่เร็วกว่าแถวคอยวัดจริง



รูปที่ 6.4 ตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล

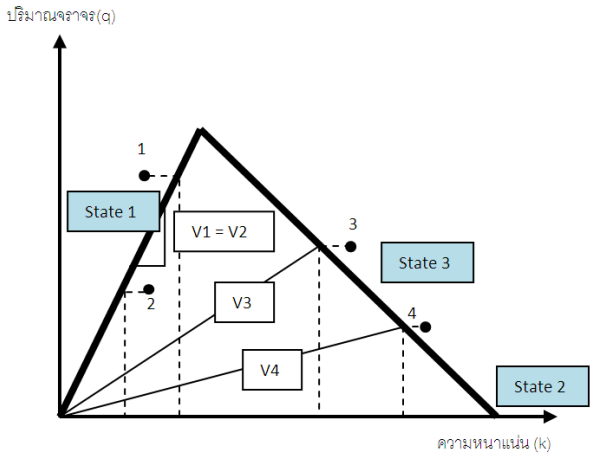


รูปที่ 6.5 การประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มการพิจาณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล

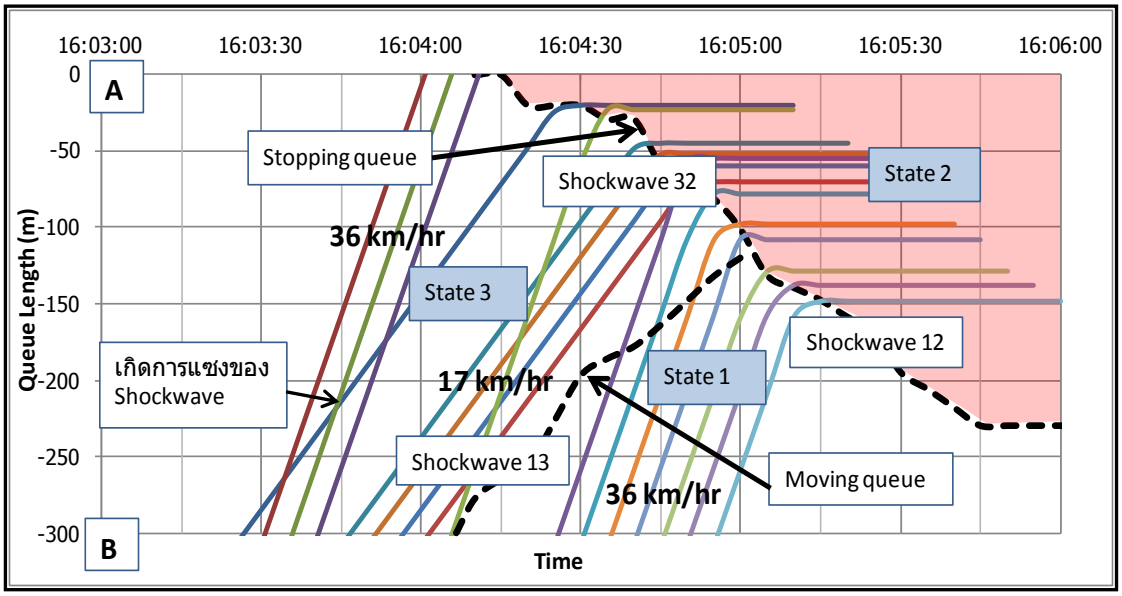
เมื่อพิจารณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C โดยเฉพาะช่วงที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B นั้น สามารถได้ความยาวท้ายแถวคอยที่ต่างไปจากเดิมทั้ง 2 ช่องจราจรได้ดังรูปที่ 6.5 ซึ่งพบว่า แถวคอยสามารถประมาณได้เกินกว่า 300 เมตร สรุปได้ว่าการเพิ่มการพิจารณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C ขึ้นมา สามารถช่วยให้การประมาณแถวคอย มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

6.2 การวิเคราะห์คลื่นกระแทกโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น เป็นการบังคับว่าความเร็วของกลุ่มรถทุก 5 วินาที มีความเร็วคงที่จากกลุ่มรถจากสถานะที่ 1 เข้าสู่สถานะที่ 2 ทำให้ค่าคลื่นกระแทกดังกล่าวไม่มีการแซงกัน เพราะใช้ค่าปริมาณจราจรกับความหนาแน่นทุกค่าอยู่บนกราฟเส้นตรงฝั่งซ้ายทำให้ได้ความเร็วที่คงที่ แต่ว่าค่าคลื่นกระแทกจะไม่เท่ากัน ส่วนกลุ่มรถจากสถานะที่ 3 เข้าสู่สถานะที่ 2 ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพการจราจรที่เป็น Over saturation นั้น ความเร็วของกลุ่มรถอาจไม่คงที่ เนื่องจากค่าปริมาณจราจรกับความหนาแน่นแต่ละค่าที่ไม่เหมือนกันแม้ว่าจะอยู่บนกราฟเส้นตรงเหมือนกัน ทำให้ได้ความเร็วที่แตกต่างกัน แต่ค่าคลื่นกระแทกจะเท่ากันทุกค่า โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.6 ซึ่งเป็นความเร็ว (V) ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นทั้งในสถานะจราจรจาก 1 ไป 2 (จุดที่ 1 กับ 2 ในรูป) และ 3 ไป 2 (จุดที่ 3 กับ 4 ในรูป) และ รูปที่ 6.7 ก็เป็นตัวอย่างลักษณะของการเกิดแถวคอยจากกลุ่มรถที่ผ่านตำแหน่ง B ทุก 5 วินาทีที่เข้าไปต่อท้ายแถวคอย



รูปที่ 6.6 ความเร็วที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นทั้งในสถานะจราจรจาก 1 ไป 2 และ 3 ไป 2



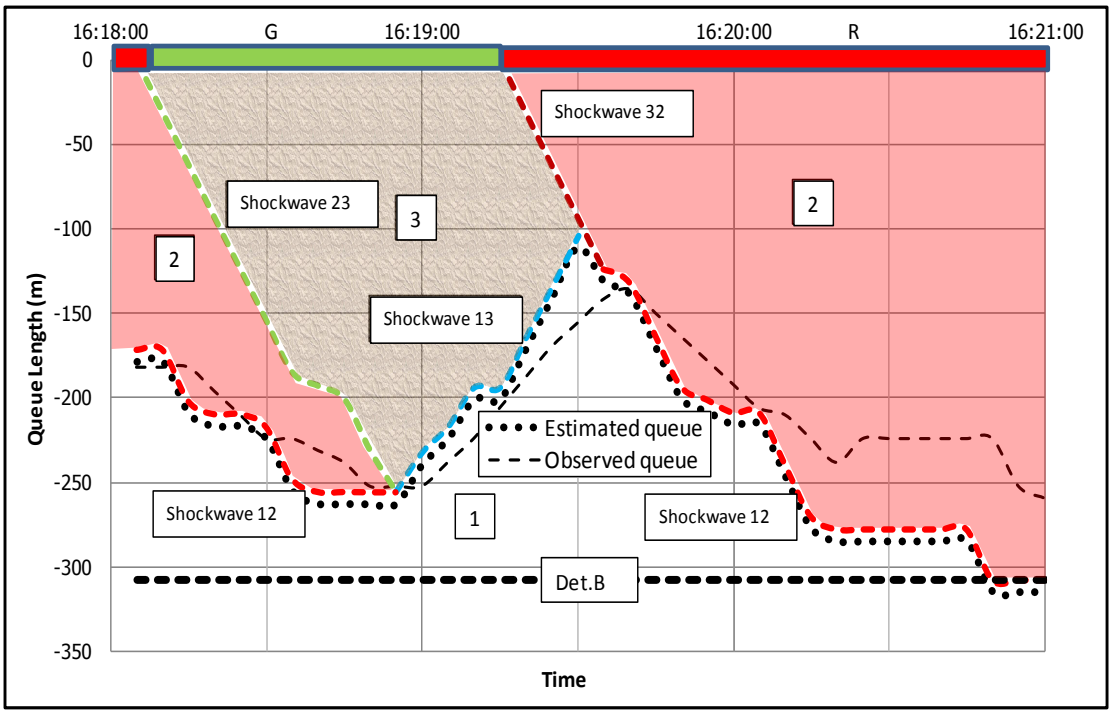
รูปที่ 6.7 ตัวอย่างลักษณะของการเกิดแถวคอย จากกลุ่มรถที่ผ่านตำแหน่ง B ทุก 5 วินาทีที่เข้าไปต่อท้ายแถวคอย (สมมติฐานรถจากสถานะ 1 ไป 2 มีความเร็วคงที่)

จากรูปที่ 6.7 พบว่า ในช่วงแรกที่กลุ่มรถจากสถานะ 3 ไป 2 ซึ่งทำให้เกิดคลื่นกระแทก 32 นั้น มีความเร็วที่ไม่คงที่ ทำให้เกิดการแซงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาลโดยไม่ใช้กราฟปริมาณจราจรกับความหนาแน่น จะมีการแปรผันของค่าความเร็วที่น้อยกว่า จากรูปพบว่าสามารถวัดความเร็วได้ 2 ค่าคือ 17 และ 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งไม่เหมือนในกรณีที่ผ่านมาซึ่งวัดได้หลายค่า สำหรับในช่วงต่อมาพบว่ากลุ่มรถจากสถานะ 1 ไป 2 ซึ่งทำให้เกิดคลื่นกระแทก 12 นั้น มีความเร็วที่ไม่คงที่ ทำให้ไม่เกิดการแซงกัน และวัดความเร็วได้ค่าเดียวคือ 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งก็คือความชันของกราฟฝั่งซ้ายในรูปที่ 6.6 นั่นเอง

6.2.1 กรณีที่ท้ายแถวคอยไม่ล้นตำแหน่ง B

เมื่อได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น และแบบจำลองสมการดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 4 เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับหาความยาวแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถเริ่มคำนวณหาความยาวแถวคอยได้ การคำนวณแถวคอยในกรณีนี้จะคล้ายกับการพิจารณาในหัวข้อที่ 6.1 ค่าปริมาณจราจรมาจากการวัดณ เครื่องตรวจวัดการจราจร A และ B แต่สำหรับค่าความหนาแน่น จะมาจากกราฟความสัมพันธ์

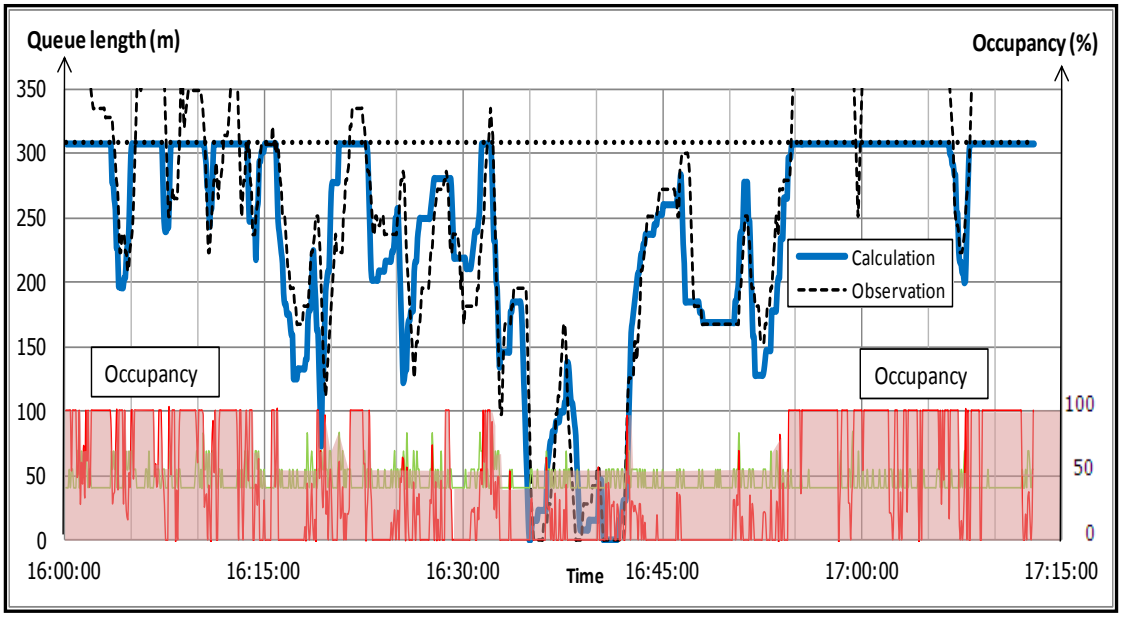
ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น รูปที่ 6.8 เป็นการแสดงตัวอย่างแถวคอยที่เกิดขึ้นจากการคำนวณในกรณีนี้ในช่องจราจรที่ 1



รูปที่ 6.8 ตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น

จากรูปที่ 6.8 พบว่า ค่าคลื่นกระแทกที่ได้เริ่มที่จะมีความแปรผันน้อยลง โดยเฉพาะคลื่นกระแทก 23 เพิ่มขึ้นอย่างคงที่เท่ากับ 31 เมตร ใน 5 วินาที ซึ่งไม่มีความแปรผันเหมือนกับการพิจารณาก่อนหน้านี้แต่เส้นกราฟอาจไม่คงที่อยู่บ้างจุดเนื่องจากการเก็บข้อมูลทุก 5 วินาทีในบางช่วงคำนวณได้ค่าคลื่นกระแทกเท่ากับศูนย์ คลื่นกระแทก 12 มีความแปรผันบ้างแต่ก็ไม่มากนัก คลื่นกระแทก 32 เพิ่มขึ้นคงที่ตลอดเนื่องจากการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น จุดที่เป็นสถานะจราจรที่ 2 กับ 3 อยู่บนส่วนของเส้นตรงเดียวกัน สำหรับคลื่นกระแทก 13 เหมือนกับคลื่นกระแทก 12 ที่มีความแปรผันไม่มากนัก ส่วนการเปรียบเทียบกับแถวคอยวัดจริงพบว่าคลื่นกระแทก 12 เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการพิจารณาที่ผ่านมา แต่คลื่นกระแทก 13 เร็วกว่าแถวคอยที่วัดจริง เนื่องจากการเก็บข้อมูลจราจรในช่วงเวลานั้นอาจจะวัดความเร็วที่ตำแหน่ง B ได้ค่าหนึ่ง แต่เมื่อผ่านตำแหน่งนั้นไปแล้วความเร็วอาจจะลดลงจากการที่รถค่อยๆชะลอตัวก่อนที่จะจอดต่อกันเป็นท้ายแถวคอยอีกรอบ จึงสามารถแสดงความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความเร็วของกลุ่มรถที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

การประมาณความยาวแถวคอยในช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B มีลักษณะคล้ายกับการพิจาณาในกรณีที่ผ่านมา พบว่าท้ายแถวคอยที่เกิดขึ้นทั้งช่องจราจรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีทิศทางไปตรง มีความยาวคงที่ ณ ระยะ 308 เมตร ซึ่งเป็นที่ตั้งของเครื่องตรวจวัดการจราจร B ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6.9

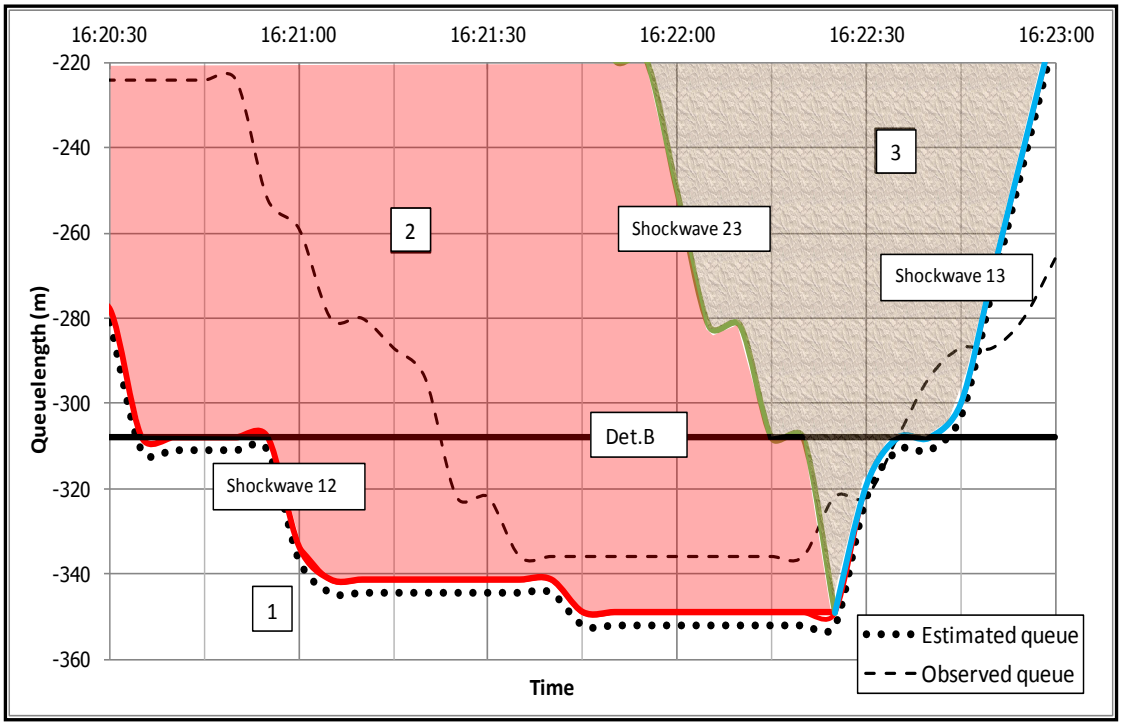


รูปที่ 6.9 การประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อพิจาณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น

ผลที่ได้จากจากการคำนวณความยาวแถวคอยในช่วงระหว่างตำแหน่ง A กับ B นั้น มีลักษณะคล้ายกับในการพิจาณาที่ผ่านมาคือมีความยาวคงที่ ณ ระยะ 308 เมตร ซึ่งเป็นที่ตั้งของเครื่องตรวจวัดการจราจร B

6.2.2 กรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B

สำหรับในกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B จะประมาณหลังจากท้ายแถวคอยล้นมาถึงตำแหน่ง B พอดีเช่นเดียวกันกับการพิจารณาที่ผ่านมา ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6.10



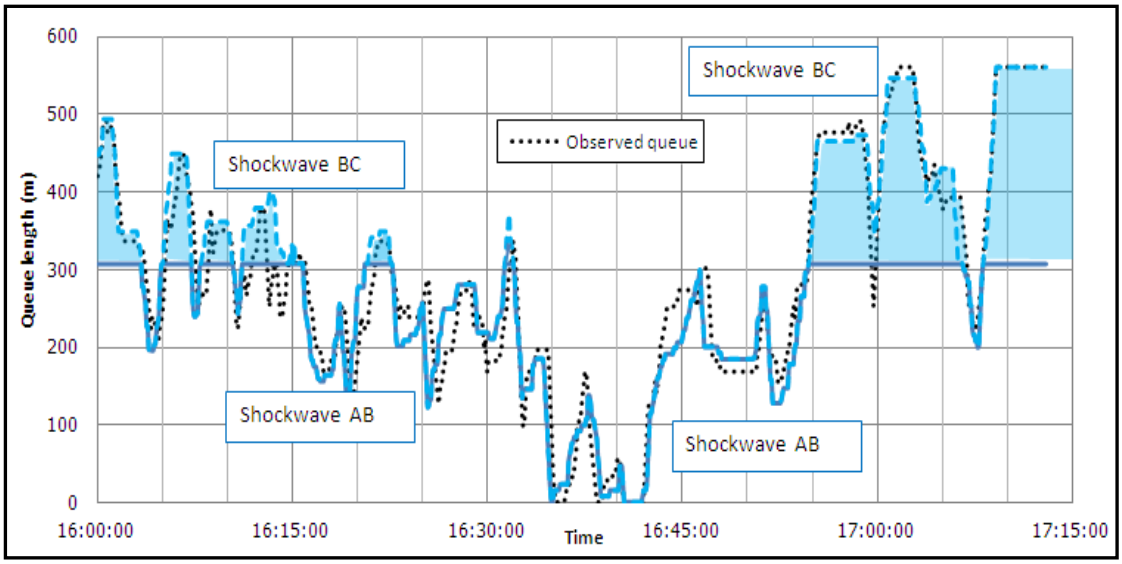
รูปที่ 6.10 ตัวอย่างของการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น

จากรูปที่ 6.10 เมื่อเปรียบเทียบกับแถวคอยวัดจริง พบว่า ผลที่ได้ก็เป็นไปตามทิศทางของการพิจารณาที่ผ่านมา แต่มีจุดหนึ่งที่เห็นได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนอย่างเห็นได้ชัดคือค่าคลื่นกระแทก 12 ที่ทำให้แถวคอยที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าแถวคอยวัดจริงค่อนข้างมาก ซึ่งอาจจะมาจากในช่วงเวลานั้นเป็นช่วงที่มีรถเข้าสู่ตำแหน่ง B อย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดคลื่นกระแทก 12 ที่เกินกว่าจริง แต่ก็ยังมีการแปรผันน้อยกว่าการพิจารณาที่ผ่านมาอยู่

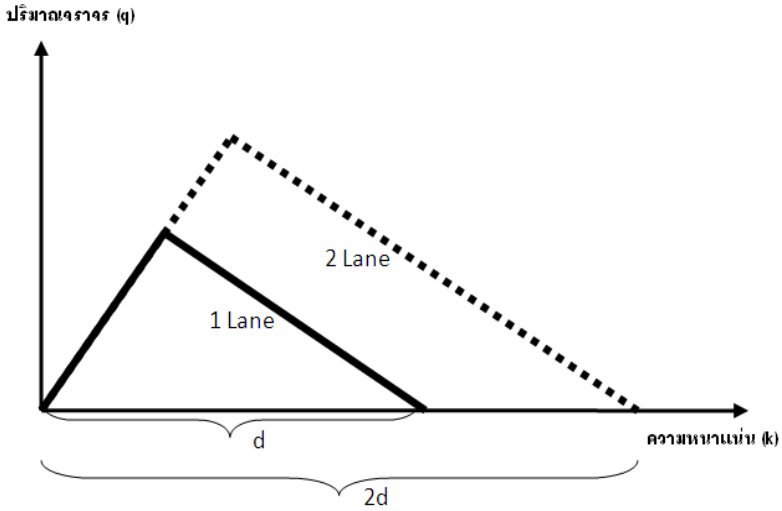
สำหรับการประมาณแถวคอยในวิธีคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C จะประมาณหลังจากท้ายแถวคอยล้นมาถึงตำแหน่ง B พอดี คล้ายกับการพิจารณาที่ผ่านมาดังแสดงตัวอย่างใน รูปที่ 6.11 ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการประมาณแถวคอยช่วงระหว่างตำแหน่ง B กับ C

การคำนวณแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกรวม 2 ช่องจราจรไปตรงนั้น ไม่ต่างจากการคิดแยกในแต่ละช่องจราจร เพียงแต่ค่าปริมาณจราจรและความหนาแน่นที่ได้จะเกือบเป็น 2 เท่าของการคำนวณแยกช่อง สำหรับแบบจำลองสมการจากกราฟความสัมพันธ์

ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของจุดแบ่งช่วงของความเบาบางและติดขัด กับ จุดตัดแกนดิ่งที่เป็นค่าปริมาณจราจรดังแสดงในรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.11 การประมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อพิจาณาคลื่นกระแทกระหว่างตำแหน่ง B กับ C ในช่องจราจรที่ 1 โดยพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น



รูปที่ 6.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น ระหว่างการคำนวณแยกช่องจราจร กับ รวม 2 ช่องจราจรไปตรง

จากการพิจารณาทั้งลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาลและใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น สามารถสรุปสาเหตุของความคลาดเคลื่อน

ต่างๆดังต่อไปนี้ ในการพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาลโดยที่ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น มีความคลาดเคลื่อนอย่างเห็นได้ชัดในเรื่องของความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นทุก 5 วินาที หลังจากที่ได้พิจารณาใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น พบว่า สามารถขจัดความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกได้ แต่ก็ยังเกิดความคลาดเคลื่อนจาก (1) เวลาที่รถเข้ามาต่อท้ายแถวคอย ที่จะทำให้ได้ค่าที่เร็วกว่าแถวคอยวัดจริง และในกรณีที่แถวคอยหดสั้นลงโดยแถวคอยจากการคำนวณจะลดลงช้ากว่าแถวคอยวัดจริง (2) ความเร็วของกลุ่มรถที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาตลอดช่วงถนน

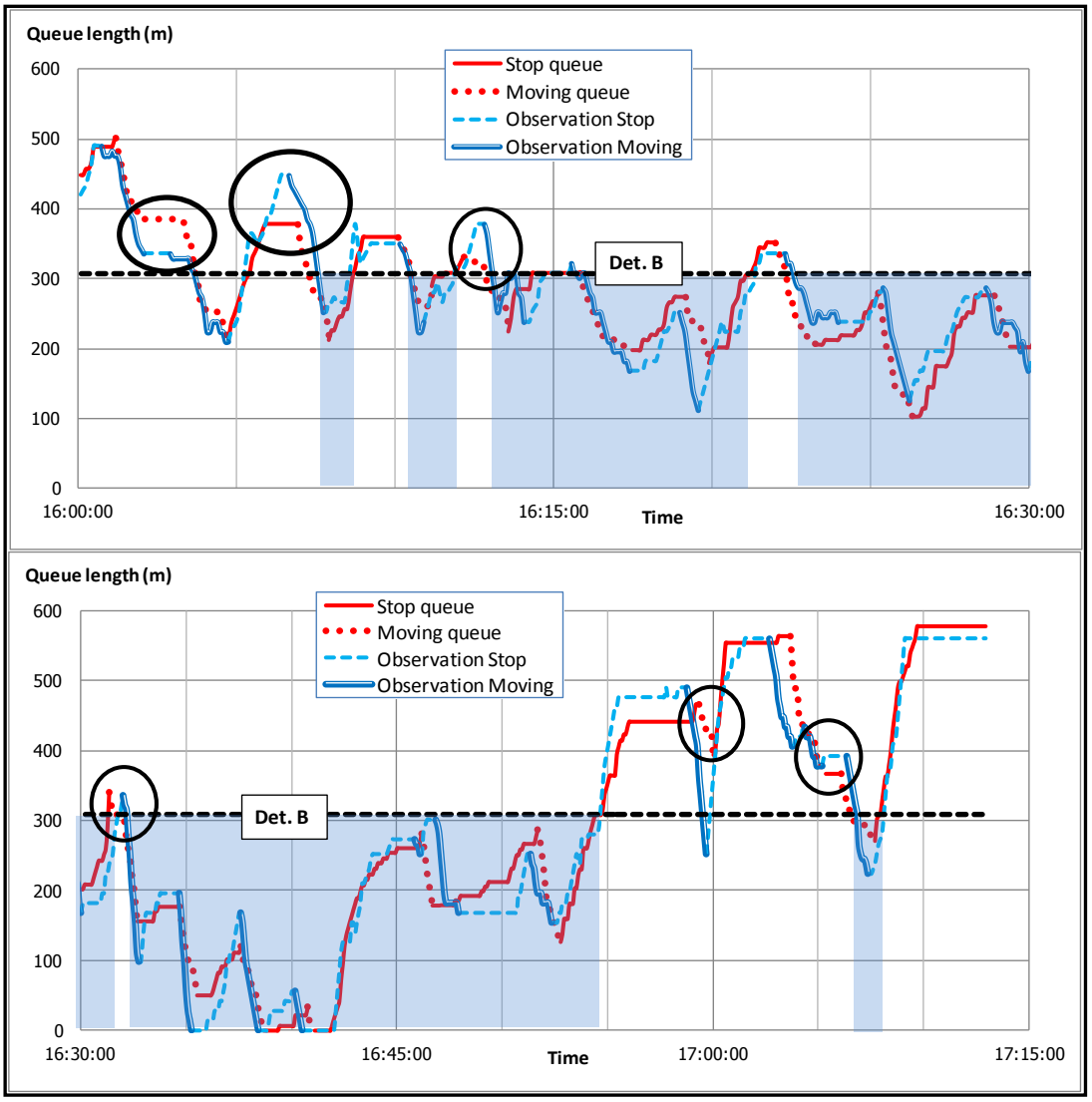
6.3 การเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงระหว่างแถวคอยจากการประมาณกับแถวคอยวัดจริง

การเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงในวิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก ได้แบ่งการพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล (ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น) และการพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น ในแต่ละการพิจารณาก็จะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ ท้ายแถวคอยไม่ล้นตำแหน่ง B กับล้นตำแหน่ง B โดยการเปรียบเทียบจะใช้ค่า MAPE (Mean Average Percentage Error) เป็นแกนหลัก และ ค่า RMSE (Root Mean Square Error) เป็นตัวเสริม จากนั้นอภิปรายผลในแต่ละกรณีทั้งแยกและรวมช่องจราจร การเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงจะแสดงในรูปของเส้นกราฟ ผลการประมาณที่ได้ในแต่ละช่องจราจรจะแสดงทั้งกรณีที่ล้นและไม่ล้นตำแหน่ง B โดยพื้นที่สีเข้มเป็นช่วงที่ท้ายแถวคอยไม่ล้นตำแหน่ง B ส่วนนอกเหนือพื้นที่สีเข้มเป็นช่วงที่ล้นตำแหน่ง B

6.3.1 การพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นแบบทันกาล

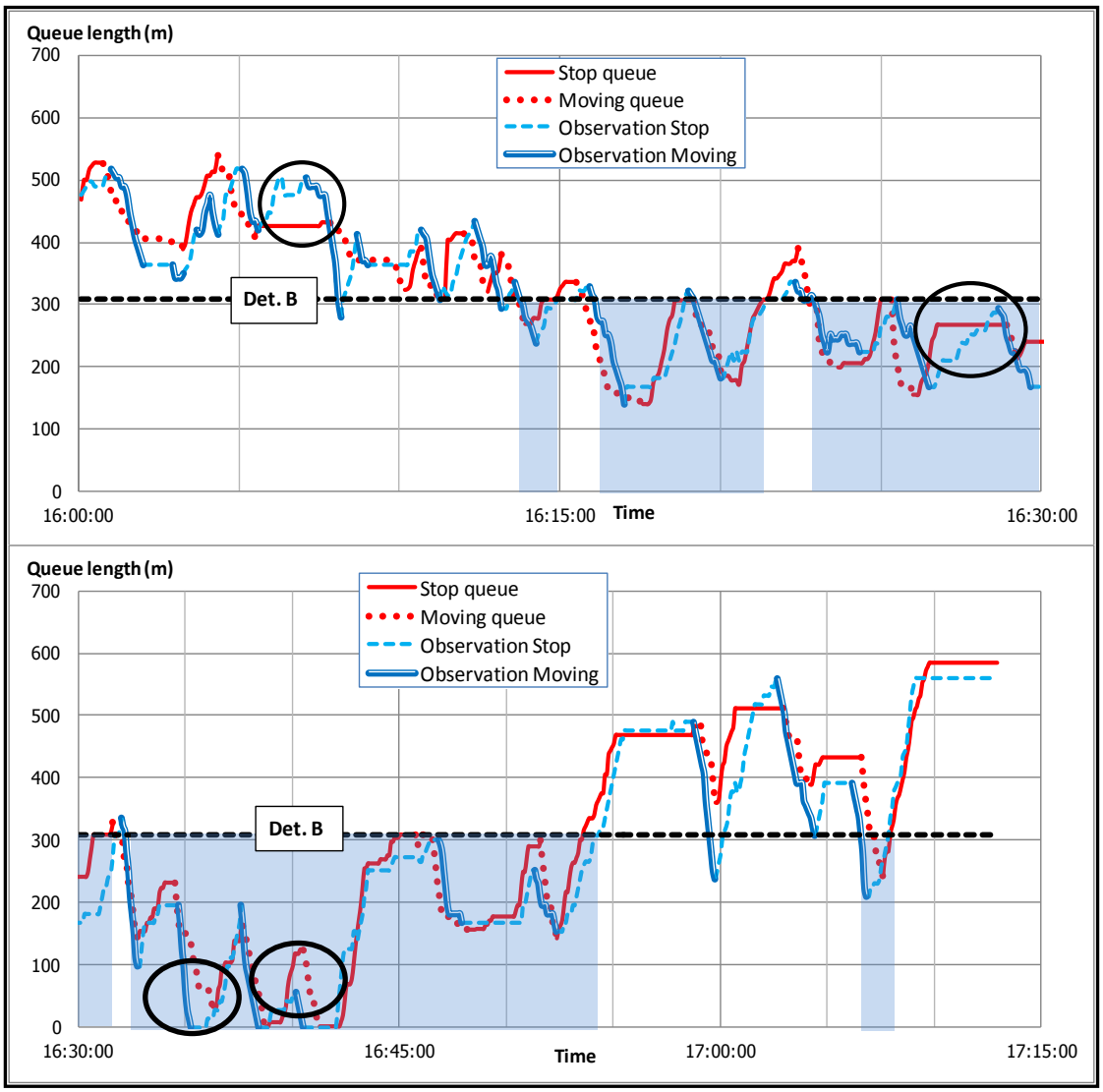
รูปที่ 6.13 ถึง 6.15 แสดงการเปรียบเทียบความยาวแถวคอยที่ได้จากการประมาณ และความยาวแถวคอยที่วัดจริงในช่องจราจรต่างๆ โดยทั่วไปมีแนวโน้มของค่าความยาวแถวคอยไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความยาวแถวคอยที่วัดจริง แต่มีอยู่ 6 จุดที่แตกต่างกัน คือ (1) เวลาประมาณ 16:03 น. ในช่วงที่แถวคอยล้นตำแหน่ง B พบการประมาณมีค่ามากกว่าแถวคอยวัดจริง สาเหตุเกิดจากความแม่นยำในการคำนวณค่าคลื่นกระแทก 13 ทำให้แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ไม่สามารถลดลงจนมาเท่ากับแถวคอยวัดจริงได้ (2) เวลาประมาณ 16:06 น. พบว่า การประมาณแถวคอยหยุด (Stopping queue) มีค่าคงที่ ส่วนแถวคอยจริงเพิ่มขึ้นเนื่องจากได้ค่าคลื่นกระแทกบางค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้ค่าคลื่นกระแทกสะสม ไม่สามารถสะสมให้

แถวคอยยาวขึ้นได้ (3) เวลาประมาณ 16:13 น. การประมาณแถวคอยหยุดมีค่าคงที่ส่วนแถวคอยจริงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับจุดที่ผ่านมา (4) ในช่วงเวลาประมาณ 16:32 น. แถวคอยที่ได้จากการประมาณล้นตำแหน่ง B ก่อนแถวคอยวัดจริง สิ่งที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากก่อนที่แถวคอยจะล้นตำแหน่ง B ได้ค่าคลื่นกระแทกที่มากจนสะสมค่าได้ถึงก่อนแถวคอยวัดจริง (5) เวลาประมาณ 17:00 น. การประมาณแถวคอยเคลื่อนที่ลดลงน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง ซึ่งมีสาเหตุมาจากค่าคลื่นกระแทก 13 มีการสะสมได้ช้ากว่าความเป็นจริง จนกระทั่งค่าคลื่นกระแทก 32 เข้ามาบรรจบ และ (6) เวลาประมาณ 17:04 น. การประมาณที่ไม่เพิ่มขึ้นเหมือนแถวคอยวัดจริง อาจเป็นเพราะในขณะนั้นวัดค่าคลื่นกระแทก 12 ที่ทำให้รถหยุดได้เป็นศูนย์ แต่แถวคอยเคลื่อนที่กำลังลดลงต่อเนื่อง



รูปที่ 6.13 การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 (ใช้ข้อมูลแบบทันกาล (ไม่ใช้กราฟ q-k))

สรุปแล้วในช่องจราจรที่ 1 ได้ค่า MAPE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 22.64% ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 7.68% ได้ค่า RMSE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 40 เมตร ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 42 เมตร

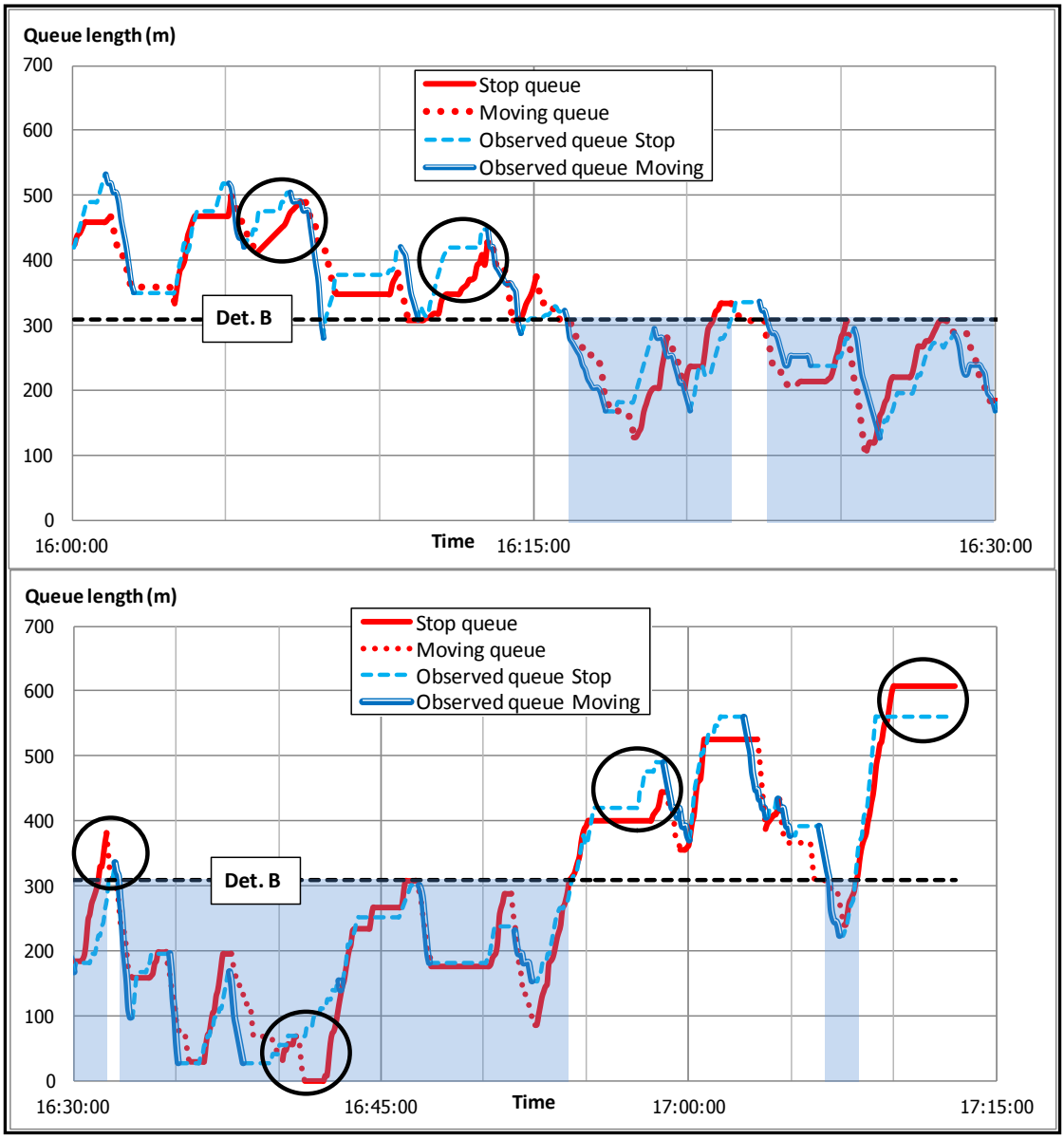


รูปที่ 6.14 การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 2 (ใช้ข้อมูลแบบทันกาล (ไม่ใช้กราฟ q-k)) เปรียบเทียบกับแถวคอยที่วัดจริง

จากรูปที่ 6.14 ในช่องจราจรที่ 2 พบความคลาดเคลื่อนที่ไม่เป็นแนวโน้มกับแถวคอยวัดจริงอยู่ 4 จุดคือ (1) ช่วงเวลาประมาณ 16:05-16:10 น. แถวคอยที่ได้จากการประมาณมีค่าคงที่ แต่แถวคอยจริงกลับเพิ่มขึ้น และต่อมาก็ไม่สามารถลดลงได้เท่ากับแถวคอยวัดจริง สิ่งที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการที่ได้ค่าคลื่นกระแทกเป็นศูนย์ และการได้ค่าคลื่นกระแทกที่ทำให้

แถวคอยลดลงสะสมได้ช้ากว่าความเป็นจริง (2) ช่วงเวลาประมาณ 16:27-16:29 น. แถวคอยที่ได้จากการประมาณเพิ่มขึ้นเร็วกว่าแถวคอยวัดจริง จากนั้นก็คงที่ ซึ่งแถวคอยวัดจริงไม่เป็นเช่นนั้น สิ่งที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดจากความแปรผันของค่าคลื่นกระแทก (3) เวลาประมาณ 16:31 น. การประมาณแถวคอยไม่สามารถลดลงได้ถึงศูนย์เหมือนแถวคอยวัดจริง สาเหตุเกิดจากความแม่นยำในการคำนวณได้ค่าคลื่นกระแทก 13 ทำให้แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ไม่สามารถลดลงจนเท่ากับแถวคอยวัดจริงได้ และ (4) เวลาประมาณ 16:40 น. แถวคอยที่ประมาณมีค่ามากเกินกว่าแถวคอยวัดจริง สาเหตุที่เกิดขึ้นจากความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกทั้ง 12 และ 13 โดยสรุปแล้วในช่องจราจรที่ 2 ได้ค่า MAPE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 27.61% ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 8.98% ได้ค่า RMSE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 50 เมตร ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 45 เมตร

สำหรับการประมาณรวม 2 ช่องจราจรไปตรง ดังแสดงในรูปที่ 6.15 พบความคลาดเคลื่อนที่ไม่เป็นแนวโน้มกับแถวคอยวัดจริงอยู่ 6 จุดคือ (1) ช่วงเวลาประมาณ 16:06-16:07 น. แถวคอยที่ได้จากการประมาณไม่เป็นไปตามแนวโน้มกับแถวคอยวัดจริง เนื่องจากความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกที่ได้ เช่น การที่ได้ค่าคลื่นกระแทกที่เป็นศูนย์ (2) ช่วงเวลาประมาณ 16:06-16:07 น. แถวคอยที่ได้จากการประมาณไม่เป็นไปตามแนวโน้มกับแถวคอยที่วัดจริง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาที่ผ่านมา (3) เวลาประมาณ 16:32 น. ได้แถวคอยจากการประมาณที่เร็วเกินกว่าแถวคอยวัดจริง โดยอาจเกิดมาจากความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกที่ได้ และ การประมาณแถวคอยที่ล้นตำแหน่ง B ได้ก่อนเวลาจริง (4) ในช่วงเวลาประมาณ 16:40-16:42 น. แถวคอยที่ได้จากการประมาณได้ค่าไม่เหมือนกับแถวคอยวัดจริง เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว แถวคอยที่วัดจริงทั้ง 2 ช่องจราจรมีความแตกต่างกันพอสมควร จึงทำให้ได้แถวคอยเฉลี่ยที่ตรงกับการประมาณไม่ได้มากนัก แถวคอยที่ได้จากการประมาณในที่นี้น่าจะถูกต้อง เพราะลักษณะการขึ้นลงของเส้นกราฟ เป็นไปตามจังหวะสัญญาณไฟ (5) ช่วงเวลาประมาณ 16:55-16:58 น. ได้แถวคอยจากการประมาณยาวขึ้นไปไม่ถึงแถวคอยวัดจริงได้ สาเหตุเนื่องมาจากความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกที่ได้ เช่น การที่ได้ค่าคลื่นกระแทกที่เป็นศูนย์ และ (6) ช่วงเวลาประมาณ 17:10-17:13 น. ได้การประมาณที่ยาวเกินกว่าแถวคอยวัดจริงสาเหตุเนื่องมาจากความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกที่ได้ จนทำให้ได้การประมาณที่ไม่แม่นยำมากนัก โดยสรุปแล้วในการประมาณรวม 2 ช่องจราจรไปตรง ได้ค่า MAPE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 27.44% ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 7.39% ได้ค่า RMSE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 43 เมตร ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 39 เมตร

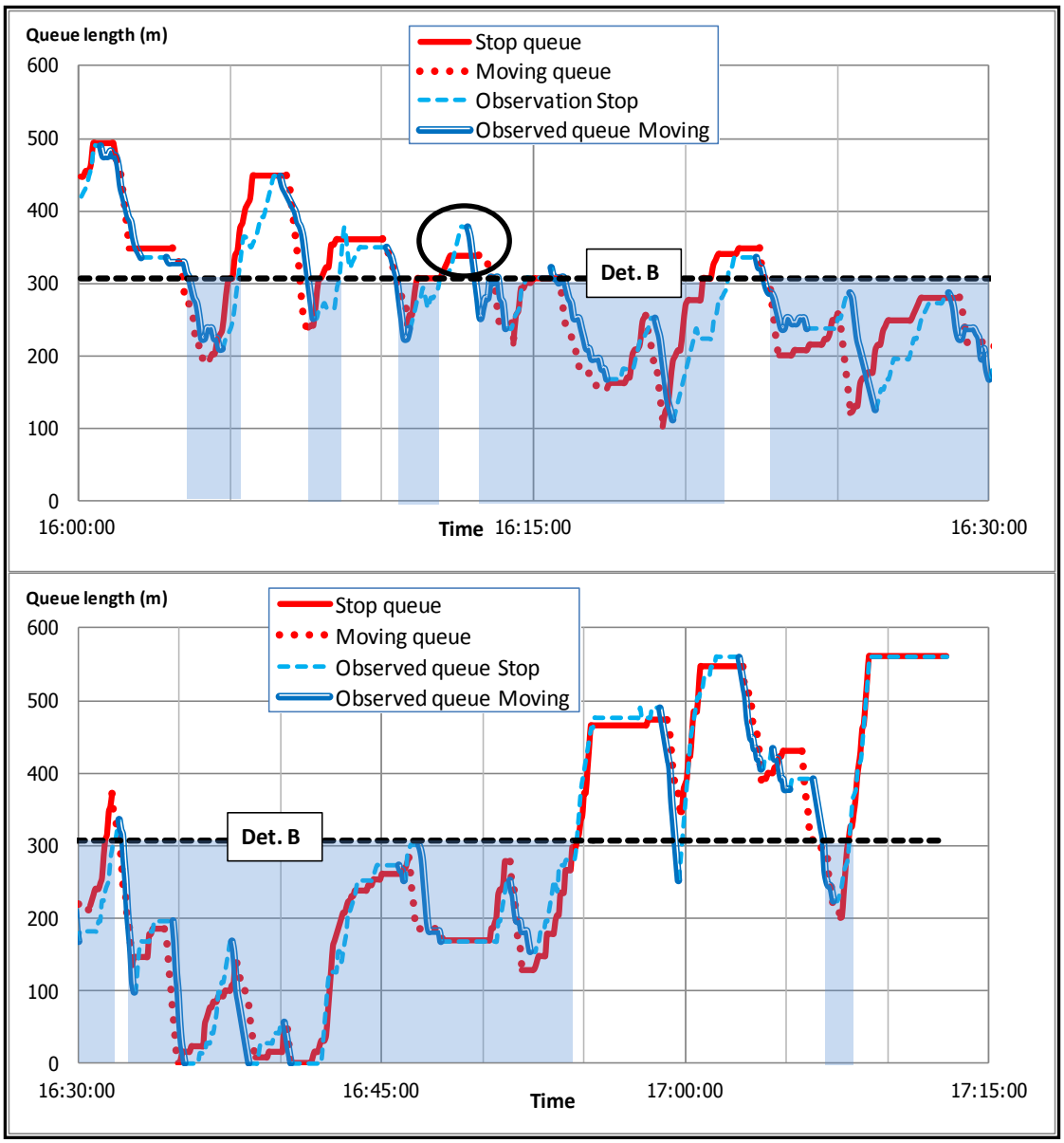


รูปที่ 6.15 การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B รวม 2 ช่องจราจรไปตรง (ใช้ข้อมูลแบบทันกาล (ไม่ใช้กราฟ q-k)) เปรียบเทียบกับแถวคอยที่วัดจริง

6.3.2 การพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น

การอภิปรายผลเริ่มจากช่องจราจรที่ 1 2 และ รวม 2 ช่องจราจรไปตรงตามลำดับ สำหรับในช่องจราจรที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6.16 พบความคลาดเคลื่อนที่ไม่เป็นแนวโน้มกับแถวคอย

วัดจริงอยู่ 1 จุดคือ ช่วงเวลาประมาณ 16:12-16:14 น. พบแถวคอยจากการประมาณที่ไม่สามารถขึ้นไปยังจุดสูงสุดเหมือนแถวคอยจริง อาจเกิดจากการเปลี่ยนช่องจราจรแล้วเข้ามาต่อเป็นแถวคอย ในขณะที่เครื่องตรวจวัดที่ตำแหน่ง C วัดปริมาณจราจรได้เท่ากับศูนย์

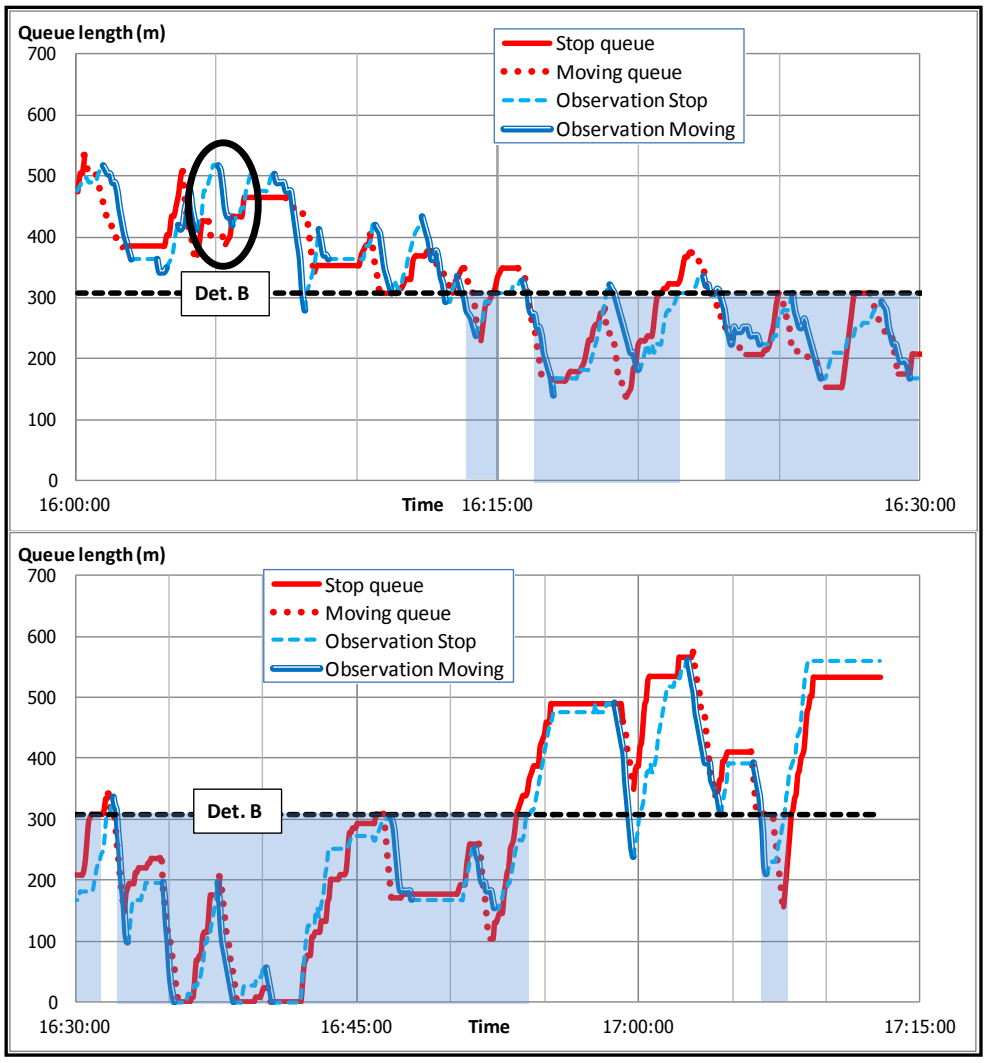


รูปที่ 6.16 การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 1 (ใช้กราฟ q-k) เปรียบเทียบกับแถวคอยที่วัดจริง

สรุปแล้วในช่องจราจรที่ 1 ได้ค่า MAPE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 21.94% ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น ส่วนในกรณี

ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 4.92% ซึ่งก็น้อยลงเช่นเดียวกัน และ ได้ค่า RMSE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 36 เมตร ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 28 เมตร ซึ่งผลที่ได้ก็เป็นไปในแนวทางเดียวกับค่า MAPE

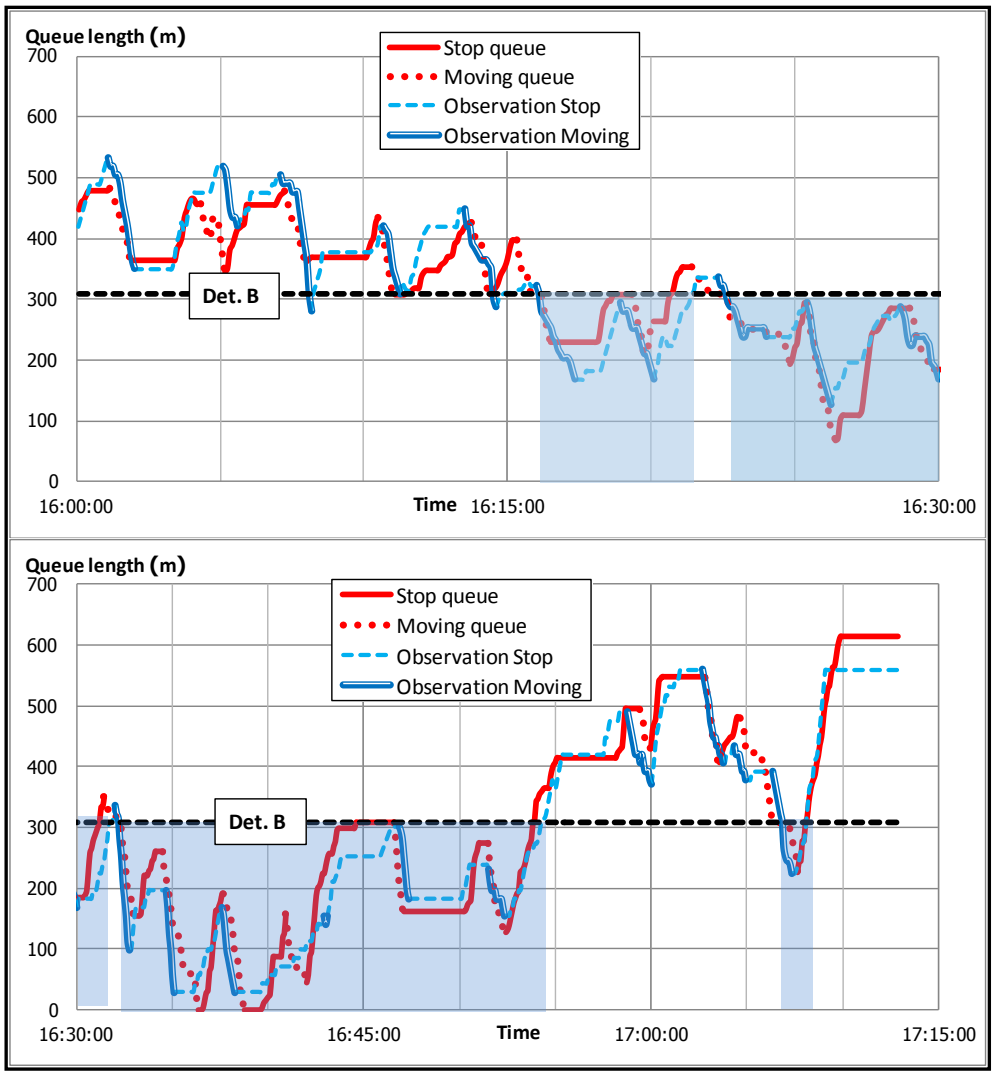
ต่อมาในช่องจราจรที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 6.17 พบความคลาดเคลื่อนที่ไม่เป็นแนวโน้มกับแถวคอยวัดจริงอยู่ 1 จุดคือ เวลาประมาณ 16:05 น. พบแถวคอยจากการประมาณไม่ได้เพิ่มขึ้นเหมือนแถวคอยวัดจริงมากนัก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนช่องจราจรแล้วเข้ามาต่อเป็นแถวคอย ในขณะที่เครื่องตรวจวัดที่ตำแหน่ง C วัดปริมาณจราจรได้เท่ากับศูนย์เช่นเดียวกับช่องจราจรที่ผ่านมา



รูปที่ 6.17 การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในช่องจราจรที่ 2 (ใช้กราฟ q-k) เปรียบเทียบกับแถวคอยที่วัดจริง

สรุปแล้วในช่องจราจรที่ 2 ได้ค่า MAPE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 23.78% ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 7.92% และ ได้ค่า RMSE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 47 เมตร ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 51 เมตร ซึ่งทุกกรณีได้ค่าที่ใกล้เคียงกว่ากรณีที่ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น

ในการประมาณ 2 ช่องจราจรไปตรงดังแสดงในรูปที่ 6.18 พบความคลาดเคลื่อนที่ไม่เป็นแนวโน้มกับแถวคอยวัดจริงอยู่ 1 จุดคือในช่วงเวลาประมาณ 16:15 น. พบแถวคอยจากการประมาณมีค่าเกินกว่าแถวคอยวัดจริง สิ่งที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากการได้ค่าคลื่นกระแทกที่ทำให้รถหยุดที่มากกว่าความเป็นจริง



รูปที่ 6.18 การประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B รวม 2 ช่องจราจรไปตรง (ใช้กราฟ q-k) เปรียบเทียบกับแถวคอยที่วัดจริง

สรุปแล้วในการประมาณรวม 2 ช่องจราจรไปตรง ได้ค่า MAPE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 31.31% ซึ่งคลาดเคลื่อนมากกว่าการพิจารณาก่อนหน้า ส่วนในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 7.24% ซึ่งไม่ต่างกับการพิจารณาก่อนหน้านี้ และ ได้ค่า RMSE ในกรณีไม่ล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 45 เมตร ในกรณีล้นตำแหน่ง B เท่ากับ 40 เมตร ซึ่งคลาดเคลื่อนมากกว่าและไม่ต่างกับการพิจารณาก่อนหน้านี้เช่นเดียวกัน

สำหรับการสรุปผลการเปรียบเทียบการประมาณแถวคอยที่ได้จากการประมาณกับแถวคอยที่วัดจริง ทั้งกรณีแยกช่องและรวม 2 ช่องจราจร ทั้งวิธีนำข้อมูลจราจรมาใช้แบบทันกาลและใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น โดยใช้ค่า MAPE สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1 และค่า RMSE ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 สรุปค่า MAPE ที่เกิดขึ้นจากการประมาณความยาวแถวคอยในแต่ละกรณีของวิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

วิธีการ / การประมาณ	ไม่ล้นตำแหน่ง B (% MAPE)		ล้นตำแหน่ง B (% MAPE)	
	ไม่ใช้กราฟ q-k	ใช้กราฟ q-k	ไม่ใช้กราฟ q-k	ใช้กราฟ q-k
ช่องจราจรที่ 1	22.64	21.94	7.68	4.92
ช่องจราจรที่ 2	27.61	23.78	8.98	7.92
รวม 2 ช่องจราจรไปตรง	27.44	31.31	7.39	7.24

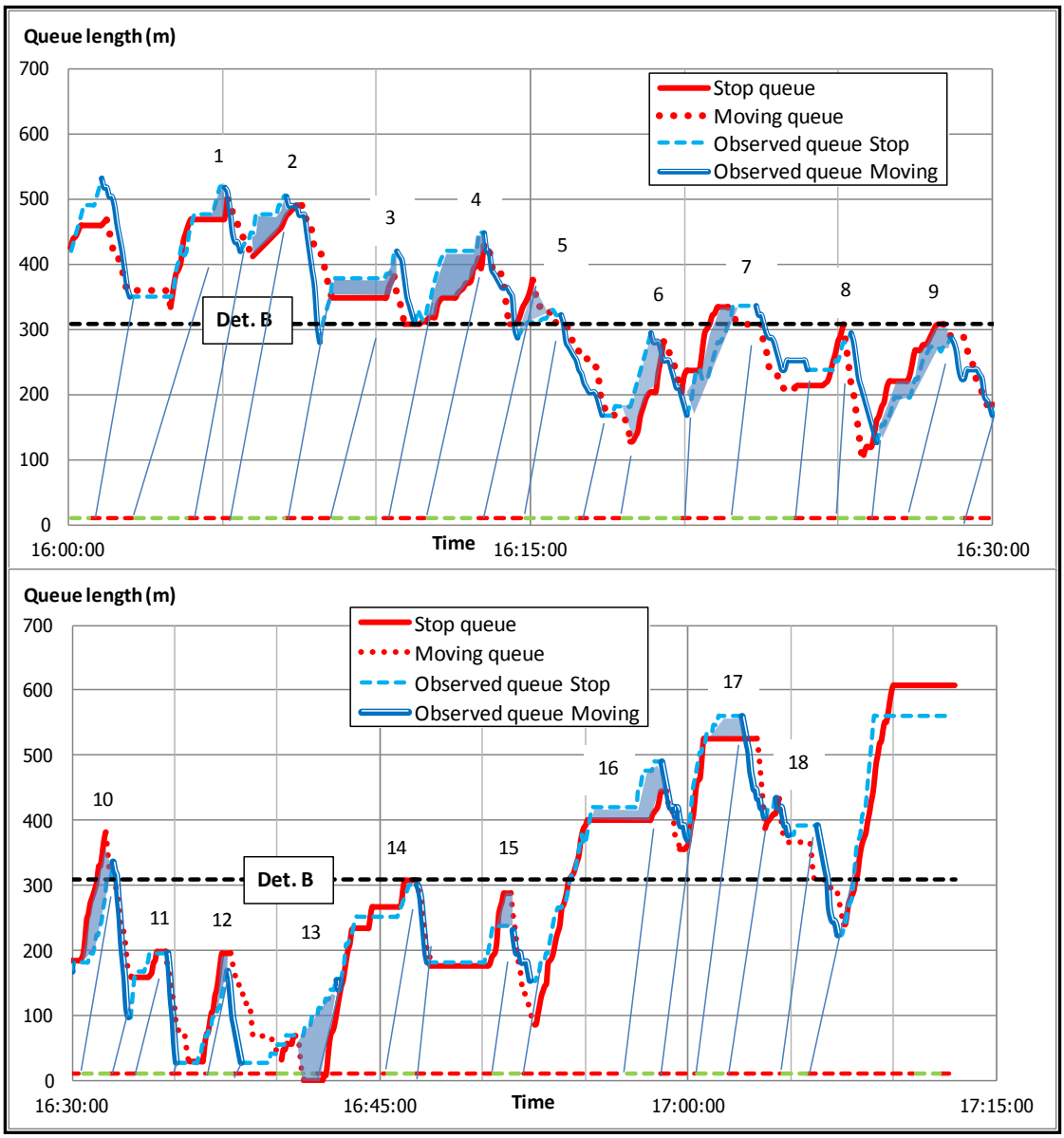
ตารางที่ 6.2 สรุปค่า RMSE ที่เกิดขึ้นจากการประมาณความยาวแถวคอยในแต่ละกรณีของวิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

วิธีการ / การประมาณ	ไม่ล้นตำแหน่ง B (RMSE (m))		ล้นตำแหน่ง B (RMSE (m))	
	ไม่ใช้กราฟ q-k	ใช้กราฟ q-k	ไม่ใช้กราฟ q-k	ใช้กราฟ q-k
ช่องจราจรที่ 1	40	36	42	28
ช่องจราจรที่ 2	50	47	45	51
รวม 2 ช่องจราจรไปตรง	43	45	39	40

6.3.3 การเปรียบเทียบเฉพาะส่วนแถวคอยหยุด

ในหัวข้อนี้ได้เลือกการประมาณแถวคอยในกรณีที่ใช้ข้อมูลจราจรแบบทันกาล รวม 2 ช่องจราจรไปตรง และพิจารณาเฉพาะแถวคอยหยุด ซึ่งเป็นการสะสมท้ายแถว เกิดเป็นแถวคอยที่หยุดอยู่บนช่วงถนน การพิจารณานี้จะแสดงถึงการสะสมของรถบนช่วงถนนซึ่งความ

ถูกต้องของการประมาณจะสะท้อนถึงความถูกต้องของความยาวแถวคอยสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ส่วนการเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงก็เป็นไปตามบทที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 6.19 และตารางที่ 6.3

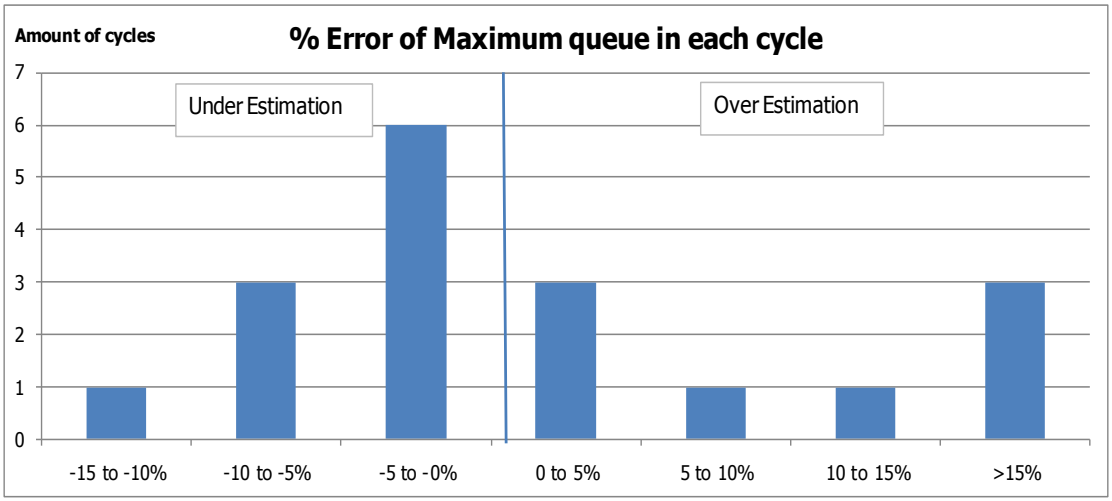


รูปที่ 6.19 การเปรียบเทียบการประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกกับแถวคอยวัดจริง ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ

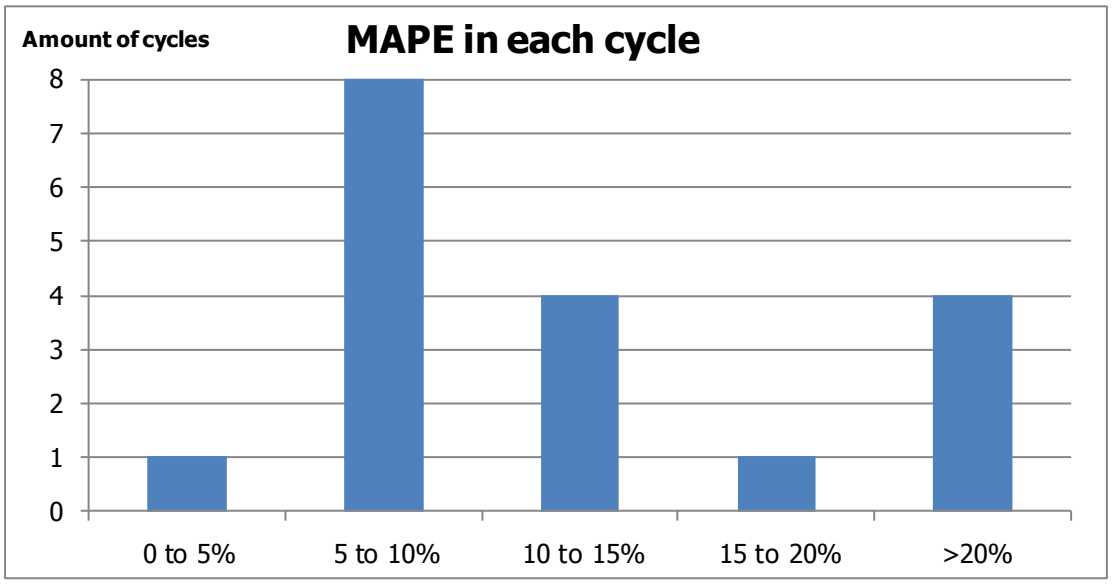
ตารางที่ 6.3 ความยาวแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

Cycle	Max. Estimated queue (m)	Max. Observed queue (m)	Difference (m) and % Error		Estimation (Over / Under)	MAPE (%)
1	499	518	-19	-3.67%	Under	7.30
2	490	504	-14	-2.78%	Under	7.70
3	381	420	-39	-9.29%	Under	11.84
4	428	448	-20	-4.46%	Under	7.18
5	376	322	54	16.77%	Over	7.63
6	281	294	-13	-4.42%	Under	17.74
7	334	336	-2	-0.60%	Under	14.98
8	307	294	13	4.42%	Over	9.48
9	308	287	21	7.32%	Over	14.43
10	382	336	46	13.69%	Over	22.67
11	198	196	2	1.02%	Over	13.61
12	196	168	28	16.67%	Over	21.16
13	68	70	2	-2.86%	Under	21.33
14	308	301	7	2.33%	Over	5.36
15	288	231	57	24.68%	Over	7.03
16	445	490	-45	-9.18%	Under	10.45
17	526	560	-34	-6.07%	Under	4.63
18	433	434	-1	-0.23%	Under	7.38

จากรูปที่ 6.19 และ ตารางที่ 6.3 สามารถสรุปร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุด และ ค่า MAPE ที่เกิดขึ้น ในแต่ละรอบสัญญาณไฟได้ดังรูปที่ 6.20 และ 6.21 ตามลำดับ



รูปที่ 6.20 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

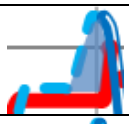
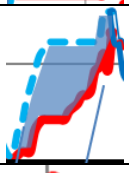
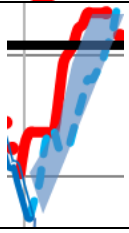


รูปที่ 6.21 ค่า MAPE ที่เกิดขึ้น ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

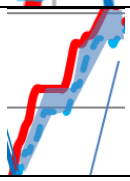
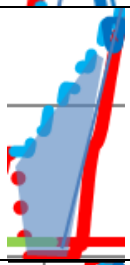
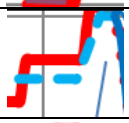
จากรูปที่ 6.20 และ 6.21 พบว่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุดอยู่ในช่วง -9 ถึง 24% ส่วนใหญ่ได้การประมาณที่น้อยกว่า (Under estimation) แถวคอยวัดจริงระหว่าง 0-10% และ จากตารางที่ 6.3 เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากงานวิจัยของ Liu (2009) ดังตารางที่ 2.1 กับ ค่าของความคลาดเคลื่อน (Difference) ของแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบ

สัญญาณไฟ ที่นำมาแปลงเป็นค่า MAPE พบว่า ได้ค่าเท่ากับ 7.25% ซึ่งมีความใกล้เคียงกว่างานวิจัยของ Liu (2009) ที่ได้ค่าเท่ากับ 15% สำหรับค่า MAPE ที่เกิดขึ้นตลอดช่วงที่เกิดแถวคอยหยุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ พบว่า ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 4 ถึง 22% ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 5-10% สำหรับการหาผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟสามารถแสดงผลในตารางที่ 6.4

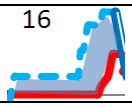
ตารางที่ 6.4 ผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ระหว่างการประมาณกับแถวคอยวัดจริง

Cycle	Shape	Initial estimated queue (m)	Initial observed queue (m)	Difference in initial queue (m)	Difference in maximum queue (m)
1		469	476	-7	-19
2		412	448	-36	-14
3		348	378	-30	-39
4		312	315	-3	-20
5		312	287	25	54
6		128	182	-54	-13
7		237	168	69	-2

ตารางที่ 6.4 ผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ระหว่างการประมาณกับแถวคอยวัดจริง (ต่อ)

Cycle	Shape	Initial estimated queue (m)	Initial observed queue (m)	Difference in initial queue (m)	Difference in maximum queue (m)
8		250	238	12	13
9		221	196	25	21
10		184	182	2	46
11		159	154	5	2
12		29	28	1	28
13		32	56	-24	2
14		267	252	15	7
15		253	238	15	57

ตารางที่ 6.4 ผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ระหว่างการประมาณกับแถวคอยวัดจริง (ต่อ)

Cycle	Shape	Initial estimated queue (m)	Initial observed queue (m)	Difference in initial queue (m)	Difference in maximum queue (m)
16		401	420	-19	-45
17		526	526	0	-34
18		406	420	-14	-1

จากตารางที่ 6.4 พบว่า ทั้ง 18 รอบสัญญาณไฟ มี 5 รอบสัญญาณไฟ (ตารางสีทึบ)ที่ให้ผลการประมาณที่ใกล้เคียงแล้ว ส่วนที่เหลืออีก 13 รอบ พบว่า มีเพียง 7 รอบสัญญาณไฟเท่านั้น (รอบที่ 1-4 6 9 และ 16 ซึ่งมีตัวเลขที่ขีดเส้นไว้) ที่เมื่อยุบส่วนบนกับส่วนล่างของพื้นที่แรเงาที่มีความคลาดเคลื่อนมาชนกัน สามารถช่วยในการประมาณแถวคอยให้มีความใกล้เคียงได้มากขึ้น สำหรับรอบสัญญาณไฟที่เหลือได้รูปแรเงาที่แตกต่างจากตัวอย่างในรูปที่ 5.16 ยกตัวอย่าง เช่น (1) รอบที่ 5 มีการประมาณแถวคอยที่มากเกินจริง (2) รอบที่ 10 มีการประมาณแถวคอยที่มากเกินจริง แม้ว่าตอนเริ่มต้นการประมาณจะเท่ากับของจริง ซึ่งทั้ง (1) และ (2) มีสาเหตุมาจากความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกที่ได้ และ (3) รอบที่ 13 แถวคอยที่วัดจริงไม่สามารถเคลื่อนตัวออกจากทางแยกได้แม้ว่าได้รับสัญญาณไฟเขียว เนื่องจากมีแถวคอยล้นในช่วงถนนก่อนหน้า แต่แถวคอยจากการประมาณยังลดลงได้ตามปกติ แต่อย่างไรก็ดี เมื่อเทียบกับวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม พบว่า วิธีการนี้เริ่มมีความถูกต้องใกล้เคียงกว่าวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม

6.4 สรุปผลการประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

การประมาณความยาวแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก จะพิจารณาลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้นบนช่วงถนนนี้เป็นค่าเฉลี่ยหรือหาตัวแทนของลักษณะการจราจร จากนั้นได้ตั้งสมมติฐานว่าความเร็วที่ผ่านเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง B และ C ถ้ารถคันหลังเร็วกว่ารถคันหน้าสามารถแซงกันได้ หากไม่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ดังกล่าว ก็จะเกิดคลื่นกระแทกย่อยๆขึ้นมา ซึ่งจะทำให้การประมาณแถวคอยทำได้ยากขึ้น การประมาณแถวคอยในวิธีนี้จะแบ่ง

ออกเป็น 2 วิธีย่อยคือ (1) ข้อมูลจราจรแบบทันกาล (ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น) และ (2) ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น

วิธีการใช้ข้อมูลจราจรแบบทันกาล จะนำข้อมูลปริมาณจราจรกับความหนาแน่นทุก 5 วินาที มาคำนวณหาคลื่นกระแทกโดยทันที แต่สำหรับการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น จะนำค่าปริมาณจราจรที่เก็บได้ทุก 5 วินาที มาแทนค่าในสมการแบบจำลองที่ได้จากกราฟแล้วหาค่าความหนาแน่นออกมา การประมาณได้แบ่งเป็น 2 กรณีด้วยกัน ทั้งกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นและไม่ล้นตำแหน่ง B และประมาณทั้งแยกช่องและรวม 2 ช่องจราจรไปตรง

ผลจากการประมาณแถวคอย ทั้งกรณีที่ใช้ข้อมูลจราจรแบบทันกาล (ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น) และ ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น แล้วใช้ค่า MAPE ในการตรวจความคลาดเคลื่อน ในกรณีที่ท้ายแถวคอยไม่ล้นตำแหน่ง B พบว่าทั้งช่องจราจรที่ 1 และ 2 วิธีการใช้ข้อมูลจราจรแบบทันกาล มีความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าวิธีการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น (22.64% และ 27.61% ตามลำดับ) เทียบกับ (21.94% และ 23.78% ตามลำดับ) โดยมีประเด็นหลักที่เป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนคือ (1) ความแปรผันของค่าคลื่นกระแทก (2) ความแม่นยำในการคำนวณได้ค่าคลื่นกระแทก 13 ทำให้แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ไม่สามารถลดลงมาถึงแถวคอยวัดจริงได้ และ (3) ในการคิดรวม 2 ช่องจราจรไปตรง แถวคอยที่วัดจริงทั้ง 2 ช่องจราจรมีความแตกต่างกัน จึงทำให้ได้แถวคอยเฉลี่ยที่ตรงกับการประมาณไม่ได้มากนัก สำหรับการคิดรวม 2 ช่องจราจรไปตรง ไม่ได้ช่วยในการประมาณแถวคอยให้มีความถูกต้องใกล้เคียงมากขึ้นเหมือนกับวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม อีกทั้งวิธีใช้กราฟยังมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าไม่ใช้กราฟ สาเหตุที่เกิดขึ้นมาจากการรวมข้อมูลปริมาณจราจรและความหนาแน่น จากแยกช่องเป็นรวม 2 ช่อง ทำให้เกิดความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกมากขึ้น

ในกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B จากตารางที่ 6.1 พบว่าค่า MAPE ทั้งช่องจราจรที่ 1 และ 2 มีค่าต่ำ ทั้งในวิธีที่ใช้และไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น (ไม่ถึง 10%) ซึ่งมีสาเหตุคล้ายกับวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม จึงทำให้ต้องคิดค่า RMSE เพิ่มขึ้นมา ผลของค่านี้ พบว่า ค่า RMSE ในช่วงที่ล้นตำแหน่ง B มีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ล้นมากขึ้น และ มีแนวโน้มเป็นไปในแนวทางเดียวกับค่า MAPE โดยได้ค่าอยู่ในช่วง 30 – 50 เมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกว่าวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม อย่างไรก็ดีในช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอย

ล้นตำแหน่ง B ยังมีจุดที่เห็นความคลาดเคลื่อนอย่างเห็นได้ชัดคือ (1) ความแม่นยำในการคำนวณได้ค่าคลื่นกระแทก 13 ทำให้แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ไม่สามารถลดลงมาถึงแถวคอยวัดจริงได้ (2) ค่าคลื่นกระแทกบางค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้ไม่สามารถเพิ่มค่าคลื่นกระแทกสะสมให้แถวคอยยาวขึ้นได้ (3) การที่ได้ค่าคลื่นกระแทกเป็นศูนย์ และ การได้ค่าคลื่นกระแทกที่ทำให้แถวคอยลดลงสะสมได้ช้ากว่าความเป็นจริง และ (4) ความแปรผันของค่าคลื่นกระแทก

นอกจากนี้ในการเปรียบเทียบเฉพาะส่วนแถวคอยหยุด พบว่า ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุดส่วนใหญ่ อยู่ในช่วงการประมาณที่น้อยกว่า (Under estimation) แถวคอยที่วัดจริง ในช่วงระหว่าง 0-10% สำหรับผลของค่า MAPE ที่เกิดขึ้น พบว่าความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5-10% และ จากการที่ได้ลองปรับแก้โดยปรับจุดเริ่มต้นของแถวคอยหยุดให้เท่ากันโดยหาผลต่างของจุดเริ่มต้นการเกิดแถวคอยหยุดและแถวคอยที่ยาวที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ผลที่ได้แตกต่างกันมาก แต่น้อยกว่าวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการนี้เริ่มมีความถูกต้องใกล้เคียงกว่าวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม

บทที่ 7
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการนำข้อมูลจราจรพื้นฐานที่เก็บมาจากเครื่องตรวจวัดการจราจรในภาคสนามมาประมาณความยาวแถวคอยบนช่วงถนนที่มีสัญญาณไฟ โดยประยุกต์ใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม และ วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก จากการทบทวนผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการประมาณแถวคอยโดยใช้ 2 ทั้งวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้น มีการใช้ข้อมูลจราจรที่ดีและละเอียดกว่าข้อมูลจราจรพื้นฐาน แต่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำทั้ง 2 วิธี มาเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะประมาณความยาวแถวคอยทั้ง 2 วิธี และ เปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงกับแถวคอยที่วัดจริงจากการสังเกตในภาคสนาม โดยใช้ข้อมูลจราจรพื้นฐานทุก 5 วินาที อันประกอบไปด้วย ปริมาณจราจร ความเร็ว และ ความหนาแน่น รวมไปถึงการสร้างความเข้าใจในพฤติกรรมในการเกิดแถวคอยตามการเปลี่ยนแปลงของจังหวะสัญญาณไฟ นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเพิ่มเติมว่า เมื่อแถวคอยที่ยาวล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร จะสามารถประมาณแถวคอยที่ยาวล้นต่อไปได้ถูกต้องใกล้เคียงมากน้อยเพียงใด

วิธีการดำเนินงานในแต่ละวิธี เริ่มจากการเก็บข้อมูลจราจรพื้นฐานจากเครื่องตรวจวัดการจราจรทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่รถผ่านเส้นหยุดเข้าสู่ทางแยก (A) ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงถนน (B) และ ตำแหน่งรถเข้าสู่ช่วงถนน (C) โดยที่ตำแหน่ง B เป็นตำแหน่งที่ใช้ตรวจสอบการล้นของแถวคอย ต่อมาตรวจสอบพร้อมทั้งระบุช่วงเวลาที่แถวคอยล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ B โดยใช้วิธีการของ Geroliminis (2009) ถ้าแถวคอยยังไม่ล้นตำแหน่ง B ก็สามารถประมาณแถวคอยระหว่างตำแหน่ง A กับ B ได้ตามปกติ แต่หากแถวคอยล้นตำแหน่ง B ก็จะพิจารณาการประมาณระหว่างตำแหน่ง B กับ C เพิ่มขึ้นมา ในการประมาณจะทำทั้งแยกช่องจราจรและรวม 2 ช่องจราจรที่ไปตรง จากนั้นก็นำผลที่ได้ในแต่ละกรณีมาเปรียบเทียบความถูกต้องใกล้เคียงกับแถวคอยที่ได้จากการสังเกตในภาคสนาม ทั้งตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลและเฉพาะช่วงที่เกิดแถวคอยหยุดตั้งแต่เริ่มต้นไปจนถึงความยาวแถวคอยสูงสุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ โดยใช้ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Average Percentage Error; MAPE)

เป็นแกนหลัก พร้อมทั้งอภิปรายเพื่อแสดงความเข้าใจในพฤติกรรมการเกิดแถวคอยและสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ถนนพระราม 6 ช่วงระหว่างแยกพิบูลย์วัฒนากับแยกประดิพัทธ์ เป็นพื้นที่ศึกษา โดยมุ่งเน้นช่วงเวลาที่สภาพการจราจรหนาแน่นคือระหว่างเวลา 16:00-17:15 น. ของวันศุกร์ที่ 23 กันยายน พ.ศ.2554

การประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมเริ่มต้นด้วยการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้าออกไป โดยพิจารณาเวลาในการเดินทางของรถระหว่างตำแหน่ง A กับ B ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นช่วงเวลาสำหรับการเลื่อนกราฟ จากนั้นได้พิจารณาพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร โดยการปรับแก้สัดส่วนปริมาณรถเข้าให้เท่ากับรถออกในแต่ละช่องจราจร ผลที่ได้จากการประมาณความยาวแถวคอย พบว่า ได้การประมาณทั้งมากกว่าและน้อยกว่าแถวคอยวัดจริง การประมาณแถวคอยที่มากกว่าแถวคอยวัดจริง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่มีรถที่ติดค้างอยู่ในช่วงถนนที่พิจารณาแต่ไม่ได้ติดอยู่ในแถวคอย ส่วนการประมาณที่น้อยกว่าแถวคอยวัดจริง ซึ่งมีสาเหตุมาจากพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจรเป็นหลัก และมีปัญหาเรื่องของระยะห่างระหว่างตำแหน่ง A และ B ที่จะให้ผลที่แตกต่างจากความเป็นจริง ยกตัวอย่างเช่นเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว แถวคอยที่ได้จากการประมาณจะลดลงทันที เนื่องจากมีรถออกจากทางแยก แต่แถวคอยจริงนะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งถึงจะลดลงเป็นแถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ได้

ผลการเปรียบเทียบแถวคอยที่ได้จากการประมาณกับแถวคอยจากการสังเกตในภาคสนามที่ได้ในวิธีการนี้ พบว่า ในกรณีที่ไม่ล้นตำแหน่ง B (ช่วง A-B) มีความคลาดเคลื่อนมาก (มากกว่า 40%) โดยเฉพาะในช่องจราจรที่ 3 จะมีความเคลื่อนมากถึง 88.96% เนื่องจากเป็นช่องที่ไว้ให้สำหรับรถเลี้ยวขวาเท่านั้น เป็นช่องจราจรที่มีรถที่เคลื่อนตัวอยู่ระหว่างตำแหน่ง A และ B โดยที่ยังไม่ได้ติดอยู่ในแถวคอย และเป็นช่องจราจรที่มีการเปลี่ยนช่องอยู่ตลอด เพราะรถส่วนใหญ่ชอบที่จะอยู่ในช่องนี้ แล้วเปลี่ยนช่องจราจรเข้าช่องที่ 2 ก่อนที่จะออกจากทางแยก สำหรับการคิดรวม 2 ช่องจราจรที่ไปตรง พบว่าได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (51.32%) เนื่องจากได้มีการตัดปัจจัยในเรื่องของการเปลี่ยนช่องจราจรในระหว่างช่องจราจรที่ 1 และ 2 ส่วนในกรณีที่ท้ายแถวคอยล้นเกินตำแหน่ง B (ช่วง B-C) พบว่า ความคลาดเคลื่อนที่ได้มีไม่มากนัก (ไม่ถึง 20%) และในกรณีคิดรวม 2 ช่องจราจรที่ไปตรง พบว่า ไม่มีผลทำให้ลดความคลาดเคลื่อนได้มากนัก นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้สังเกตถึงความคลาดเคลื่อนในการประมาณที่มากจะเกิดขึ้นในช่วงที่

แถวคอยมีค่าน้อย และเส้นกราฟระหว่างการประมาณกับการวัดจริง มีการเหลื่อมกันอยู่ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงคิดว่า อาจจะต้องลองปรับแก้ในเรื่องของการเลื่อนกราฟความยาวแถวคอยให้ตรงกับแถวคอยวัดจริงให้มากขึ้น พบว่า การเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมกลับออกไป 55 วินาที สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากเดิมได้เป็นอย่างมาก โดยสามารถลดค่า MAPE จาก 51% เหลือเพียง 33% ได้

ส่วนการเปรียบเทียบเฉพาะส่วนของแถวคอยหยุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ รวม 18 รอบ พบว่า ความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุดส่วนใหญ่ อยู่ในช่วงการประมาณที่มากกว่า (Over estimation) แถวคอยที่วัดจริงในช่วงระหว่าง 0-5% สำหรับค่า MAPE ที่เกิดขึ้น พบว่า ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 5-15%

การประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกทั้งกรณีที่ล้นและไม่ล้นตำแหน่ง B ได้เพิ่มการพิจารณาย่อยอยู่ 2 ประการคือ (1) การใช้ข้อมูลจราจรแบบทันกาล (ไม่ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น) (2) การใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น โดยใช้ค่าการจราจรที่เก็บได้ทุก 5 วินาที อย่างไรก็ดีก็ได้มีการกำหนดสมมุติฐานเบื้องต้นที่ว่า ความเร็วที่ผ่านเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง B และ C ถ้ารถคันหลังเร็วกว่ารถคันหน้าสามารถแซงกันได้ และถ้ามีรถจากช่องจราจรอื่นเข้ามาแทรกก็สมมุติให้มีความเร็วเท่ากับรถที่อยู่ในช่องปกติ เพื่อไม่ให้เกิดคลื่นกระแทกย่อยๆขึ้นระหว่างช่วงถนน

การประมาณความยาวแถวคอยในช่วงที่ไม่ล้นตำแหน่ง B (ช่วง A-B) ในการใช้ข้อมูลจราจรแบบทันกาล พบความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่เกิดจากความแปรผัน และ การได้ค่าคลื่นกระแทกเป็นศูนย์ ส่วนการพิจารณาใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น พบว่าความแปรผันเกิดขึ้นน้อยลง แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนอันเกิดมาจากการที่ได้ค่าคลื่นกระแทกเป็นศูนย์อยู่บ้าง และลักษณะการเพิ่มขึ้นของแถวคอยหยุด (Stopping queue) ที่เร็วกว่า หรือการลดลงของแถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ที่น้อยเกินแถวคอยวัดจริง นอกจากนี้ก็สังเกตได้ว่าการประมาณแถวคอยในช่องจราจรที่ 2 มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าช่องจราจรที่ 1 เนื่องจากว่าช่องจราจรที่ 2 เป็นช่องจราจรที่อยู่ ณ ตำแหน่งตรงกลาง ซึ่งได้ผลกระทบจากการเปลี่ยนช่องจราจรจากช่องจราจรที่ 1 และ 3 อยู่ตลอดเวลา สำหรับการคิดรวม 2 ช่องจราจรไปตรง พบว่า ไม่ได้ช่วยในการประมาณแถวคอยให้ได้ใกล้เคียงมากขึ้นเหมือนกับวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมมากนัก อีกทั้งการประมาณโดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความ

หนาแน่น ยังได้ผลที่คลาดเคลื่อนมากกว่าไม่ใช้อีกด้วย เพราะการรวมข้อมูลปริมาณจราจร และความหนาแน่น ทำให้เกิดความแปรผันของค่าคลื่นกระแทกมากขึ้น

ส่วนการประมาณความยาวแถวคอยในช่วงที่ล้นตำแหน่ง B (ช่วง B-C) พบว่า ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนช่องจราจรแล้วเข้ามาต่อเป็นแถวคอย ในขณะที่เครื่องตรวจวัดที่ตำแหน่ง C วัดปริมาณจราจรได้เท่ากับศูนย์ และ การเพิ่มขึ้นของแถวคอยหยุดที่เร็วกว่าแถวคอยวัดจริง ในช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอยล้นตำแหน่ง B การใช้กราฟความความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร กับ ความหนาแน่น สามารถช่วยในการประมาณแถวคอยให้ใกล้เคียงมากขึ้นได้ โดยเฉพาะในช่องจราจรที่ 1 แต่สำหรับการคำนวณรวม 2 ช่องจราจรไปตรง ไม่ได้ช่วยในการประมาณให้ใกล้เคียงมากขึ้นมากนัก

ส่วนการเปรียบเทียบเฉพาะส่วนของแถวคอยหยุด ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ รวม 18 รอบ พบว่า ความคลาดเคลื่อนของแถวคอยที่มากที่สุดส่วนใหญ่ อยู่ในช่วงการประมาณที่น้อยกว่า (Under estimation) แถวคอยที่วัดจริงในช่วงระหว่าง 0-10% สำหรับค่า MAPE ที่เกิดขึ้น พบว่า ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5-10%

ผลจากการประมาณความยาวแถวคอยทั้งวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม และ การวิเคราะห์คลื่นกระแทก พบว่า การประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกมีความแม่นยำกว่าการประมาณโดยใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม สิ่งที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจาก (1) วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกจะแสดงค่าของแถวคอยที่เหมือนกับแถวคอยที่วัดจริงจากการสังเกตในภาคสนาม ทั้งในส่วนแถวคอยหยุด (Stopping queue) ที่ทำให้แถวคอยยาวขึ้น และ แถวคอยเคลื่อนที่ (Moving queue) ที่ทำให้แถวคอยลดลง ผลคือ ได้การประมาณที่ไม่แตกต่างกันเกินไปกว่าวิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม (2) วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมจะแสดงค่าของแถวคอยที่ไม่เหมือนกับแถวคอยที่วัดจริงจากการสังเกตในภาคสนาม เนื่องจากเป็นเพียงการดูปริมาณรถสะสมระหว่างช่วงถนนที่สนใจเท่านั้น โดยไม่ได้พิจารณาจำนวนรถที่วิ่งติดค้างอยู่ที่ยังไม่ได้ติดเป็นแถวคอย อีกทั้งในเรื่องของการเปลี่ยนช่องจราจรก็เป็นอุปสรรคในการคำนวณในวิธีนี้เป็นอย่างมาก และ (3) วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสม ถ้าเลื่อนกราฟไม่เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้นๆ

ประโยชน์ที่ได้จากการประมาณแถวคอยสำหรับในงานวิจัยนี้ไม่ใช่เฉพาะเพียงแค่หาวิธีการประมาณแถวคอยที่ช่วยให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แต่การประมาณ

แถวคอยจะช่วยในการหาความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้นของรถที่อยู่ในช่วงถนน ความล่าช้าสามารถแปลงค่าได้เป็นเวลาที่เกิดความล่าช้า (Time delay) ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งในการหาเวลาเดินทางของรถในช่วงถนนในเมือง (Arterial) ที่มีสัญญาณไฟ เวลาในการเดินทางก็เป็นประโยชน์ในการรายงานการจราจร หรือ เป็นข้อมูลการเดินทางแบบ ณ เวลาปัจจุบัน (Real time) แก่ผู้ขับขี่ เพื่อประโยชน์ในการวางแผน เลือกใช้ หรือ หลีกเลี่ยงเส้นทางต่อไป นอกจากนี้การประมาณแถวคอยยังช่วยในการจัดการจราจรเพื่อให้สภาพการจราจรเป็นไปได้อย่างคล่องตัวที่สุด โดยเฉพาะในช่วงเวลาติดขัด แม้ว่าในงานวิจัยนี้ ใช้พื้นที่ศึกษาเพียง 1 ช่วงถนน แต่ผลการศึกษาวิจัยที่ได้มานั้นสามารถสะท้อนให้เห็นถึงพฤติกรรมการเกิดแถวคอยในช่วงถนนอื่นๆ และ นำกระบวนการการประมาณความยาวแถวคอยให้มีความถูกต้องใกล้เคียงไปใช้ในช่วงถนนอื่นๆได้ไม่มากก็น้อย

7.2 ปัญหาและอุปสรรค

การประมาณความยาวแถวคอยที่ผ่านมาพบว่าในการประมาณแถวคอยนั้นได้เกิดปัญหาบางประการที่ทำให้การประมาณความยาวแถวคอยมีความแตกต่างจากทฤษฎีการจราจรที่เคยศึกษามาในแต่ละวิธีการและในแต่ละกรณีดังต่อไปนี้

7.2.1 วิธีกราฟปริมาณการจราจรสะสม

สิ่งที่เป็นอุปสรรคของวิธีการใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมที่เห็นได้ชัด คือ การเปลี่ยนช่องจราจรของรถอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้การประมาณแถวคอยโดยวิธีนี้ไม่สามารถทราบแถวคอยที่จอดอยู่จริง เนื่องจากในช่วงถนนที่พิจารณา มีจำนวนรถที่ติดค้างอยู่ โดยที่ยังไม่ได้ติดแถวคอย

ในการเลื่อนกราฟปริมาณจราจรสะสมเป็นอุปสรรคต่อมาในการประมาณแถวคอยโดยใช้วิธีนี้ ตามทฤษฎีได้ระบุไว้ว่า การเลื่อนกราฟจะพิจารณาเวลาเดินทางที่รถใช้ความเร็วอิสระ (Free flow speed) ในการเคลื่อนตัวระหว่างจุดเข้ากับออก แต่ในงานวิจัย พบว่าระยะห่างระหว่างทั้ง 2 ตำแหน่งนี้ ห่างกันถึง 300 เมตร และสภาพการจราจรมีความแปรผันและติดขัด ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเวลาเดินทางระหว่าง 2 ตำแหน่งตามความเป็นจริงในแต่ละรอบสัญญาณไฟแล้วมาเฉลี่ยกันจนได้ค่ากลางที่ใช้สำหรับเลื่อนกราฟ แต่อย่างไรก็ดี ผลการประมาณที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสภาพการจราจรที่มีความแปรผันกันมากในช่วงทีเก็บข้อมูล ดังนั้นหากได้ช่วงเวลาที่มีสภาพการจราจรที่เหมือนกันตลอดช่วงเวลา ก็จะได้การประมาณที่ใกล้เคียงยิ่งขึ้น

ผลการประมาณในตอนที่ยังไม่ได้ปรับแก้ใดๆ พบว่า ในบางช่องจราจร กราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้าลดลงน้อยกว่ากราฟขาออกอยู่เกือบตลอดช่วงเวลาเก็บข้อมูล และบางช่องจราจรได้กราฟสะสมขาเข้ามากกว่าขาออกอยู่พอสมควร ทั้งๆที่ในบางช่วงเวลาแถวคอยที่วัดจริง มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่า รถมีการเปลี่ยนช่องจราจรอยู่ตลอดเวลา ตลอดช่วงถนนที่พิจารณา

หลังจากได้ปรับแก้สัดส่วนปริมาณรถที่เข้าสู่ตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ตำแหน่ง B ให้เท่ากับตำแหน่ง A พบว่า กราฟปริมาณจราจรสะสมขาเข้าที่ได้เริ่มใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้น แต่พอมาพิจารณาหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า MAPE ก็พบว่ายังได้ค่าร้อยละที่มากอยู่โดยเฉพาะในช่องจราจรที่ 3 มีค่า 88% เนื่องจากเป็นช่องที่ 3 เป็นช่องสำหรับรถเลี้ยวขวา และอยู่คนละจังหวะสัญญาณไฟ (Phase) กับรถที่ไปตรง ดังนั้นรถที่ไปตรงที่เป็นรถส่วนใหญ่จะพยายามเบี่ยงเข้ามาในช่องที่ 2 ในกรณีนี้จึงสรุปได้ว่าจำนวนรถที่เปลี่ยนช่องจราจรมีผลต่อความคลาดเคลื่อนในการประมาณแถวคอย

7.2.2 วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก

สิ่งที่เป็นอุปสรรคของวิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกที่เห็นได้ชัดคือในระหว่างช่วงถนนที่พิจารณา สภาพจราจรมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในบางช่วงเวลา เช่นมีรถหยุดกะทันหันซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นรถแท็กซี่ หรือ รถประจำทางที่รับส่งผู้โดยสารเป็นต้น ทำให้เกิดคลื่นกระแทกย่อยๆเพิ่มขึ้นมาในช่วงถนน

ในตอนแรกที่ประมาณแถวคอยโดยใช้ข้อมูลจราจรแบบทันกาล (ไม่ได้ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่น) พบว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีมากคลื่นกระแทกที่ได้มีการแปรผันสูง โดยเฉพาะการได้ค่าคลื่นกระแทกที่เป็นศูนย์ เพราะในงานวิจัยนี้ได้คำนวณหาค่าความหนาแน่นโดยการวัดความเร็วจากเครื่องตรวจวัดการจราจร ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นที่มากกว่าหรือเท่ากับค่าความหนาแน่นที่มากที่สุดที่ได้กำหนดไว้ ผลก็คือไม่สามารถนำมาคำนวณค่าคลื่นกระแทกได้จึงให้ค่าเท่ากับศูนย์

แต่เมื่อได้พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความหนาแน่นก็พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงจากการพิจารณาโดยใช้ค่าที่ได้จากการรวบรวมจากภาคสนามแบบทันกาล เพราะสมการแบบจำลองที่ได้จากกราฟสามารถทำให้ได้ค่าความหนาแน่นที่ไม่มากเกินกว่าค่าความหนาที่มากที่สุดได้ แต่ก็ยังมีปัญหาในการที่ค่าคลื่นกระแทกที่มากกว่า

ความเป็นจริงซึ่งไม่ควรเกิน 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แม้ว่าจะได้คลื่นกระแทกที่ได้ก็เริ่มใกล้เคียงกับทฤษฎีมากขึ้น แต่เส้นกราฟก็ยังขึ้นลงไม่คงที่นักเนื่องจากคำนวณทุก 5 วินาที

เนื่องจากการประมาณความยาวแถวคอยทั้ง 2 วิธี กระทำบนถนนหลักในเขตเมือง (Arterial) จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องเผชิญกับการรบกวนของกระแสจราจรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการที่มีรถเข้าออกซอย การมีรถประจำทางจอดรับส่งผู้โดยสารที่ป้าย หรือ การเปลี่ยนช่องจราจรของรถ สิ่งเหล่านี้จึงเป็นประเด็นที่ทำให้การประมาณความยาวแถวคอยทั้ง 2 วิธี มีความคลาดเคลื่อนไม่มากก็น้อย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้พยายามเลือกพื้นที่ศึกษาที่คิดว่าจะเกิดผลกระทบต่อสิ่งเหล่านี้ให้น้อยที่สุด

ในความเป็นจริงแล้ว แถวคอยที่ประมาณจากการติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรนั้น อาจเกิดความผิดพลาด หรือ ไม่สามารถวัดแถวคอยได้ ซึ่งมีผลมาจากการติดตั้งตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมหรือน้อยเกินไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ตั้งตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจรไว้ 3 ตำแหน่งคือ (1) ตำแหน่งที่อยู่ตรงทางแยกที่รถออกจากเขตสัญญาณไฟ (ตำแหน่ง A) (2) ตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางของช่วงถนน (ตำแหน่ง B) และ (3) ตำแหน่งที่อยู่ตอนต้นของช่วงถนน (ตำแหน่ง C) เพื่อให้การประมาณแถวคอยโดยใช้เครื่องตรวจวัดมีความครอบคลุมมากขึ้น และในกรณีที่ในช่วงถนนนั้นมีซอย หรือทางเข้าออก เครื่องตรวจวัดการจราจรควรจะตั้งตรงตำแหน่งที่อยู่ถัดจากซอยมาแล้วในระยะหนึ่ง เพราะหากตั้งตรงก่อนถึงซอยแล้ว ค่าปริมาณจราจร (Traffic Volume) และความเร็ว (Speed) ที่วัดได้ จะมีผลอันเกิดจากการชะลอตัวของรถเพื่อเลี้ยวเข้าซอย และ ปริมาณจราจรที่ได้จะไม่ตรงกับปริมาณจราจรของรถบนช่วงถนนจริง

7.3 ข้อเสนอแนะ และ แนวทางการศึกษาในอนาคต

สำหรับข้อเสนอแนะ และ แนวทางการศึกษาในอนาคตนั้น ทางผู้วิจัยคิดว่างานวิจัยนี้อยู่ในขอบเขตเบื้องต้นของการประมาณแถวคอยบนถนนหลักในเขตเมือง (Arterial) เพียง 1 ช่วงถนนเท่านั้น โดยยังไม่ได้ขยายขอบเขตการศึกษาให้กว้างขึ้น หากเป็นไปได้ในอนาคตจะขยายขอบเขตการศึกษาจาก 1 ช่วงถนน เป็น 1 ทางแยก ซึ่งรวมช่วงถนน 3-4 ทิศทาง และการศึกษาต่อไป อาจจะขยายไปถึงโครงข่ายถนนหลายทางแยก ถ้าจะสามารถขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษาให้ได้นั้นก็จะต้องมีเครื่องมือในการเก็บข้อมูลที่มีความพร้อม และทันสมัย ไม่ใช่เพียงตั้งกล้องวีดีทัศน์บนสะพานลอย แต่การที่มีเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ดีมีคุณภาพและทันสมัยนั้นจะต้องมีการลงทุนที่สูง และ มีการสนับสนุนและความร่วมมือภายในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่าง

สม่ำเสมอ ดังนั้นการที่มีเครื่องตรวจวัดการจราจรที่มากพอครอบคลุมเกือบทุกทางแยกในกรุงเทพฯ และปริมณฑล พร้อมทั้งระบบการเก็บข้อมูลจราจรจะมีประสิทธิภาพ

ส่วนเรื่องของพื้นที่ศึกษาที่เป็นถนนหลักในเขตเมือง (Arterial) ซึ่งกระแสจราจรมีถูกรบกวนอยู่ตลอด เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาในงานต่อๆไปเป็นอันดับแรก เพราะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นในอนาคตอาจจะต้องมีวิธีการหรือแบบจำลองมาอย่างหนึ่ง เพื่อแสดงถึงความเคลื่อนที่เกิดขึ้น อันเป็นแนวทางในการประมาณความแถวคอย หรือ หาเวลาในการเดินทาง (Travel time) บนถนนประเภทนี้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำต่อไป

นอกจากในเรื่องลักษณะทางกายภาพที่จำเป็นจะต้องพิจารณาแล้ว ในเรื่องของพฤติกรรมของผู้ขับขี่ของถนนประเภทนี้ก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกันที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติม โดยเฉพาะในเรื่องพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร ซึ่งเกิดได้มากกว่าถนนที่เป็นทางพิเศษ (Freeway) และพฤติกรรมในการขับขี่บนถนนในกรุงเทพฯ ค่อนข้างมีความก้าวร้าวเป็นส่วนใหญ่ และ ไม่ค่อยมีระเบียบวินัยในการขับขี่ ดังนั้นพฤติกรรมการขับขี่ก็จำเป็นจะต้องศึกษาเพิ่มเติม โดยอาจจะใช้การหาปัจจัย หรือ หาแบบจำลองบางอย่างออกมา เพื่ออธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นแล้วมาใช้ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนต่อไป

รายการอ้างอิง

Chang, J., Lieberman, E.B., and Prassas, E.S. QUEUE ESTIMATION ALGORITHM FOR REAL-TIME CONTROL POLICY USING DETECTOR DATA. The Transportation Research Board's 79th Annual Meeting, January 2000 Washington, DC, USA, 2000.

Fu, L., Hellinga, B., and Zhu, Y. An Adaptive Model for Real-time Estimation of Overflow Queues on Congested Arterials. IEEE Transaction on Intelligent Transportation System, (2001).

Geroliminis, N. Queue spillovers in city street networks with signal controlled intersections. 9th Swiss Transport Research Conference, September 2009 Ascona, Switzerland, 2009

Geroliminis, N., and Skabardonis, A. Identification and Analysis of Queue Spillovers in City Street Networks. IEEE Transaction on Intelligent Transportation System, Vol. 12, No. 4, (December 2011).

Gongbin, Q., Lee, J., and Chung, E. A Queue Estimation Algorithm using Loop Detector Time-occupancy for Signalized Motorway Off-ramps. In 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 2012 Washington, DC, USA, 2012.

Immers, L.H., and Logghe, S. Traffic Flow Theory. Heverlee, Belgium: Faculty of Engineering Department of Civil Engineering Section Traffic and Infrastructure Katholieke University Leuven, 2003.

Lertworawanich, P. A Self-turning Signal Control Algorithm for Isolated Intersections Based on Time-space Diagrams. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Vol.9 (2011).

Liu, H.X., Wu, X., Ma, W., and Hu, H. Real-time queue length estimation for congested signalized intersections. Transportation Research Part C Vol.17 (2009): 412-427.

Ping, Y., Zongzhong, T., and Qiang, Z. Consistency of Input-Output Model and Shockwave Analysis in Queue and Delay Estimations. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology Vol. 8 No.6 (December 2008): 146-152.

Richards, P.I. Shock Waves on the Highway. Operations Research Vol.4 No.1 (February. 1956): 42-51.

Sharma, A., Bullock, D.M., and Bonneson, J.A. Input-Output and Hybrid Techniques for Real-Time Prediction of Delay and Maximum Queue Length at Signalized Intersections. Transportation Research Board No.2305 (2007): 69-80.

Skabardonis, A., and Geroliminis, N. Real-Time Monitoring and Control on Signalized Arterials. Journal of Intelligent Transportation Systems Vol. 12 No.2 (2008): 64-74.

Wu, X., Liu, H.X., and Gettman, D. Identification of oversaturated intersections using high-resolution traffic signal data. Transportation Research Part C (2010).

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณพล ศรีศักดา เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ.2530 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

ในระหว่างการศึกษาได้มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการทั้งหมด 2 งาน ดังนี้

Napon Srisakda and Sorawit Narupiti, 2012. EVALUATION OF SOME QUEUE LENGTH ESTIMATIONS AT SIGNALIZED INTERSECTION AT OVERSATURATED TRAFFIC CONDITONS. 12th ITS ASIA PACIFIC FORUM AND EXHIBITION 2012. KAULAR LUMPUR, MALAYSIA

ณพล ศรีศักดา และ สรวิศ นฤปิติ, 2556. การประมาณแถวคอย ณ ทางแยกสัญญาณไฟโดยการประยุกต์ใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสม และ การวิเคราะห์คลื่นกระแทก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18. เชียงใหม่.