

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย“การศึกษาการลดความเสี่ยงอุบัติเหตุจากการชนท้าย กรณีศึกษาทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 35”

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รายนามคณะทำงานวิจัย

- | | | |
|-----------------|--------------|------------------|
| 1. รศ. ดร.อำพล | การณสุนทวงษ์ | ; หัวหน้าโครงการ |
| 2. น.ส.พรรณทิพา | พันธ์ยิ้ม | ; ผู้ร่วมวิจัย |
| 3. นายสรวัชร | จันทร์ทับ | ; ผู้ร่วมวิจัย |

สนับสนุนโดยมูลนิธิไทยโรดส์

30 มิถุนายน 2561

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 อุบัติเหตุทางถนนของประเทศไทย	3
2.2 ทฤษฎีการขับรถยนต์ตามกัน	4
2.3 ความมีเสถียรภาพของแบบจำลอง	15
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	17
3.1 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย	17
3.2 แนวความคิดที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	17
3.3 สถานที่ดำเนินงานวิจัยและพัฒนา	18
3.4 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย	19
3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	42
4.1 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะก่อนติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”	42
4.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองและผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบ	56
4.3 ระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน	57
4.4 การทดสอบหาขนาดของเครื่องหมาย “Transverse Bar” ที่เหมาะสม	58
4.5 แบบแนะนำสำหรับการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” และการนำไปติดตั้งในช่วงถนนที่ได้กำหนดไว้	60
4.6 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร แบบ “Transverse Bar” 1 สัปดาห์	72
4.7 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร แบบ “Transverse Bar” 1 เดือน	82

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.8 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร แบบ “Transverse Bar” 2 เดือน	92
4.9 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร แบบ “Transverse Bar” 3 เดือน	102
4.10 เปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามระยะก่อน และ หลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร แบบ “Transverse Bar”	112
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	122
5.1 สรุปผลงานวิจัย	122
5.2 ข้อเสนอแนะ	123
เอกสารอ้างอิง	124
ภาคผนวก	126
ก ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5 th Car-following model	126
ข ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น ในระยะก่อนติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”	145
ค ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น ในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” 1 สัปดาห์	162
ง ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น ในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” 1 เดือน	179
จ ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น ในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” 2 เดือน	196
ฉ ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น ในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” 3 เดือน	213

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การเดินทางโดยใช้รถยนต์เป็นพาหนะหลักอย่างหนึ่งในการคมนาคม ซึ่งในปัจจุบันประชากรมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น การคมนาคมก็ยิ่งมีความสำคัญและมีความต้องการเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ความปลอดภัยและความมีประสิทธิภาพจึงถือเป็นเรื่องที่สำคัญ ในแต่ละปีมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นจากการคมนาคมทางถนนสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยในปี 2557 ที่ผ่านมามีอุบัติเหตุทางถนนเกิดขึ้นทั้งหมดมากกว่า 60,000 ครั้งทั่วประเทศ และมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 6,000 คน (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2557) จากข้อมูลทางสถิติจำแนกตามสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุพบว่า การขับรถตามกันอย่างกระชั้นชิดซึ่งก่อให้เกิดอุบัติเหตุการชนท้าย ถือเป็นหนึ่งในสาเหตุหลัก ๆ ที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ โดยเกิดจากพฤติกรรมการขับของผู้ขับขี่ที่ขับรถตามหลังเว้นระยะห่างระหว่างรถของตนเองกับรถคันหน้าไม่เพียงพอ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและเพิ่มประสิทธิภาพของการคมนาคมทางถนน จึงควรปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ขับรถตามหลัง ให้ผู้ขับขี่เว้นระยะห่างระหว่างรถตนเองกับรถคันหน้าอย่างเพียงพอ เพื่อให้ผู้ขับขี่ที่ขับรถตามหลังสามารถควบคุมรถได้อย่างปลอดภัยและลดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการชนท้าย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. พัฒนาแบบจำลองการขับรถตามกันของจีเอ็มลำดับที่ 5 (GM5th Car – following model) เพื่อศึกษาระยะห่างระหว่างรถที่เหมาะสมของรถที่ขับตามกัน
2. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกำหนดรูปแบบการทำเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”
3. ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. การหาระยะห่างระหว่างรถที่เหมาะสมของรถที่ขับตามกันด้วยแบบจำลองการขับรถตามกันของจีเอ็มลำดับที่ 5 (GM5th Car – following model)
2. กำหนดรูปแบบการทำเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”
3. เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างรถ ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ระยะทางที่ปลอดภัยในการขับขึ้นทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 35 สายธนบุรี-ปากท่อ หรือ ถนนพระรามที่ 2
2. ช่วยแนะนำผู้ขับขี่ที่ขับรถตามหลัง ให้เว้นระยะห่างระหว่างรถตนเองกับรถคันหน้าอย่างเพียงพอ
3. ช่วยลดความเสี่ยงอุบัติเหตุทางถนนที่เกิดจากการชนท้าย

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษา ทบทวนทฤษฎี แนวคิด บทความและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลทั่วไปของอุบัติเหตุทางถนนของประเทศไทย ทฤษฎีการขับรถยนต์ตามกัน และความมีเสถียรภาพของแบบจำลอง

2.1 อุบัติเหตุทางถนนของประเทศไทย

อุบัติเหตุทางถนน คือ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนถนนอย่างไม่คาดคิดโดยไม่มีสิ่งบอกเหตุล่วงหน้า แต่มีสาเหตุและส่งผลกระทบที่สามารถชี้วัดได้ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุด้วยกัน โดยมีสาเหตุที่สำคัญ 3 ประการคือ ผู้ขับขี่ ยานพาหนะ ถนนและสิ่งแวดล้อม สำหรับสาเหตุที่เกิดจากบุคคลหรือผู้ขับขี่พบว่าสาเหตุมาจากพฤติกรรมกรรมการขับขี่ที่ประมาทไม่เหมาะสม ไม่เคารพกฎจราจรหรือข้อบังคับ ไม่ตระหนักถึงความปลอดภัยของผู้โดยสาร ความบกพร่องทางด้านร่างกาย จิตใจและอารมณ์ ขาดความรู้ ความชำนาญในการใช้ยานพาหนะและถนน สำหรับสาเหตุจากยานพาหนะพบว่าเกิดจากสภาพของรถยนต์ รถจักรยานยนต์และรถโดยสารที่มีอายุการใช้งานสูง และมีการดัดแปลง ด้วยการเพิ่มที่นั่งผู้โดยสารและติดตั้งระบบแก๊สเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งอาจมีผลโดยตรงต่อการควบคุมรถ รวมถึงการไม่ติดตั้งอุปกรณ์ที่จะช่วยลดความรุนแรงของอุบัติเหตุ หรืออุปกรณ์ที่ติดตั้งไม่สามารถใช้งานได้จริง เช่น เข็มขัดนิรภัย และท้ายสุดสาเหตุจากถนนและสิ่งแวดล้อมพบว่าเกิดจากลักษณะทางกายภาพของถนน เช่น ทางโค้งซึ่งไม่มีป้ายแจ้งเตือน ทางโค้งลงเนินที่มีความชันสูงและมีระยะทางยาว ทางแยกที่ไม่เหมาะสมและทางแยกไม่มีสัญญาณไฟจราจร จุดกลับรถไม่เหมาะสม พื้นผิวถนนเสื่อมเป็นหลุมเป็นบ่อ และปัจจัยสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพดินฟ้าอากาศ เสาไฟฟ้า ป้ายข้างทาง และต้นไม้ข้างทาง เป็นต้น ซึ่งจากสถิติสถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของประเทศไทยในช่วงปีพ.ศ. 2552 – 2557 พบว่าในแต่ละปีมีจำนวนอุบัติเหตุมากกว่า 60,000 ครั้ง และพบผู้เสียชีวิตถึงปีละมากกว่า 6,000 คน (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2557) แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อุบัติเหตุทางถนนของประเทศไทย พ.ศ. 2552 – 2557

(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2557)

รายการ	2552	2553	2554	2555	2556	2557	เปรียบเทียบ 2557/2556
จำนวนอุบัติเหตุ (ครั้ง)	84,806	83,093	68,583	61,114	61,323	62,769	เพิ่มขึ้น 2.36 %
ผู้เสียชีวิต (คน)	11,048	6,602	9,205	8,660	7,364	6,374	ลดลง 13.44 %
ผู้บาดเจ็บ (คน)	61,996	17,367	21,917	22,257	20,906	23,448	เพิ่มขึ้น 12.16 %
รวม (คน)	73,044	23,969	31,122	30,917	28,270	29,822	เพิ่มขึ้น 5.48 %

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุที่พบบ่อยมากที่สุดคือ การขับรถเร็วเกินกำหนด และการขับระยะกระชั้นชิด ซึ่งเชื่อกันว่าการชนท้ายเป็นอุบัติเหตุทางถนนที่พบบ่อย ดังจะเห็นได้จากประสบการณ์การขับรถของบุคคลทั่วไปที่ว่า เมื่อมีขบวนของรถยนต์เกาะกลุ่มกันอยู่โดยที่รถยนต์คันหน้าสุดขับช้า ผู้ขับที่ใจร้อนมักจะขับบีบจี้รถยนต์คันหน้าที่ขับช้า ซึ่งการขับบีบจี้แบบนี้ในลักษณะนี้เป็นการขับบีบที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุโดยเฉพาะอย่างยิ่งการชนท้ายกัน ในขณะที่มีการขับบีบจี้กันนั้นระยะหยุดที่ปลอดภัยในการขับบีบก็ลดลงไปด้วย แต่ถ้าผู้ขับบีบเว้นระยะห่างระหว่างรถของตัวเองไปจนถึงรถคันหน้าอย่างพอเพียงแล้วผู้ขับย่อมมีเวลาในการตัดสินใจและบังคับรถได้อย่างปลอดภัยในกรณีที่มีเหตุการณ์ไม่คาดคิดเกิดขึ้น (พลเทพ เลิศวรรณิช และคณะ, 2550)

ดังนั้นถ้าเราสามารถเข้าใจถึงปัญหาและพฤติกรรมการขับขี่ยานพาหนะได้ ย่อมสามารถหาวิธีการแก้ปัญหาเพื่อเป็นแนวทางในการลดจำนวนอุบัติเหตุชนท้าย หรือบรรเทาความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นจากอุบัติเหตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงอธิบายทฤษฎีการขับรถยนต์ตามกันและการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของแบบจำลองไว้ในหัวข้อถัดไป

2.2 ทฤษฎีการขับรถยนต์ตามกัน

อ้างอิงจากรายงานระยะห่างในการขับรถยนต์ตามกันที่ปลอดภัยของ พลเทพ เลิศวรรณิช และคณะ (2550) กล่าวว่า ทฤษฎีการขับรถยนต์ตามกัน (Car – following theory) เป็นหนึ่งในแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในการอธิบายพฤติกรรมการขับบีบตามกันของรถยนต์ในกระแสจราจร ทฤษฎีนี้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1950 และยังคงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน โดยทั่วไปแล้วการขับจี้รถยนต์ตามกันบนทางตรงที่ห้ามการขับแซงกันนั้น สามารถแยกย่อยออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- (1) การรับรู้ : ผู้ขับขี่รวบรวมข้อมูลผ่านการมองเห็น โดยที่ข้อมูลเหล่านั้น ได้แก่ การเคลื่อนที่ของรถยนต์คันหน้า และ รถยนต์ของผู้ขับขี่
- (2) การตัดสินใจ : ผู้ขับขี่แปลข้อมูลที่ได้รับจากการรับรู้ และ รวบรวมข้อมูลดังกล่าวเพื่อตัดสินใจในการบังคับรถยนต์
- (3) การควบคุม : ผู้ขับขี่ทำการควบคุมบังคับรถยนต์โดยใช้ข้อมูลผ่านการรับรู้ความชำนาญและการตัดสินใจเพื่อตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ของรถยนต์

แบบจำลองการขับรถยนต์ตามกันยังคงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดย Pipes (1953) ได้พัฒนาแบบจำลองการขับรถยนต์ตามกันโดยอาศัยเกณฑ์ในการขับอย่างปลอดภัยของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ว่า ระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับขี่ควรเว้นไว้อย่างน้อยประมาณช่วงยาวหนึ่งคันรถในแต่ละความเร็ว 10 ไมล์ต่อชั่วโมง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าขับรถยนต์ด้วยความเร็ว 40 ไมล์ต่อชั่วโมง ควรเว้นระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับขี่ไว้ที่ 4 ช่วงความยาวของรถยนต์ จากกฎเกณฑ์ดังกล่าวนี้ระยะเวลาที่น้อยที่สุดระหว่างรถยนต์ 2 คัน เมื่อวิ่งผ่านจุดอ้างอิงเดียวกัน (Minimum Time Headway) สามารถคำนวณได้โดยพิจารณาว่าเป็น ฟังก์ชันของ ความเร็วของรถยนต์ หรือ อยู่ที่ประมาณ 1.36 วินาที เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมการ Minimum Headway ที่ได้จากแบบจำลองของ Pipes มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากสมการเล็กน้อยในช่วงความเร็ว 15 – 35 ไมล์ต่อชั่วโมง แต่จะแตกต่างจากค่าที่ได้จากสมการเป็นอย่างมากในช่วงความเร็วต่ำ และ ความเร็วสูง

Forbes (1963) พิจารณาระยะเวลาตอบสนอง (Reaction time) ว่ามีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการขับรถยนต์ตามกัน ดังนั้นช่วงเวลาระหว่างกันชนท้ายของรถยนต์คันที่นำหน้า และ ชนท้ายของรถยนต์คันที่ตามหลังควรจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าระยะเวลาตอบสนอง นั้นหมายความว่า Minimum time Headway มีค่าเท่ากับ ระยะเวลาตอบสนอง รวมกับระยะเวลาสำหรับรถยนต์คันนำหน้าต้องเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่ากับ ความยาวของตัวรถยนต์ Forbes ทำการทดลองภาคสนามหลายครั้งพบว่า Minimum Time gap มีค่าแตกต่างกันในแต่ละการทดลอง กล่าวโดยสรุป แบบจำลองการขับรถยนต์ตามกันของ Forbes ให้ค่าระยะห่างในการขับขี่ที่ปลอดภัยใกล้เคียงกับผลงานวิจัยของ Pipes

Subramanian (1996) นำเสนอวิธีการเปรียบเทียบแบบจำลองการขับรถยนต์ตามกันของ จีเอ็มลำดับที่ 5 (GM5th Car-following model) โดยใช้เทคนิคทางสถิติที่เรียกว่า Maximum Likelihood Estimation (MLE) ซึ่งยังไม่เคยถูกนำมาใช้ก่อนหน้านี้ ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง ตัวคลาดเคลื่อน (Error Term) ถูกนำมาใส่ไว้ในแบบจำลองโดยสมมุติว่ามีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งในลักษณะนี้จะช่วยให้สามารถนำวิธี MLE มาใช้ได้ ความเร่งของรถยนต์ที่วิ่งตามหลังสามารถพิจารณาได้สองกรณีตามระยะห่างระหว่างรถยนต์ทั้งสอง เมื่อระยะห่างระหว่างรถยนต์ทั้งสองมีขนาดใหญ่ ผู้

ขับขีของรถยนต์คันที่วิ่งอยู่ข้างหลัง จะขับขีด้วยความเร็วที่เขาต้องการ (Desired speed) ดังนั้น ความเร่งของรถยนต์ที่ผู้ขับขีควบคุมขึ้นอยู่กับ 2 กรณีคือ 1) ขับขีด้วยความเร็วที่ต้องการ และ 2) ขับขีในลักษณะการขับรตามกัน โดยขอบเขตว่าเมื่อไหร่ผู้ขับขีจะขับด้วยความเร็วที่ต้องการ หรือ ขับในลักษณะการขับรตามกันนั้น ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างรถยนต์คันที่วิ่งตามและรถยนต์คันที่วิ่งนำหน้าอยู่ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดขอบเขต (threshold) เพื่อระบุว่าการขับขีจะอยู่ในลักษณะใด ซึ่งขอบเขตที่ว่านี้ก็แตกต่างกันไปตามแต่ละบุคคล ระยะเวลาการตอบสนองด้วยเช่นกันที่แตกต่างกันไปตามแต่ละบุคคล โดยสมมุติว่า มีการกระจายแบบลอคนอร์มอล (Log-Normal Distribution) แม้ว่าวิธีการ MLE ที่นำเสนอนี้จะถูกต้องตามหลักสถิติ แต่ตัวแบบจำลองที่กล่าวว่่าเป็นจีเอ็ม ลำดับที่ 5 นั้นไม่ถูกต้อง จึงทำให้ผลการเปรียบเทียบนั้นไม่แม่นยำ

Winsum (1999) กล่าวถึง แบบจำลองการขับรตามกันที่มีพื้นฐานบนหลักจิตวิทยา แม้ว่า แบบจำลองชนิดนี้ไม่ได้มีการใช้อย่างแพร่หลายเหมือนแบบจำลองการขับรตามกันแบบจีเอ็ม (GM Car Following Model) ผู้วิจัยพบว่าผู้ขับขีพยายามที่จะรักษาระยะในการวิ่งตามรถคันหน้า โดยใช้ช่วงห่างของระยะเวลา (Time Headway) ซึ่งมีค่าคงที่ในสภาพการณ์ที่คล้ายคลึงกัน ด้วยเหตุนี้ ผู้ขับขีใช้ช่วงห่างของระยะเวลา (Time Headway) ในการรักษาความปลอดภัยด้วยการปรับการชะลอรถเพื่อให้สอดคล้องกับเวลาที่จะชนกับรถคันนำหน้า ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่จะชนกัน กับ อัตราการเร่งก็สามารถหาได้ แบบจำลองนี้ มีความเหมือนจริงมากกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการขับขีตามกัน ซึ่งไม่ได้ใช้หลักจิตวิทยาในการจำลองผลกระทบของสภาพแวดล้อม และ ปัจจัยจากผู้ขับขีต่อการไหลของการจราจร ความแออัดของกระแสดจราจร และ พฤติกรรมการขับขีตามกัน อย่างไรก็ตาม ไม่มีการรวบรวมข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองอย่างจริงจัง

Brackstone และ McDonald (1999) ทำการทบทวนแบบจำลองการตามกันของรถที่สำคัญ 4 แบบจำลอง โดยมีเนื้อหาคร่าว ๆ ดังนี้

1. Gazis-Herman-Rothery (GHR) หรือ GM models

เป็นแบบจำลองที่ใช้โดยทั่วไป เขียนสูตรได้เป็น

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = \frac{\alpha[\dot{x}_{n+1}(t+T)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} \{\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)\} \quad (2.1)$$

where $\ddot{x}_{n+1}(t+T)$ is the acceleration of the $n+1$ th car at time $t+T$

$\dot{x}_{n+1}(t+T)$ is the velocity of the $n+1$ th car at time $t+T$

$x_n(t)$ is the distance of the n th car at time t

$x_{n+1}(t)$ is the distance of the $n+1$ th car at time t

$\dot{x}_n(t)$ is the velocity of the n th car at time t

$\dot{x}_{n+1}(t)$ is the velocity of the $n+1$ th car at time t

α is the sensitivity factor

m, l are constant

โดยเป็นต้นแบบของแบบจำลองการขับรถตามกัน ซึ่ง Gazis, et al. (1961) สรุปไว้ว่า แบบจำลองถูกคิดขึ้นมาในปี 1950 โดย Chandler, Herman และ Montroll ที่ศูนย์วิจัยบริษัท General Motors เมืองดีทรอยต์ (Detroit) โดยใช้สมมุติฐานว่า อัตราการเร่งของผู้ขับขี่จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วสัมพัทธ์ และระยะห่างในการขับขี่ตามกัน ในปี 1959 Gazis, Herman และ Potts พยายามหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการชนกัน เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว และ ปริมาณการไหล ความไม่ถูกต้องระหว่างความสัมพันธ์มหภาคที่ได้จากสมการแบบจุลภาค ทำให้มีการแก้ไขด้วยการเพิ่มระยะห่างสัมพัทธ์ระหว่างรถยนต์เข้าไปด้วย ในปี 1960 Edie นำแบบจำลองมาปรับเทียบกับข้อมูลมหภาค และ พบว่าจุดที่ต้องแก้ไข คือ ค่าคงตัวของแบบจำลอง (sensitivity factor) จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่โดยใช้ $m=1$ และ $l=1$ ในช่วงปีต่อมาก็มีการทดสอบมากมายที่พยายามหาค่าเหมาะสมที่สุดของ m และ l

2. แบบจำลองระยะทางที่ปลอดภัย หรือ แบบจำลองที่หลีกเลี่ยงการชนกัน (Safety Distance and Collision Avoidance Models)

Kometani และ Sasaki (1959) ได้เสนอแบบจำลองระยะทางในการขับรถตามกันที่ปลอดภัยโดยใช้สมการของการเคลื่อนที่ สูตรเป็นดังนี้

$$\Delta x(t-T) = \alpha v_{n-1}^2(t-T) + \beta_1 v_n^2(t) + \beta_2 v_n(t) + b_0 \quad (2.2)$$

พวกเขาได้ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ต่อมา Gipps (1981) ได้พัฒนาแบบจำลองนี้ด้วยสมมุติฐานที่ว่า ผู้ขับขี่จะยอมเพิ่มเวลาการตอบสนองที่ปลอดภัย แม้ว่าแบบจำลองชนิดนี้จะให้ผลที่ยอมรับได้ แต่หากทำการเทียบกับแบบจำลอง simulation และ ข้อมูลที่เก็บมายังพบว่ามีปัญหาอีก

มากมายที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้ ตัวอย่างเช่น สมมุติฐานของช่วงระยะห่างที่ปลอดภัย (safe distance headway) นั้น ไม่ถูกต้อง เพราะผิดจากความจริงที่ผู้ขับขี่อาจจะพิจารณาเงื่อนไขของรถหลายคันที่วิ่งอยู่ข้างหน้า

3. Linear (Helly) Models

Helly (1959) นำเสนอแบบจำลองที่สามารถปรับค่าอัตราเร่งของรถยนต์ที่ขับตามเนื่องจากการหยุดของรถคันหน้า

$$a_n(t) = C_1 \Delta v(t-T) + C_2 (\Delta x(t-T) - D_n(t)) \quad ; \quad D_n(t) = \alpha + \beta v(t-T) + \gamma a_n(t-T) \quad (2.3)$$

เมื่อ $D_n(t)$ คือ ระยะทางการขับรถตามกันที่ต้องการ ข้อได้เปรียบของแบบจำลองเชิงเส้นนี้คือความไม่ซับซ้อน ด้วยการพิจารณาความความเร็วสัมพัทธ์ ระยะทางสัมพัทธ์ และ ความเร็วที่ต้องการขับที่ เพราะทำให้แบบจำลองนี้มีความแม่นยำ และ ใช้งานได้ดีกว่าแบบจำลองจีเอ็มแบบเดิม

4. Psychophysical or Action Point Model (AP)

Michael (1963) เสนอแบบจำลองการตามกันขับรถตามกันโดยนำปัจจัยด้านจิตวิทยามาพิจารณา ซึ่งเขาพบว่า ผู้ขับขี่สามารถบอกได้ว่าเขากำลังเข้าใกล้รถคันหน้า โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของรถคันหน้าด้วยการสังเกตจากความความเร็วสัมพัทธ์ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงมุมในการมองเห็นรถคันหน้า ซึ่งหากเกินขอบเขตการรับรู้ (perception threshold) ผู้ขับขี่ก็จะเลือกชะลอความเร็วลงกระทั่งเขาไม่รู้สึกถึงความเปลี่ยนแปลงของความเร็วสัมพัทธ์อีก

5. Fuzzy Logic-Based Models

Kikuchi และ Chakroborty (1992) นำเสนอแบบจำลองการขับรถตามกันโดยใช้แนวคิด fuzzy logic โดยกำหนดฟังก์ชันสมาชิก (membership function) เพื่อบอกระดับของระยะห่างสัมพัทธ์ และ ช่วงของเวลา (time headway) ระหว่างรถสองคันในขณะที่ขับที่ตามกัน จากนั้นนำแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองจีเอ็ม (GM model) ซึ่งพบว่า แบบจำลองจีเอ็มจะให้ค่า time headway ที่แตกต่างไป ขึ้นอยู่กับอัตราการชะลอรถยนต์ และ ความเร็วสุดท้ายขณะขับที่ นอกจากนี้ระยะห่างในการขับรถตามกันขึ้นอยู่กับความเร็วสุดท้ายโดยไม่เกี่ยวข้องกับระยะห่างตอนเริ่มต้น หรือ ความเร็วเริ่มต้น ถึงแม้ว่าแบบจำลองจะสะท้อนการเปลี่ยนแปลงตามที่คาดไว้ แต่รูปแบบของแบบจำลองนั้นไม่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงในการขับรถยนต์ตามกัน

Gurusinghe, et al. (2001) แก้ไขแบบจำลองอันดับที่หนึ่งของจีเอ็ม (1st GM model) โดยนำมารวมเข้ากับแนวคิดความเร็ววิกฤต (Excess Critical Speed (ECS) Concept) โดยสมมติว่าผู้ขับตามใช้ความเร็วที่ปลอดภัย ขณะขับตามรถยนต์คันหน้าโดยพิจารณาจากระยะห่างระหว่างรถยนต์ในการตัดสินใจขณะขับจี หากผู้ขับตามมีอิสระในการเพิ่มความเร็วเขาจะขับอยู่ในช่วงความเร็ววิกฤต (Critical Speed) แต่ถ้าความเร็วเกินขีดจำกัดดังกล่าว เขาจะชะลอรถเพื่อรักษาระยะห่างอย่างปลอดภัยกับรถคันที่วิ่งนำหน้าอยู่ ความเร็ววิกฤตนี้ช่วยปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองการขับรถตามกัน ทั้งยังสามารถปรับความถูกต้องของแบบจำลองได้เป็นอย่างดีเมื่อทำการปรับแบบจำลองด้วย regression กับข้อมูลที่เก็บมา ผู้วิจัยสรุปว่า ผู้ขับจีให้ความสำคัญกับระยะห่างสัมพัทธ์มากกว่าความเร็วในขณะที่เร่งความเร็ว แต่จะให้ความสำคัญกับความเร็วสัมพัทธ์มากกว่าระยะห่างสัมพัทธ์ในขณะที่กำลังชะลอความเร็ว

Sun และ Benckohal (2005) ได้ศึกษาถึงความน่าจะเป็นของการเกิดอุบัติเหตุ ในลักษณะการชนท้ายกัน บริเวณสถานที่ก่อสร้างถนน โดยทำการเก็บข้อมูลจากสถานที่จำนวน 11 แห่ง ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นผู้วิจัยได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของการจราจร (flow rate) และ เปอร์เซนต์ของรถยนต์ที่เคลื่อนที่ไปมาในลักษณะกลุ่ม หรือ มี Time Headway ต่ำกว่า 6 วินาที จากนั้นพวกเขา ได้หาการกระจายตัวของช่องว่างระหว่างรถยนต์ (gap distribution) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ช่องว่างระหว่างรถยนต์ 2 คันจะมีค่าน้อยกว่า Critical Gap ซึ่งจะนำมาใช้ในการพยากรณ์ความน่าจะเป็นที่จะมีการชนท้ายเกิดขึ้นอย่างน้อย 1 การชน ในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง โดยเป็นฟังก์ชันของปริมาณจราจรที่ผ่านในบริเวณนั้น นอกจากนี้ ยังได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวนรถยนต์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุการชนท้ายแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำในการคำนวณจำนวนรถยนต์ที่เกี่ยวข้องนั้นยังเป็นที่สงสัย เนื่องจากการชนท้าย อาจเป็นลักษณะต่อเนื่องหรือ อาจจะเป็นลักษณะการชนแบบคันเว้นคันก็ได้ ทั้งนี้ วิธีการดังกล่าวนี้ไม่ได้พิจารณาช่วงความยาวและความจุถนนในการวิเคราะห์

การขับจียานพาหนะจีท้าย (Tailgating) เป็นสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุจากการชนท้าย (Rear-end collision) ที่ผู้ขับจีสูญเสียการรักษาระยะห่างที่ปลอดภัยจากรถคันหน้าทำให้ระยะหยุดรถที่ปลอดภัยลดลง เนื่องจากผู้ขับจีไม่ทราบถึงระยะหยุดรถที่ปลอดภัย ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาด น้ำหนัก และความเร็วของยานพาหนะ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินต่อผู้ขับจีและผู้โดยสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ จึงมีการค้นคว้าและเสนอแนะแนวทางต่าง ๆ ที่สามารถนำมาปรับใช้เพื่อปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ขับจีให้มีพฤติกรรมการขับจียานพาหนะจีท้ายรถคันหน้า (Tailgating treatment) เช่น การแนะนำให้ผู้ขับจีรักษาระยะห่างจากรถคันหน้าเป็นเวลาอย่างน้อย 2 วินาที (Two-Second Rule) เนื่องจากเป็นระยะเวลาในการรับรู้และตอบสนองต่ออันตรายบนท้องถนน (Song และ Wang, 2010) หรือหากผู้ขับจีถูกรถคันหลังจีท้ายก็ควรหลีกเลี่ยงโดยให้รถคันหลังผ่านไปก่อนเพื่อ

ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ รวมไปถึงการรักษาระยะห่างที่ปลอดภัยจากรถคันหน้า โดยการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรเพื่อแนะนำระยะห่างที่เหมาะสม ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมและช่วยลดปัญหาอุบัติเหตุจากการชนท้ายจากผลการศึกษาในอดีตที่ผ่านมา อาทิเช่น

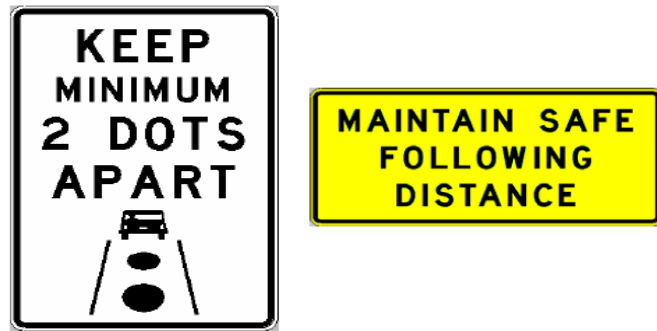
Latham และ Trombly (2003) ทำการศึกษาเทคนิคการปรับปรุงทางวิศวกรรมจราจรที่มีต้นทุนต่ำ (Low cost traffic engineering improvement) อ้างอิงจากรายงานของ Federal Highway Administration (FHWA) พบว่าการติดตั้งเครื่องหมาย “Dot” บนผิวจราจรให้รักษาระยะอย่างน้อย 2 “Dot” จากรถคันหน้า เพื่อแก้ไขปัญหการจับจี้ยานพาหนะจี้ท้ายรถคันหน้า เป็นมาตรการช่วยเหลือผู้ขับขี่ให้เว้นระยะห่างที่ปลอดภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเหมาะกับถนนที่การจราจรไม่แออัดและเกิดอุบัติเหตุสูง โดยจากการทดลองใช้พบว่า สามารถลดปัญหาการจับจี้ยานพาหนะจี้ท้ายและลดอุบัติเหตุในบริเวณที่ติดตั้ง “Dot” ลงได้ถึงร้อยละ 60 แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เครื่องหมายบนผิวจราจร “Dot”

(ที่มา: Latham และ Trombly, 2003)

Department of Public Safety (2006) ทำการทดลองใช้เครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” เพื่อช่วยลดอุบัติเหตุของการชนท้าย โดยทำการติดตั้ง “Dot” จำนวน 94 จุด โดยแบ่งเป็น 47 จุดในแต่ละทิศทาง ซึ่งแต่ละจุดห่างกัน 225 ฟุต ติดตั้งในพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นถนน 2 เลนส์ มีระยะทาง 2 ไมล์ และใช้ป้ายเป็นตัวแนะนำผู้ขับขี่ ให้รักษาระยะห่างระหว่างรถอย่างน้อย 2 จุด หรือเทียบเท่ากับ 3 วินาทีของรถที่วิ่งตามกันแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยเมื่อทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ได้เก็บข้อมูลระหว่างก่อนและหลังการติดตั้ง “Dot” พบว่าระยะห่างของรถที่วิ่งตามกันมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเห็นผลอย่างชัดเจนในช่วงกลางของพื้นที่การทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วที่ใช้ลดลงเล็กน้อยในพื้นที่ศึกษา แต่เมื่อผ่านพื้นที่ศึกษาไปแล้วกลับพบว่าความเร็วมีค่าสูงขึ้นมากกว่าช่วงก่อนการติดตั้ง



รูปที่ 2.2 ป้ายเตือนให้รักษาระยะห่างอย่างน้อย 2 “Dot”

(ที่มา: Department of Public Safety, 2006)

Greibe (2009) ในประเทศเดนมาร์กได้ทดลองติดตั้งเครื่องหมายจราจรในลักษณะ Chevron Marking บนถนน Danish Freeway ซึ่งมีการเกิดอุบัติเหตุการชนท้ายบ่อยครั้ง เพื่อทดสอบว่าสามารถช่วยลดความเร็วของผู้ขับขี่และช่วยให้ผู้ขับขี่เพิ่มระยะห่างในการขับรถตามคันหน้าหรือไม่ โดยมีการติดตั้งป้ายเตือน “ข้างหน้าทดลองใช้เครื่องหมายบนผิวจราจร” และในช่วงถนนที่ทำการศึกษาก็ได้ติดตั้งป้ายเตือนข้างทางอีก 2 ป้าย ให้ผู้ขับขี่รักษาระยะห่างอย่างน้อย 2 Chevron ระหว่างรถตนเองกับรถคันหน้า แสดงดังรูปที่ 2.3 ผลการศึกษาพบว่า การติดตั้ง Chevron marking ช่วยทำให้ผู้ขับขี่ใช้ความเร็วลดลง 1 ถึง 3 กม. ต่อชม. และพฤติกรรมการเว้นระยะห่าง (Gap) จากคันหน้าที่น้อยกว่า 1 วินาที ลดลงประมาณร้อยละ 7 ถึง 11 ทั้งนี้ พบว่าประสิทธิผลที่ได้รับจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อผ่านช่วงถนนที่ศึกษาไปแล้ว



รูปที่ 2.3 Chevron marking และป้ายเตือนให้รักษาระยะห่างอย่างน้อย 2 Chevron

(ที่มา: Greibe, 2009)

Song และ Wang (2010) ทำการศึกษารูปแบบที่เหมาะสมของ Tailgating treatment โดยใช้ผลจากการสำรวจข้อมูลและการวิเคราะห์ Vehicle headway ใน Rhode Island นำไปสู่การทดลองแบบจำลองการขับรถยนต์เพื่อทดสอบการตอบสนองของผู้ขับขี่ตามเวลาจริงต่อ Tailgating treatment แบบต่าง ๆ 4

รูปแบบ คือ painted dots, neon/hot-pink roadside panels, painted arrows และ painted bars แสดงดังรูปที่ 2.4 และการเลือกรูปแบบข้อความบนป้ายจราจร ที่ผู้ขับขี่ให้ความสนใจและเข้าใจง่ายในหลากหลายรูปแบบ แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยผลการศึกษาพบว่า 63.8% ผู้ขับขี่ให้ความคิดเห็นว่างค์ประกอบของระบบ Tailgating treatment ที่มีประสิทธิภาพต้องประกอบไปด้วยป้ายจราจรแนะนำและ marking บนพื้นถนน, 37.3% ผู้ขับขี่เลือกรูปแบบ marking บนพื้นถนน แบบ painted bars, 40.2% ผู้ขับขี่ให้ความคิดเห็นว่างค์ประกอบที่แสดงข้อความยาว ทำให้ง่ายต่อความเข้าใจมากที่สุด เช่น “Keep 2 Bars from Vehicle Ahead”, 86.6% การเพิ่มรูปภาพเข้าไปในป้ายจราจรทำให้ผู้ขับขี่เข้าใจข้อความง่ายขึ้น และ 46.7% ผู้ขับขี่เลือกการติดตั้งป้ายจราจรแบบ Overhead dynamic message signs



painted dots



neon/hot-pink roadside panels

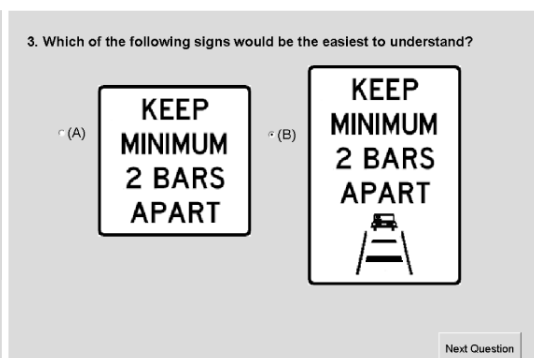
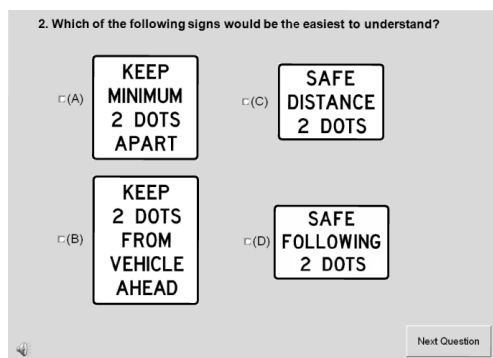


painted arrows



painted bars

รูปที่ 2.4 Tailgating treatment แบบต่าง ๆ
(ที่มา: Song และ Wang, 2010)



รูปที่ 2.5 รูปแบบข้อความบนป้ายจราจร
(ที่มา: Song และ Wang, 2010)

Laurencas, et al. (2015) ได้ศึกษาการไหลของการจราจรในเขตเมืองเนื่องจากการจราจรติดขัด โดยทำการปรับเปลี่ยนแบบจำลองการขับรถตามกันของ GM เพื่อที่จะระบุข้อกำหนดเบื้องต้นที่ดีที่สุดสำหรับการจัดการจราจร โดยทำการพิจารณาตัวแปรอิสระดังต่อไปนี้ ความเร็วของรถยนต์ เวลาในการบริการ ความหนาแน่นของการไหลของการจราจร ความถี่การบริการเฉลี่ยและความยาวของแถวคอย โดยการระบุรูปแบบฟังก์ชันที่แตกต่างกันของเวลาตอบสนอง แบบจำลองการขับรถตามกันของ GM ที่ปรับเปลี่ยนใหม่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ดีของข้อมูลภาคสนาม และแสดงให้เห็นว่าผู้ขับขี่รถยนต์เลือกใช้ความเร็วในการเดินทางตามระยะทางด้านหน้าและเวลาตอบสนอง อย่างไรก็ตามเวลาตอบสนองของผู้ขับขี่จะถูกสมมติเป็นฟังก์ชันของทั้งระยะทางระหว่างรถยนต์และเฟสการจราจร

พลเทพ เลิศวรรณิข และคณะ (2550) ทำการศึกษาระยะห่างในการขับรถตามกันที่ปลอดภัยในการขับขี่ สำหรับช่วงความเร็ว 80-120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงความเร็วที่พบทั่วไปบนทางหลวงแผ่นดิน วิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้หลักการของ Maximum Likelihood Estimation (MLE) และ Perturbation Technique เพื่อหาระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับขี่ ซึ่งทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 ถูกเลือกเป็นพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เนื่องจากมีปริมาณรถ และความเร็วของกระแสการจราจรสูง ทางหลวงนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มอเตอร์เวย์ชลบุรี โดยนำข้อมูลของความเร็วและปริมาณการไหลมาใช้ในกระบวนการปรับแก้แบบจำลองการไหลการจราจรกับแบบจำลองการขับรถตามกันของ GMth ในการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองนั้นใช้วิธี maximum likelihood เนื่องจากไม่เพียงสามารถหาค่าเฉลี่ยได้แต่ยังสามารถหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard error) ของพารามิเตอร์แต่ละตัวได้ จากนั้นทำการคำนวณหาระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับขี่ตามกัน โดยใช้หลักความมีเสถียรภาพแบบ Asymptotic ของกระแสการจราจรตามแบบจำลองการขับรถตามกันของ GM และพัฒนาเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” เพื่อช่วยผู้ขับขี่ให้ทราบว่าควรเว้นระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกันอย่างไร ต่อมา พลเทพ เลิศวรรณิข (2553) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจากการศึกษาในปี 2550 โดยทำการศึกษาการลดความเสี่ยงอุบัติเหตุจากการชนท้ายบนทางหลวงหมายเลข 1141 ซึ่งเป็นทางหลวงที่มี 6 ช่องจราจรอยู่บริเวณทิศใต้ของตัวเมืองเชียงใหม่ สำหรับความเร็วที่ใช้ในการขับขี่บนทางหลวงสายนี้ค่อนข้างสูง คืออยู่ระหว่าง 70 – 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจราจรที่ได้สำรวจมา เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์ ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้นำมาใช้ในการคำนวณหาโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุชนท้ายที่แปรเปลี่ยนไปตามปริมาณจราจร รวมทั้งการพิจารณาระยะห่างในการขับขี่ตามกันอย่างปลอดภัยตามสภาพความเร็วที่ใช้บนทางหลวงหมายเลข 1141 แสดงดังรูปที่ 2.6 เพื่อนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุที่เกิดจากการชนท้ายและจัดทำเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” บนทางหลวงหมายเลข 1141 เพื่อช่วยผู้ขับขี่ให้ทราบว่าควรเว้นระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน หลังจากทำการเปรียบเทียบระยะห่างในการขับขี่ของรถยนต์ก่อนและหลังการดำเนินการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร พบว่าระยะห่างในการขับ

ชี้ตามกันบริเวณสถานที่ทำการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น ณ อัตราการไหลค่าต่าง ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลงานวิจัยดังกล่าวมีส่วนช่วยลดโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุจากการชนท้ายเพราะระยะหยุดรถยนต์มีมากขึ้น



รูปที่ 2.6 การติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” บนทางหลวงหมายเลข 1141
(ที่มา: พลเทพ เลิศรวนิช, 2553)

นอกจากนั้น กรมทางหลวงยังได้ทดสอบติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” อีกหนึ่งพื้นที่ คือ ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 กรุงเทพฯ – ชลบุรี สายใหม่ (มอเตอร์เวย์) ช่วงกิโลเมตรที่ 35 ถึงกิโลเมตรที่ 45 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นที่ปรึกษา แสดงดังรูปที่ 2.7 โดย อนินทิตา ปฏิสังข์ (2553) ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการขับขี่และทัศนคติของผู้ขับขี่ก่อนและหลังการติดตั้ง ผลการศึกษาทางด้านจราจรสรุปได้ว่าการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” มีส่วนช่วยให้ระยะห่างการขับขี่และความเร็วเฉลี่ยของผู้ขับขี่มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น สำหรับทัศนคติของผู้ขับขี่จากการสัมภาษณ์ ความพึงพอใจพบว่าผู้ขับขี่มีความพึงพอใจทั้งต่อการเคลื่อนตัวของกระแสดำเนินการและความปลอดภัยสูงขึ้น หลังจากการติดตั้งเครื่องหมายจราจรบนผิวจราจรแล้ว



รูปที่ 2.7 การติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7
(ที่มา: อนินทิตา ปฏิสังข์, 2553)

2.3 ความมีเสถียรภาพของแบบจำลอง

Darroch และ Rothery (1973) นำเสนอวิธีการวิเคราะห์เงื่อนไขความมีเสถียรภาพของแบบจำลองการขับรถตามกันแบบเชิงเส้น (A Linear Car – Following Model) โดยใช้ การวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectral Analysis) แม้ว่าวิธีการนี้จะไม่ใช่วิธีใหม่ในการแปลงโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ แต่มันก็ถูกใช้เป็นครั้งแรกในการวิเคราะห์แบบจำลองการขับรถตามกัน ในงานวิจัยของ Darroch และ Rothery ได้เก็บข้อมูล ความเร็ว ความเร่ง และ ระยะห่างระหว่างรถยนต์ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของกระแสดำเนินการ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความยุ่งยากในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ วิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมจึงจำกัดอยู่แค่เพียงแบบจำลองการขับรถตามกันแบบเชิงเส้นเท่านั้น

Kohler (1973) ได้ทำการตรวจสอบเงื่อนไขความมีเสถียรภาพของแบบจำลองการขับรถตามกัน จากนั้น จึงพัฒนาแนวคิดการขับอย่างปลอดภัย ด้วยการเว้นระยะห่างระหว่างรถยนต์ เขาได้พิจารณาเงื่อนไขความมีเสถียรภาพของกระแสดำเนินการใน 2 ลักษณะ อันได้แก่ เสถียรภาพแบบโลคอล (Local stability) และ เสถียรภาพแบบแอสซิมโทติก (Asymptotic stability) ในกรณีของเสถียรภาพแบบโลคอล การสั้นของค่าความเร็วของรถยนต์คันที่วิ่งตามถูกกำหนดโดยรถยนต์คันที่วิ่งนำหน้าอย่างมีเสถียรภาพ ส่วนเสถียรภาพแบบแอสซิมโทติกจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ แอมพลิจูดการสั้นของกลุ่มของรถยนต์หลายคันที่วิ่งตามกันมาค่อยลดลง จากรถยนต์คันหนึ่งไปสู่รถยนต์อีกคันหนึ่งในกลุ่มของรถยนต์ เมื่อรถยนต์คันที่วิ่งนำหน้าสุดเปลี่ยนแปลงความเร็วโดยที่การสั้นที่ว่างนี้ หมายถึง ระยะห่างระหว่างรถยนต์ ในงานวิจัยนี้ Kohler ได้เปรียบเทียบค่าแบบจำลองการขับรถตามกันด้วยข้อมูลจากภาคสนาม ระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับพิจารณาจาก 2 ลักษณะ ลักษณะแรกใช้วิธีทางกลศาสตร์ของนิวตัน ลักษณะที่สองพิจารณาจากความมีเสถียรภาพของแบบจำลองการขับรถตามกัน จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จาก 2 ลักษณะ ซึ่งพบว่า

(1) ในช่วงความเร็วต่ำ ระยะทางที่ใช้เบรก สั้นกว่าระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับที่

(2) ถ้าจากรถเป็นลักษณะกลุ่ม (platoon) ซึ่งแบบจำลองการขับรถตามกันสามารถอธิบายได้ ก็ไม่จำเป็นต้องกำหนดความเร็วสูงสุดเป็นกฎเกณฑ์ในการขับที่ เพราะระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับจะเป็นตัวกำหนด

งานวิจัยของ Kohler ได้พัฒนาแนวคิดระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับที่ อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการเปรียบเทียบค่าแบบจำลองใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งอาจจะไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าระยะเวลาในการตอบสนองซึ่งมักจะเป็นตัวแปรสุ่มไม่ใช่ค่าคงที่

Holland (1998) ได้อธิบาย ความมีเสถียรภาพของแบบจำลองการขับรถตามกัน โดยใช้ทฤษฎี Perturbation Theory เพื่อหาความมีเสถียรภาพของการไหลของจราจร โดยดูจากการก่อตัวของการรบกวนขนาดย่อมที่ผ่านตลอดขบวนรถ และ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองส่วนใหญ่มีหลักของความมี

เสถียรคล้ายคลึงกัน ในการหาความถี่เสถียรภาพ ความรบกวนขนาดย่อมจะถูกนำไปใส่ในสมการหลักของแบบจำลองการขับรถตามกัน ในการศึกษานี้ การรบกวนถูกสมมุติค่าเป็น $\varepsilon = f_n \cdot e^{i\omega t}$ จากความสัมพันธ์การเกิดซ้ำ สำหรับรถที่วิ่งตามกันสองคันใน โหมดของการขับรถตามกัน ถ้าอัตราการขยายตัวของแอมพลิจูดของการสั่นน้อยกว่าหนึ่ง แสดงว่ามีเสถียรภาพแบบ Asymptotic หากไม่เป็นดังนี้แล้ว กระบวนการตามกันของรถจะไม่มีเสถียรภาพ จากการศึกษาที่มีข้อเสนอแนะสี่ข้อ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสถียรของการไหลของกระแสจราจร (Flow Breakdown) อันได้แก่

- (1) ผู้ขับขี่ควรมองไปข้างหน้าในขณะที่ขับรถ และ คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร โดยไฟเบรกด้านท้ายรถ จะช่วยเตือนผู้ขับขี่ที่ขับตามมาให้ลดความเร็วลง
- (2) ผู้ขับขี่ต้องมีปฏิกริยาที่ว่องไวในการตอบสนอง
- (3) ผู้ขับขี่ต้องรักษาระยะห่างในการขับขี่ตามกันไว้ ความสมดุลจะเกิดระหว่าง การรักษา ระยะห่างของการขับขี่ และ ปริมาณการไหลที่สูงที่สุด
- (4) ควรรักษาระดับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของจราจรให้ต่ำไว้ ตัวอย่าง เช่น การจำกัดความเร็วในทุกช่องการจราจร เพื่อลดการเปลี่ยนช่องจราจร

งานวิจัยของ Ranjitkar (2000) กล่าวถึง ความถี่เสถียรภาพของการไหลของกระแสจราจรจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ความแปรปรวนของเวลาตอบสนอง และ ค่าคงตัว (sensitivity factor) ค่าคงตัวของผู้ขับขี่แต่ละคน ถูกนำมาวิเคราะห์ตามสภาพการขับขี่ที่แตกต่างกันโดยใช้ข้อมูลที่มาจากการขับรถตามกันในช่องวิ่งทดสอบและเก็บข้อมูลดังกล่าวด้วยเครื่อง GPS ที่สามารถวัดการเคลื่อนที่ตามเวลาจริงได้ (The real time kinematics) โดยช่องวิ่งทดสอบเป็นทางตรงมีระยะทางยาว 1.2 กิโลเมตร เชื่อมต่อกับครึ่งวงกลมที่มีความยาวช่วงละ 0.3 กิโลเมตรสองส่วน โดยทำการทดสอบที่หลายช่วงความเร็ว โดยให้รถคันที่วิ่งนำเคลื่อนที่แบบ sinusoidal wave แบบความเร็วคงที่ และ แบบความเร็วไม่แน่นอน โดยให้มีรถยนต์เข้าทำการทดสอบเป็นจำนวน 10 คันแบบเคลื่อนที่ตามกัน เวลาตอบสนอง (reaction time) จะประมาณจากกราฟระหว่างอัตราเร่ง และ อนุกรมเวลาของความเร็วสัมพันธ์ ค่าคงตัว (sensitivity factor) คำนวณจากเวลาตอบสนองโดยใช้ regression technique ซึ่งความถี่เสถียรภาพของกระแสจราจรมีค่าเท่ากับผลคูณของเวลาตอบสนองกับค่าคงที่ (sensitivity factor) ผลการวิเคราะห์พบว่าเวลาการตอบสนองของผู้ขับขี่มีการกระจายตัวแบบ log-normal แม้ว่าวิธีการนี้สามารถหาค่าของพารามิเตอร์ของแบบจำลองการขับรถตามกันได้ แต่การพิจารณาว่าเวลาการตอบสนอง (reaction time) ให้เป็นค่าคงที่นั้นไม่ถูกต้อง

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

Gazis-Herman-Rothery (GHR) หรือ GM models เป็นแบบจำลองที่ใช้โดยทั่วไป เขียนสูตรได้เป็น

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = \frac{\alpha[\dot{x}_{n+1}(t+T)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} \{\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)\} \quad (3.1)$$

where $\ddot{x}_{n+1}(t+T)$ is the acceleration of the $n+1$ th car at time $t+T$

$\dot{x}_{n+1}(t+T)$ is the velocity of the $n+1$ th car at time $t+T$

$x_n(t)$ is the distance of the n th car at time t

$x_{n+1}(t)$ is the distance of the $n+1$ th car at time t

$\dot{x}_n(t)$ is the velocity of the n th car at time t

$\dot{x}_{n+1}(t)$ is the velocity of the $n+1$ th car at time t

α is the sensitivity factor

m, l are constant

โดยเป็นต้นแบบของแบบจำลองการขับรถตามกัน ซึ่ง Gazis, et al. (1961) สรุปไว้ว่า แบบจำลองถูกคิดขึ้นมาในปี 1950 โดย Chandler, Herman และ Montroll ที่ศูนย์วิจัยบริษัท General Motors เมืองดีทรอยท์ (Detroit) โดยใช้สมมุติฐานว่า อัตราการเร่งของผู้ขับจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วสัมพัทธ์ และระยะห่างในการขับตามกัน ในปี 1959 Gazis, Herman และ Potts พยายามหาความสัมพันธ์ระดับมหภาค เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว และ ปริมาณการไหล ความไม่ถูกต้องระหว่างความสัมพันธ์มหภาคที่ได้จากสมการแบบจุลภาค ทำให้มีการแก้ไขด้วยการเพิ่มระยะห่างสัมพัทธ์ระหว่างรถยนต์เข้าไปด้วย ในปี 1960 Edie นำแบบจำลองมาปรับเทียบกับข้อมูลมหภาค และ พบว่าจุดที่ต้องแก้ไข คือ ค่าคงตัวของแบบจำลอง (sensitivity factor) จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่โดยใช้ $m=1$ และ $l=1$

3.2 แนวความคิดที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้เพื่อต้องการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองการขับรถตามกันและแบบจำลองการไหลของจราจร โดยการสร้างแบบจำลองการไหลของจราจรในแนวทางมหภาคที่สอดคล้องกับแบบจำลองการขับรถตามกันแบบจีเอ็มอันดับที่ 5 (GM5th) จากนั้นทำการปรับเทียบแบบจำลองโดยใช้ตัวคลาดเคลื่อน (Error Term) เข้าไปในสมการการไหลของจราจร และใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Maximum Likelihood (MLE) โดยทำการตรวจสอบความมีเสถียรภาพ

ของกระแสดรจรด้วยวิธี Perturbation technique เพื่อพิจารณาหาระยะห่างในการจับคู่ตามกันอย่างปลอดภัยรวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์ ซึ่งวิธีการดำเนินการนี้อ้างอิงมาจากรายงานระยะห่างในการจับคู่รถยนต์ตามกันที่ปลอดภัยของ พล.ต.ท. เลิศรวนนิช และคณะ (2550) และรายงานการศึกษาการลดความเสี่ยงอุบัติเหตุจากการชนท้ายบนทางหลวงของ พล.ต.ท. เลิศรวนนิช (2553)

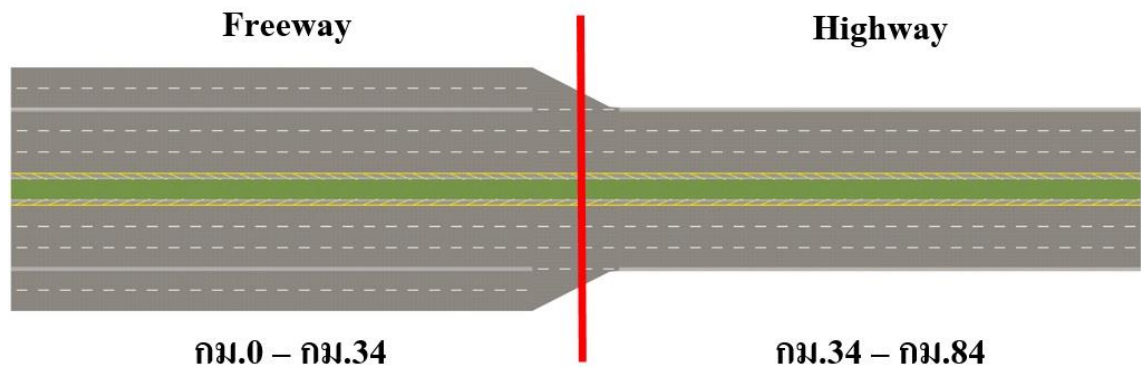
3.3 สถานที่ดำเนินงานวิจัยและพัฒนา

ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 35 สายธนบุรี-ปากท่อ หรือ ถนนพระรามที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.1 ถูกเลือกเป็นพื้นที่ศึกษาในข้อเสนอโครงการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากมีปริมาณการจราจรและความเร็วของกระแสดรจรสูง อีกทั้งยังมีข้อมูลทางสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากการชนท้ายบ่อยครั้ง ซึ่งถนนพระรามที่ 2 เป็นถนนที่ตัดผ่านกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสงคราม และจังหวัดราชบุรี เป็นเส้นทางหลักที่มุ่งสู่ภาคใต้ของประเทศไทย มีช่องจราจร 6-8 ช่องจราจร มีเกาะกลาง และมีทางคู่ขนานฝั่งละ 2 ช่องจราจรในช่วงจังหวัดสมุทรสาครและกรุงเทพมหานคร โดยจะมีปริมาณจราจรหนาแน่นมากในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า-เย็น และช่วงสุดสัปดาห์



รูปที่ 3.1 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 35 สายธนบุรี-ปากท่อ หรือ ถนนพระรามที่ 2

ถนนพระรามที่ 2 (ทางหลวงหมายเลข 35) มีระยะทางประมาณ 84 กิโลเมตร เริ่มตั้งแต่แยกดาวคะนอง (กม. 0) ถึงวังมะนาว (กม. 84) โดยช่วงกิโลเมตรที่ 0 - 34 เป็นถนนแบบ Freeway ทิศทางละ 3 ช่องจราจร มีคู่ขนาน และตั้งแต่กิโลเมตรที่ 34-84 เป็นถนนแบบ Highway ทิศทางละ 3 ช่องจราจร ไม่มีคู่ขนาน แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 35 สายธนบุรี-ปากท่อ หรือ ถนนพระรามที่ 2

3.4 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

(1) วิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามที่เก็บจากทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 35 สายธนบุรี-ปากท่อ หรือ ถนนพระรามที่ 2 อาทิ ความเร็ว ปริมาณการไหล ความหนาแน่น ระยะห่างระหว่างรถ ความล่าช้า โดยใช้ข้อมูลในช่วงถนนที่มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุการชนท้ายเกิดขึ้นบ่อยครั้ง

(2) พัฒนาแบบจำลองการขับรถตามกัน โดยใช้แบบจำลองจีเอ็มล่าดับที่ 5 (GM5th Car – following model)

(3) ประเมินค่าแบบจำลอง GM5th Car-following model ด้วยวิธี Maximum Likelihood Estimation

3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การกำหนดช่วงถนนที่จะดำเนินงานวิจัย โดยวิเคราะห์จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุ

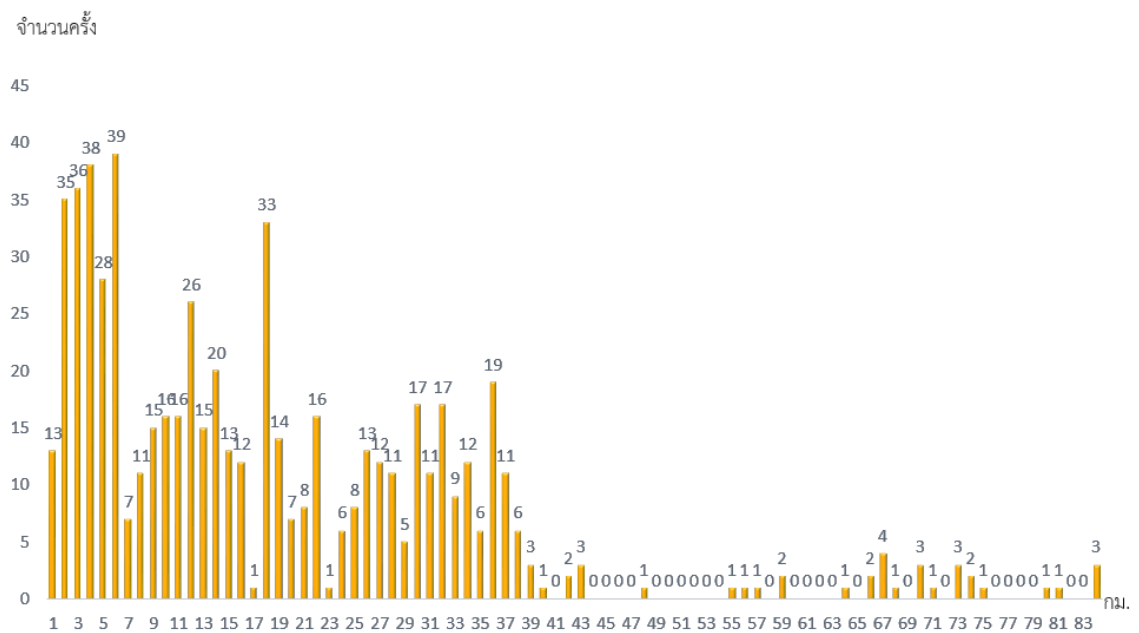
ลักษณะการชนแบบชนท้าย

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์เพื่อเลือกช่วงถนนที่ใช้ในงานวิจัยนำมาจากข้อมูลอุบัติเหตุบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 35 สายธนบุรี-ปากท่อ หรือ ถนนพระรามที่ 2 ในระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) ปี พ.ศ.2552-2558 โดยคัดเลือกใช้เฉพาะข้อมูลอุบัติเหตุปี พ.ศ.2554-2558 มาใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากข้อมูลอุบัติเหตุปี พ.ศ.2552-2553 ไม่สมบูรณ์เพียงพอ ซึ่งข้อมูลอุบัติเหตุที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ คือ ลักษณะการชนแบบชนท้าย (รหัส301) เนื่องจากลักษณะการชนแบบถูกชนท้าย ขณะเลี้ยวซ้าย (รหัส302) ถูกชนท้ายขณะเลี้ยวขวา (รหัส303) และถูกชนท้ายขณะเลี้ยวกลับรถ (รหัส304) มีจำนวนน้อยมาก คือ 8 ครั้ง ในช่วงปี พ.ศ.2554-2558 จึงไม่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ แสดงค่าสถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้าย (รหัส301) ปี พ.ศ.2554-2558

บนถนนพระรามที่ 2 ตลอดช่วงความยาวถนน กม. 0 ถึง กม. 84 จำแนกรายปีที่เก็บข้อมูล ดังตารางที่ 3.1 และจำแนกเป็นช่วง ๆ ละ 1 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 สถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 จำแนกรายปี

ปี พ.ศ.	จำนวนครั้งที่เกิดอุบัติเหตุ
54	162
55	125
56	105
57	110
58	119
รวม	621



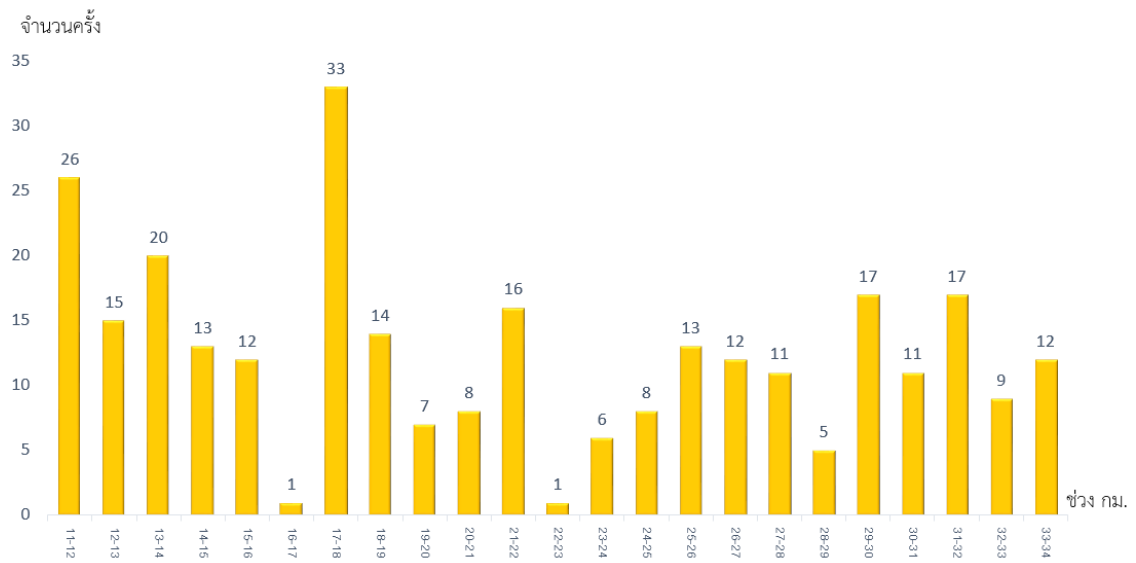
รูปที่ 3.3 สถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 จำแนกเป็นช่วง ๆ ละ 1 กิโลเมตร

เนื่องจากถนนพระรามที่ 2 มีระยะทางยาวถึง 84 กิโลเมตร การวิเคราะห์ช่วงถนนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะเลือกวิเคราะห์เฉพาะจากช่วงหลักกิโลเมตรที่ 11 ซึ่งเป็นบริเวณจุดตัดกับถนนวงแหวนรอบนอกกรุงเทพมหานครด้านตะวันตก (แสมดำ) ที่มีการไหลของจราจรค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่ติดขัด ไปจนถึง

หลักกิโลเมตรที่ 34 ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของถนนพระรามที่ 2 ช่วงที่มีทางคู่ขนาน ค่าสถิติการเกิดอุบัติเหตุ ลักษณะการชนแบบชนท้าย ปี พ.ศ.2554-2558 เฉพาะช่วงถนน กม. 11 ถึง กม. 34 มีจำนวนการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 287 ครั้ง เมื่อวิเคราะห์ตามทิศทางการจราจร พบว่า มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุแบ่งเป็น ทิศทางขาเลี้ยวได้ จำนวน 148 ครั้ง และทิศทางขาเข้ากรุงเทพมหานคร จำนวน 139 ครั้ง ซึ่งเกิดอุบัติเหตุ ในบริเวณลักษณะทางกายภาพของถนนทางตรง 286 ครั้ง และลักษณะทางกายภาพของถนนทางโค้ง ปกติ 1 ครั้ง เมื่อพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างพื้นฐานพบว่าเกิดอุบัติเหตุในบริเวณถนนพื้นราบ จำนวน 277 ครั้ง และเกิดอุบัติเหตุบริเวณสะพาน จำนวน 10 ครั้ง โดยมีสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุ คือ ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด จำนวน 284 ครั้ง คนขับหลับใน จำนวน 2 ครั้ง และการขับรถตัดหน้าระยะกระชั้นชิด จำนวน 1 ครั้ง โดยแสดงค่าสถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้าย ปี พ.ศ.2554-2558 บนถนนพระรามที่ 2 เฉพาะช่วงถนน กม. 11 ถึง กม. 34 จำแนกรายปีที่เก็บข้อมูลดังตารางที่ 3.2 และจำแนกเป็นช่วง ๆ ละ 1 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในช่วงกิโลเมตรที่ 17 เกิดอุบัติเหตุมากที่สุดถึง 33 ครั้ง ตลอดช่วงเวลา 5 ปี คิดเป็น 11.5% ของการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด

ตารางที่ 3.2 สถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 เฉพาะช่วงถนน กม. 11 ถึง กม. 34 จำแนกรายปี

ปี พ.ศ.	จำนวนครั้งที่เกิดอุบัติเหตุ
54	71
55	63
56	46
57	50
58	57
รวม	287

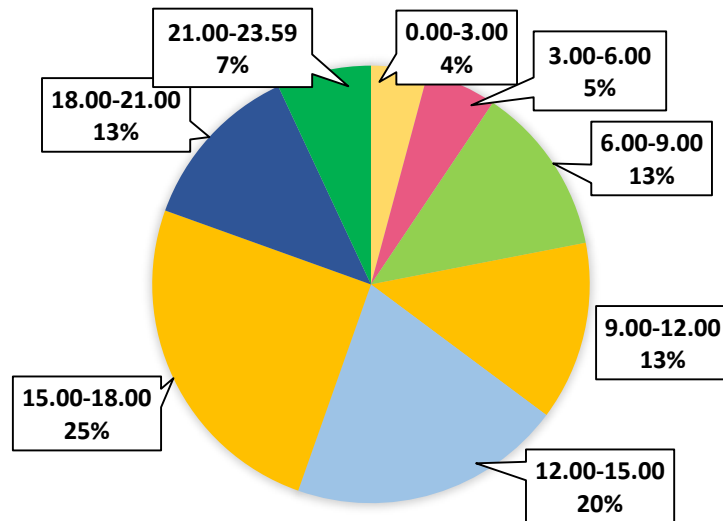


รูปที่ 3.4 สถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 เฉพาะช่วงถนน
กม. 11 ถึง กม. 34 จำแนกเป็นช่วง ๆ ละ 1 กิโลเมตร

เมื่อพิจารณาสถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายตามช่วงเวลาการเกิดอุบัติเหตุ ตลอด 24 ชั่วโมง โดยการแบ่งเป็นช่วง ๆ ละ 3 ชั่วโมง จากจำนวนการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 287 ครั้ง พบว่าเกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้งที่สุดในช่วงเวลา 12.00 – 18.00 น. จำนวน 130 ครั้ง คิดเป็น 45.3% ของการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.5

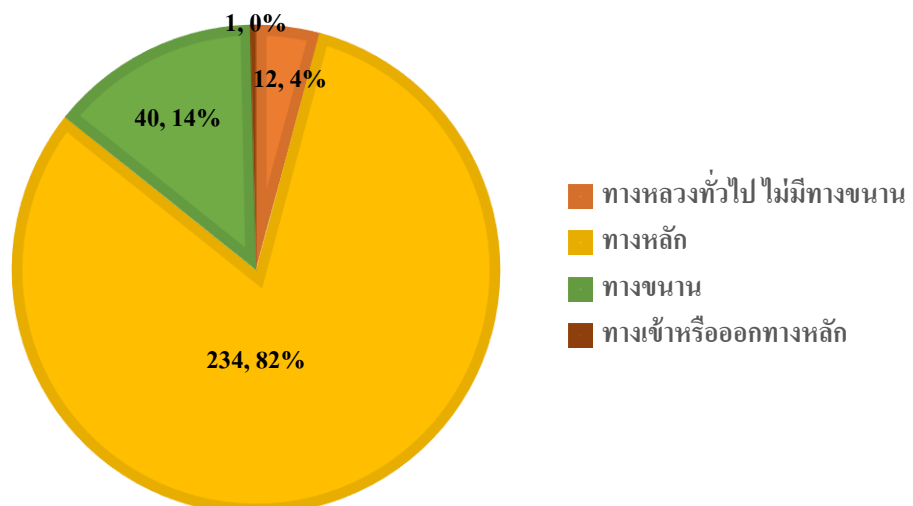
ตารางที่ 3.3 สถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 เฉพาะช่วงถนน
กม. 11 ถึง กม. 34 จำแนกตามช่วงเวลา

เวลา	จำนวนครั้งที่เกิดอุบัติเหตุ
0.00-3.00	12
3.00-6.00	15
6.00-9.00	36
9.00-12.00	38
12.00-15.00	58
15.00-18.00	72
18.00-21.00	36
21.00-23.59	20
รวม	287



รูปที่ 3.5 เปอร์เซ็นต์การเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 เฉพาะช่วงถนน กม. 11 ถึง กม. 34 จำแนกตามช่วงเวลา

เมื่อพิจารณาสถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายจำแนกตามประเภทของทาง จากจำนวนการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 287 ครั้ง พบว่า เกิดอุบัติเหตุมากที่สุดบนทางหลัก จำนวน 234 ครั้ง รองลงมา คือเกิดอุบัติเหตุบนทางขนานจำนวน 40 ครั้ง เกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงทั่วไปที่ไม่มีทางขนาน จำนวน 12 ครั้ง และเกิดอุบัติเหตุน้อยที่สุดบริเวณทางเข้าหรือทางออกทางหลัก จำนวน 1 ครั้ง ซึ่งคิดเป็น 81.53%, 13.94%, 4.18% และ 0.35% ของการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.6

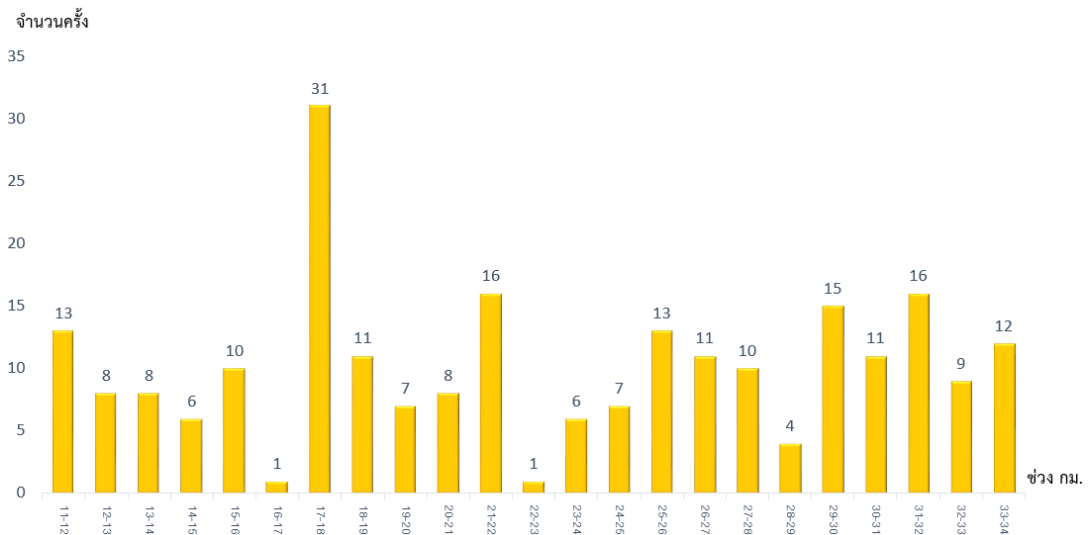


รูปที่ 3.6 เปอร์เซ็นต์การเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 เฉพาะช่วงถนน กม. 11 ถึง กม. 34 จำแนกตามประเภทของทาง

เนื่องจากการเกิดอุบัติเหตุมีมากที่สุดบนทางหลัก จำนวน 234 ครั้ง ซึ่งคิดเป็น 82% ของการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมดในช่วงถนน กม. 11 ถึง กม. 34 จึงทำการพิจารณาจำนวนการเกิดอุบัติเหตุเฉพาะบนทางหลัก จำแนกรายปีที่เก็บข้อมูลดังตารางที่ 3.4 และจำแนกเป็นช่วง ๆ ละ 1 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงกิโลเมตรที่ 17 เฉพาะช่องทางหลักเกิดอุบัติเหตุมากที่สุดถึง 31 ครั้ง ตลอดช่วงเวลา 5 ปี

ตารางที่ 3.4 สถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 เฉพาะช่องทางหลักบนช่วงถนน กม. 11 ถึง กม. 34 จำแนกรายปี

ปี	จำนวนครั้งที่เกิดอุบัติเหตุ
54	53
55	47
56	46
57	46
58	42
รวม	234



รูปที่ 3.7 สถิติการเกิดอุบัติเหตุลักษณะการชนแบบชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2 เฉพาะช่องทางหลักบนช่วงถนน กม. 11 ถึง กม. 34 จำแนกเป็นช่วง ๆ ละ 1 กิโลเมตร

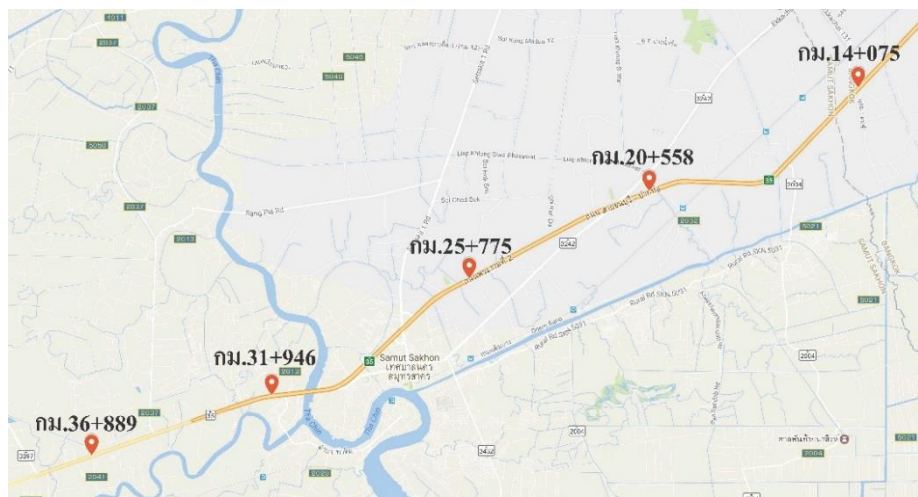
การเลือกช่วงถนนที่จะดำเนินงานวิจัยจะทำการพิจารณาจากช่วงที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นบ่อยครั้งและมีการไหลของจราจรค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งพบว่าจุดที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นบ่อยครั้งคือบริเวณ กม. 17 ซึ่งมีจำนวนมากถึง 31 ครั้ง แต่หลังจากได้ประสานงานกับแขวงทางหลวงในพื้นที่แล้ว ได้รับทราบว่าช่วงบริเวณ กม. 17 การไหลของจราจรไม่ได้สม่ำเสมอตลอดทั้งวัน อีกทั้งบริเวณนั้นมีชุมชนตั้งอยู่ และมีจุดเข้า-ออกทางหลักหลายจุด ทำให้รบกวนการไหลของจราจรและอาจทำให้ผลงานวิจัยเกิดข้อผิดพลาด จึงได้พิจารณาช่วงถนนบริเวณ กม. 25 ถึง 29 ซึ่งเป็นช่วงถนนที่กรมทางหลวงกำหนดเป็นจุดเฝ้าระวังอุบัติเหตุในช่วงเทศกาล เพื่อศึกษาแนวทางการลดอุบัติเหตุจากการชนท้ายโดยการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ทั้งนี้ การวิเคราะห์ช่วงถนนที่จะเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเป็นช่วง ๆ ละ 5 กิโลเมตร เนื่องจากข้อมูลในรายงานอ้างอิงของ พลเทพ เลิศวรรณิช และคณะ (2550) ที่ได้นำเสนอระยะห่างในการขับริยยนต์ตามกันที่ปลอดภัยที่ความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามที่กฎหมายกำหนด ระบุว่าระยะในการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” 1 ชุด มีระยะทางประมาณ 645 เมตร และควรเว้นช่วงในการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Dot” ชุดต่อไปเป็นระยะทาง 1500 เมตร แสดงดังตารางที่ 3.5 ดังนั้น การศึกษาวิจัยจึงได้กำหนดแนวทางการดำเนินการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” จำนวน 3 ชุด ในช่วงระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร ตั้งแต่บริเวณ กม. 23+200 ถึง กม. 28+309

ตารางที่ 3.5 ระยะห่างในการขับริยยนต์ตามกันที่ปลอดภัย
(ที่มา: พลเทพ เลิศวรรณิช และคณะ, 2550)

Posted Speed (km/h)	Recommended Following Distance (meters)	S Marking Spacing (meters)	Minimum Marking in Pattern	L Min Pattern Length (meters)	X Pattern Spacing (meters)	Capacity (pc/ln/hr)
80	50	41	15	574	1300	1440
90	52	43	16	645	1500	1560
100	53	44	18	748	1600	1700
110	54	45	19	810	1800	1830
120	55	46	20	874	2000	1960

3.5.2 การสำรวจสถานที่เก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลภาคสนามจะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้กล้องถ่ายวิดีโอบันทึกภาพการจราจร ซึ่งจะติดตั้งไว้บนสะพานลอย เพื่อไม่ให้เป็นการรบกวนการจราจร โดยการเก็บข้อมูลภาคสนามในระยะก่อนติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” จะทำการเก็บข้อมูลพร้อมกันทั้ง 2 ทิศทาง ทิศทางละ 4 จุด คือ 3 กิโลเมตรก่อนเข้าช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, ภายในช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, 3 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัย และ 10 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัย จากการสำรวจเบื้องต้น พบว่า สะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูลก่อนเข้าช่วงถนนที่ทำงานวิจัย 3 กิโลเมตร คือ สะพานลอยบริเวณกิโลเมตรที่ 20+558 สำหรับทิศทางขาเล่งใต้ และสะพานลอยบริเวณกิโลเมตรที่ 31+946 สำหรับทิศทางขาเข้ากรุงเทพมหานคร สะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูลภายในช่วงถนนที่ทำงานวิจัย คือ สะพานลอยบริเวณกิโลเมตรที่ 25+775 สำหรับทั้ง 2 ทิศทาง สะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูลหลังผ่านช่วงที่ทำงานวิจัย 3 กิโลเมตร คือ สะพานลอยบริเวณกิโลเมตรที่ 31+946 สำหรับทิศทางขาเล่งใต้ และสะพานลอยบริเวณกิโลเมตรที่ 20+558 สำหรับทิศทางขาเข้ากรุงเทพมหานคร สะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูลหลังผ่านช่วงที่ทำงานวิจัย 10 กิโลเมตร คือ สะพานลอยบริเวณกิโลเมตรที่ 36+889 สำหรับทิศทางขาเล่งใต้ และ สะพานลอยบริเวณกิโลเมตรที่ 14+075 สำหรับทิศทางขาเข้ากรุงเทพมหานคร ส่วนการเก็บข้อมูลภาคสนามในระยะหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” จะทำการเก็บข้อมูลหลังจากวันที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” แล้วเสร็จ โดยการเก็บข้อมูลพร้อมกันทั้ง 2 ทิศทาง ทิศทางละ 4 จุด คือ 3 กิโลเมตรก่อนเข้าช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, ภายในช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, 3 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัยและ 10 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัย ซึ่งสะพานลอยที่ใช้เก็บข้อมูลจะเป็นสะพานลอยเดียวกับการเก็บข้อมูลภาคสนามในระยะก่อนติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” แสดงดังรูปที่ 3.8 ถึง รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งสะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.9 รูปสะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูล กม. 14+075



รูปที่ 3.10 รูปสะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูล กม. 20+558



รูปที่ 3.11 รูปสะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูล กม. 25+775



รูปที่ 3.12 รูปสะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูล กม. 31+946

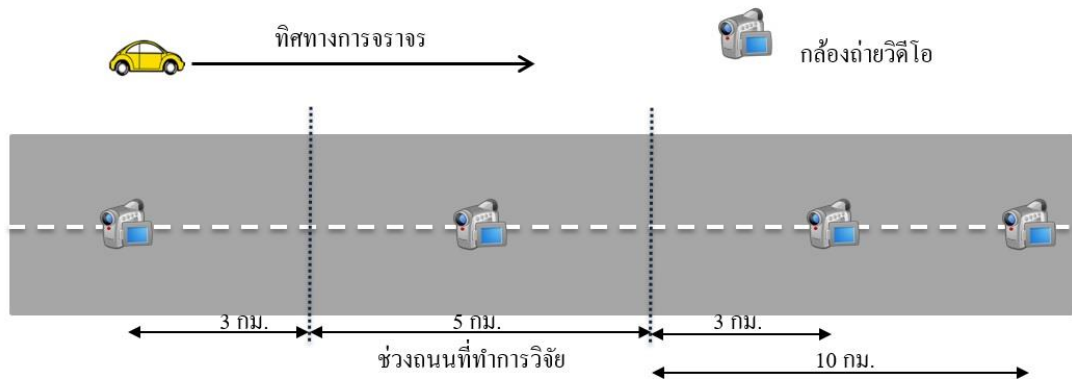


รูปที่ 3.13 รูปสะพานลอยที่สามารถใช้ในการเก็บข้อมูล กม. 36+889

3.5.3 การเก็บข้อมูลภาคสนามในระยะก่อนติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ

“Transverse Bar” และวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลจะเลือกช่วงถนนที่มีสถิติอุบัติเหตุจากการชนท้ายเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้กล้องถ่ายวิดีโอบันทึกภาพการจราจร ซึ่งจะติดตั้งไว้บนสะพานลอยเพื่อไม่ให้เป็นการรบกวนการจราจร โดยทำการเก็บข้อมูลในช่องจราจรที่อยู่ติดกับเกาะกลาง (Median Lane) และเลนกลาง (Middle Lane) ซึ่งทั้ง 2 ช่องจราจร รถยนต์ใช้ความเร็วค่อนข้างสูงในการขับขี่ โดยเก็บข้อมูลพร้อมกันทั้ง 2 ทิศทาง ทิศทางละ 4 จุด คือ 3 กิโลเมตรก่อนเข้าช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, ภายในช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, 3 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัย และ 10 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัยโดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูลจราจรทิศทางละ 1 วันหรือ 24 ชั่วโมง เนื่องจากข้อจำกัดในจำนวนอุปกรณ์การเก็บข้อมูลภาคสนามที่มีอย่างละ 2 ชุด การเก็บข้อมูลจึงต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลทั้งสองทิศทางเป็นเวลารวม 4 วัน แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การเก็บข้อมูลก่อนการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ได้แก่

(1) กล้องถ่ายภาพวิดีโอ

(2) สัตว์ระยะยะ

(3) อุปกรณ์แปลงภาพเคลื่อนไหวเป็นข้อมูลจราจร (Autoscope) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิไทยโรดส์

การวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม หมายถึง การวิเคราะห์ข้อมูลกระแสนจราจร จากอุปกรณ์แปลงภาพเคลื่อนไหวเป็นข้อมูลจราจร (Autoscope) ที่รวบรวมมาจากการเก็บข้อมูลทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ความเร็ว ปริมาณการไหล ความหนาแน่น ระยะห่างระหว่างรถ และความล่าช้า โดยวิเคราะห์ข้อมูลเป็นราย 5 นาที จนครบ 24 ชั่วโมง

3.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบบจำลอง Car-following model

3.5.4.1 การประมาณค่าแบบจำลอง Car-following model ด้วยวิธี Maximum Likelihood Estimation

ในส่วนนี้แสดงแบบจำลองการขับรถตามกัน โดยใช้แบบจำลองการขับรถตามกันแบบจีเอ็มอันดับที่ 5 ($GM5^{th}$) ที่นำมาดัดแปลงเพื่อให้วิธี Maximum Likelihood Estimation สามารถใช้ในการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ได้

1. พัฒนาแบบจำลองการตามกันของรถ GM5th และความสัมพันธ์กับแบบจำลองการไหลของการจราจร

จากระบบสัญลักษณ์ที่ใช้ในการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง สมการของแบบจำลองการขับรถตามกันสามารถเขียนได้เป็น

$$a_n(t) = \frac{\alpha V_{nt}(t)^\beta}{\Delta X_n(t-T_n)^\gamma} \Delta V_n(t - T_n) \quad (3.2)$$

เราสมมติให้ความเร่งของผู้ขับขี่ที่วิ่งตามหลัง ณ เวลา t ใด ๆ เป็นสัดส่วนกับความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างรถนำหน้าและรถที่วิ่งตามหลัง โดยที่ ณ เวลา t ค่าคงตัว (sensitivity factor) เป็นฟังก์ชันของความเร็วรถคันที่กำลังพิจารณาอยู่ และระยะห่างระหว่างรถคันที่วิ่งตามกับรถคันที่นำหน้า โดยที่ T_n เป็นเวลาการตอบสนองของผู้ขับรถคันที่ n

สมมติให้การจราจรอยู่ในภาวะที่มีความเสถียร สมการที่ (3.2) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\alpha \cdot v^\beta}{s^\gamma} \cdot \frac{ds}{dt} \quad (3.3)$$

เมื่อ	v	คือ ความเร็วของการจราจรที่สถานะคงตัว
	s	คือ ระยะห่างการขับขี่ที่สถานะคงตัว
	α, β, γ	คือ พารามิเตอร์ของแบบจำลองการขับรถตามกัน

อินทิเกรตสมการที่ (3.3) ได้

$$\frac{1}{1-\beta} \cdot v^{1-\beta} = \frac{\alpha}{1-\gamma} \cdot s^{1-\gamma} + C \quad (3.4)$$

แทนค่า $1/k$ ใน s โดยที่ความหนาแน่นของการจราจรเป็นส่วนกลับของค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างรถยนต์แต่ละคัน

$$\frac{1}{1-\beta} \cdot v^{1-\beta} = \frac{\alpha}{1-\gamma} \cdot k^{\gamma-1} + C \quad (3.5)$$

ซึ่งประกอบด้วย 2 เงื่อนไข

- (1) $v=0 \Rightarrow k = k_j$ (jammed density) : (รถติด)
- (2) $k=0 \Rightarrow v = v_f$ (free - flow speed) : (ความเร็วอิสระ)

โดยใช้ 2 สมการนี้ในการแก้หาค่า C

$$v = v_f \cdot \left[1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^{\gamma-1} \right]^{\frac{1}{1-\beta}} \quad (3.6)$$

$$\alpha = \frac{\gamma-1}{1-\beta} \cdot \frac{v_f^{1-\beta}}{k_j^{\gamma-1}} \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.7) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว และความหนาแน่น โดยสมการจะถูกต้องเมื่อ $0 \leq \beta < 1$ และ $\gamma > 1$ ถ้าเราทราบค่าเวลาในการตอบสนอง (reaction time) ของผู้ขับขี่อยู่ก่อนแล้ว สมการที่ (3.7) ก็สามารถนำไปใช้ในการปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองการขับรถตามกันได้ โดยใช้ข้อมูลของการจราจรมหภาค (macroscopic traffic data) เช่น ความเร็ว และความหนาแน่น โดยทั่วไปแล้วเวลาในการตอบสนองของผู้ขับขี่จะแตกต่างกันไปในแต่ละคน ถึงแม้ว่าตามทฤษฎีจะมีความเป็นไปได้ที่จะได้ค่าเฉลี่ยของเวลาการตอบสนองของผู้ขับขี่ผ่านกระบวนการปรับเทียบโดยใช้ข้อมูลจุลภาค (microscopic traffic data) เช่น ความเร็ว และความเร่งของรถแต่ละคัน แต่ก็เป็นการยากที่จะเก็บข้อมูลระดับจุลภาคกับรถยนต์ทุกคันในกระแสจราจร ดังนั้นค่าเฉลี่ยของเวลาในการตอบสนองที่ปรับเทียบจากรถเพียงสองหรือสามคันในการทดลองจึงไม่ใช่ตัวแทนที่ดีของระบบจราจรทั้งหมด ในงานวิจัยครั้งนี้ ค่าของเวลาในการตอบสนองที่ใช้จะนำมาจากงานวิจัย และบทความอื่น ๆ ตามที่ค้นคว้ามาจากการทบทวนวรรณกรรม

2. การประมาณค่าพารามิเตอร์การขับรถตามกันด้วยวิธี Maximum Likelihood

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว - ความหนาแน่นของการจราจรที่ได้มาจากแบบจำลองการขับรถตามกันของ GM5th สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$v_i = v_f \cdot \left[1 - \left(\frac{k_i}{k_j} \right)^{\gamma-1} \right]^{\frac{1}{1-\beta}} + \varepsilon_i \quad (3.8)$$

โดยที่

v_i is the average speed of traffic stream at the i th observed interval

k_i is the average density of traffic stream at the i th observed interval

ε_i is the error term corresponding to the i th observed interval

v_f is the free - flow speed

k_j is the jammed density

เมื่อตัวคลาดเคลื่อน (error term) ถูกสมมติให้มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution)

$$\varepsilon_i \sim N[0, \sigma^2]$$

$$f(\varepsilon_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2}\varepsilon_i^2} \quad (3.9)$$

$$\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = \begin{cases} \sigma^2 & \text{if } i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.10)$$

ดังนั้น likelihood function ของข้อมูล N ชุด คือ ผลคูณของสมการที่ (3.9) เป็นจำนวน N ครั้งตามค่าของข้อมูลแต่ละชุด

$$\begin{aligned} L(\beta, \gamma, v_f, k_j, \sigma^2) &= \prod_{i=1}^N f(\varepsilon_i) = \prod_{i=1}^N f(v_i, k_i) \\ &= \prod_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \cdot \left[v_i - v_f \left[1 - \left(\frac{k_i}{k_j}\right)^{\gamma-1}\right]^{\frac{1}{1-\beta}}\right]^2\right) \\ &= \prod_{i=1}^N \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{N}{2}}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \cdot \left[v_i - v_f \left[1 - \left(\frac{k_i}{k_j}\right)^{\gamma-1}\right]^{\frac{1}{1-\beta}}\right]^2\right) \end{aligned}$$

เขียนเป็น log likelihood ได้ดังนี้

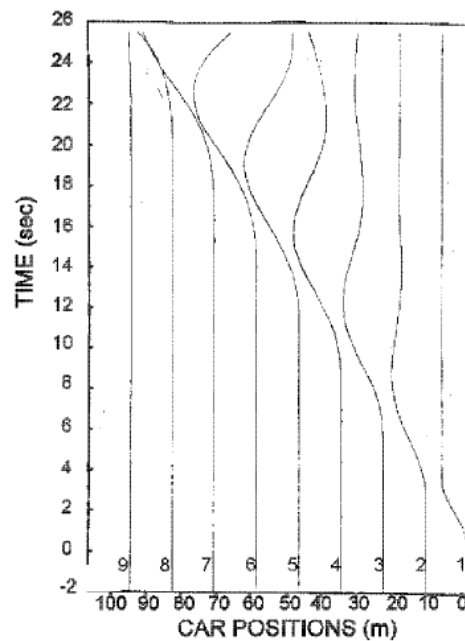
$$\ln L(\beta, \gamma, v_f, k_j, \sigma^2) = -\frac{N}{2} \ln(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \cdot \sum_{i=1}^N \left[v_i - v_f \left[1 - \left(\frac{k_i}{k_j}\right)^{\gamma-1}\right]^{\frac{1}{1-\beta}}\right]^2 \quad (3.11)$$

จากนั้นหาค่ามากที่สุดของ $\ln L$ เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ $\beta, \gamma, v_f, k_j, \sigma^2$ ของแบบจำลอง ในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard error) ของพารามิเตอร์แต่ละตัวจะใช้ information matrix ที่หามาจากความสัมพันธ์ของ Log-likelihood function ซึ่งจะให้ค่าขอบล่างของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard error) ของพารามิเตอร์แต่ละตัว หลังจากทำการปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองการขับรถตามกันแล้วก็จะวิเคราะห์สภาวะความมีเสถียรภาพของการจราจรต่อไป

3.5.4.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของแบบจำลองการขับรถตามกัน

การขับรถตามกันอย่างกระชั้นชิดอาจก่อให้เกิดผลเสียอย่างร้ายแรง เมื่อกลุ่มของรถยนต์เริ่มเข้าใกล้กันมากขึ้น อันเป็นผลมาจากพลศาสตร์ของกลุ่มรถที่มีต่อระยะห่างสัมพันธ์ ถ้าหากรถคันที่นำหน้าของกลุ่มรถเหล่านี้ค่อย ๆ ลดความเร็วลง และ กลับไปสู่ความเร็วเดิมอีกครั้ง รถคันถัดมาอาจตอบสนองด้วยการลดความเร็วอย่างรวดเร็ว (ขึ้นกับพารามิเตอร์ เช่น ระยะเวลาในการตอบสนองและ ระยะห่าง) รถคันที่สามก็จะลดความเร็วลงอย่างรวดเร็วขึ้นตามรถคันก่อนหน้า ดังนั้นหากพิจารณาแต่ละคันไล่ลงไปเรื่อย ๆ จะพบว่าอัตราการชะลอของรถที่รุนแรงมากขึ้น จนกระทั่งเกินความสามารถที่จะหยุดรถได้ทันทั่วทั้งที่ สำหรับกลุ่มรถที่มีความยาวเพียงพอการชนท้ายกันของรถยนต์ภายในกลุ่มย่อมเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

รูปที่ 3.15 แสดงผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสถานการณ์ที่กลุ่มรถวิ่งตามกันมาโดยใช้ความเร็วเท่ากัน และ มีระยะห่าง 40 ฟุตเท่า ๆ กัน ตำแหน่งของรถแต่ละคันจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของรถคันแรก (labeled 1) สมมุติว่า รถคันแรกนี้วิ่งไปด้วยความเร็วคงที่เมื่อเวลาที่ศูนย์รถคันแรกลดความเร็วลงแล้วกลับไปใช้ความเร็วเดิมใหม่ จะได้เส้นกราฟที่แสดงการตอบสนองของรถที่วิ่งตามกันมา จากกราฟของรถที่วิ่งตามกันพบว่า รถแต่ละคันจะเข้าใกล้ไปชิดกับรถคันข้างหน้าไปเรื่อย จนกราฟตัดกันที่แนวการวิ่งของรถคันที่ 7 และ 8 หรือ อีกนัยหนึ่งก็คือ รถคันที่ 8 ได้ชนท้ายรถคันที่ 7 นั้นเอง



รูปที่ 3.15 ภาพเชิงคณิตศาสตร์แสดงการขับรถตามกันอย่างต่อเนื่อง
(ที่มา: Darroch และ Rothery, 1973)

จากตัวอย่างนี้ แสดงให้เห็นถึงความไม่มีเสถียรภาพของภายในแถวการขับรถตามกัน หากคนขับแต่ละคนเว้นระยะห่างในการขับจี้ตามกันอย่างพอเพียงก็จะสามารถลดผลกระทบลงได้ ซึ่งการชนกันก็จะไม่เกิดขึ้นโดยทั่วไปการวิ่งตามกันเป็นลำดับด้วยระยะห่างที่ไม่เหมาะสมของรถภายในกลุ่มอาจทำให้เกิดการชนท้าย ซึ่งเป็นหนึ่งในอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมากที่สุดในประเทศไทยระยะห่างที่ไม่เหมาะสมเป็นผลมาจาก ความไม่ระมัดระวังในการขับจี้และบางส่วนมาจากความผิดพลาดของผู้ขับจี้ในการรักษาระยะห่างให้สอดคล้องกับความเร็ว ดังนั้น ความปลอดภัยในการจราจรจะเพิ่มขึ้นถ้าผู้ขับจี้ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับระยะการขับรถตามกันที่ปลอดภัย ในส่วนนี้ สูตรที่ใช้ในการประมาณค่าระยะห่างในการขับตามกันที่ปลอดภัยที่ช่วยประกันความมีเสถียรภาพแบบAsymptotic ของกระแสจราจรจะถูกสร้างขึ้น เหตุการณ์ที่รถคันหนึ่งขับตามรถคันอื่น จะมีเสถียรภาพ หรือ ไม่มีเสถียรภาพนั้น ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองการขับรถตามกัน โดยจะมีเสถียรภาพแบบ Asymptotic ถ้าแอมพลิจูดของระยะห่างระหว่างรถยนต์แต่ละคันในกลุ่มของรถยนต์ลดลงจากคันสู่คันเมื่อมีการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของรถคันหน้า โดยปกติแล้วความแปรปรวนจากการขับจี้ จะทำให้เกิดความแปรปรวนต่อระยะห่างระหว่างรถยนต์ด้วย พฤติกรรมที่ไม่มีเสถียรภาพภายในกลุ่มรถจะทำให้เกิดการชนกันโดยเป็นฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างรถขณะเริ่มต้น ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ Perturbation Technique ในการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของแบบจำลองการขับรถตามกัน

สมการหลักของแบบจำลองการจับรถตามกัน (3.1) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\ddot{X}_{n+1}(t+T) = \frac{\alpha \dot{X}_{n+1}^\beta(t+T)}{(X_n(t) - X_{n+1}(t))^\gamma} (\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)) \quad (3.12)$$

การตรวจสอบความมีเสถียรภาพเรารบกวนสมการ ด้วยตัวเบี่ยงเบน $\mathcal{E}$ ดังแสดง

$$X_n(t) = b \cdot n + v \cdot t + \mathcal{E}(n, t) \quad (3.13)$$

เมื่อ	$X_n(t)$	is the traveled distance of the n th vehicle at time t
	B	is the average distance between two consecutive vehicles at steady state
	V	is the speed of traffic stream at steady state
	$\mathcal{E}$	is the deviation from the steady state condition
	T	is reaction time (seconds)

การวิเคราะห์ขนาดเปรียบเทียบ (relative magnitude) ของระยะห่างระหว่างรถยนต์สองคันในระหว่างการจับตามัน เราสมมติ $\mathcal{E}(n, t) = f_n \cdot e^{i\omega t}$ แทนค่าสมการที่ (3.13) ในสมการที่ (3.12) จะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \ddot{\mathcal{E}}(n+1, t+T) &= \frac{\alpha [v + \dot{\mathcal{E}}(n+1, t+T)]^\beta}{[b + \mathcal{E}(n, t) - \mathcal{E}(n+1, t)]^\gamma} \{\dot{\mathcal{E}}(n, t) - \dot{\mathcal{E}}(n+1, t)\} \\ \ddot{\mathcal{E}}(n+1, t+T) &= \frac{\alpha [v]^\beta}{[b]^\gamma} \{\dot{\mathcal{E}}(n, t) - \dot{\mathcal{E}}(n+1, t)\} \\ \ddot{\mathcal{E}}(n+1, t+T) &= \lambda \{\dot{\mathcal{E}}(n, t) - \dot{\mathcal{E}}(n+1, t)\} \quad \text{Define } \lambda \text{ as } \frac{\alpha [v]^\beta}{[b]^\gamma} \\ e^{i\omega T} (i\omega)^2 f_{n+1} \cdot e^{i\omega t} &= \lambda [(i\omega) e^{i\omega t} (f_n - f_{n+1})] \quad \text{Since } \mathcal{E}(n, t) = f_n e^{i\omega t} \\ \frac{f_{n+1}}{f_n} &= \frac{\lambda}{i\omega \cdot e^{i\omega T} + \lambda} \end{aligned} \quad (3.14)$$

ใช้สูตรของออยเลอร์ (Euler Formula)

$$\frac{f_{n+1}}{f_n} = \frac{\lambda}{i\omega \cdot (\cos \omega T + i \cdot \sin \omega T) + \lambda}$$

$$\begin{aligned}
\frac{f_{n+1}}{f_n} &= \frac{\lambda}{i\omega \cos \omega T - \omega \sin \omega T + \lambda} \\
\left| \frac{f_{n+1}}{f_n} \right| &\leq 1 ; \quad \frac{\lambda^2}{(\lambda - \omega \sin \omega T)^2 + (\omega \cos \omega T)^2} \leq 1 \\
2\lambda \omega \sin \omega T &\leq \omega^2 \sin^2 \omega T + \omega^2 \cos^2 \omega T \\
2\lambda \omega \sin \omega T &\leq \omega^2 \\
\sin \omega T &\leq \frac{\omega}{2\lambda}
\end{aligned} \tag{3.15}$$

ให้ลิมิตของ ω เข้าใกล้ศูนย์ ความมีเสถียรภาพของกระแสดิจิตอลจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$\lambda \cdot T \leq \frac{1}{2}$$

$$\frac{\alpha \cdot [v]^\beta}{b^\gamma} \cdot T \leq \frac{1}{2} \tag{3.16}$$

โดยที่

$$\alpha = \frac{\gamma - 1}{1 - \beta} \cdot \frac{v_f^{1-\beta}}{k_j^{\gamma-1}}$$

จากหลักการของ Perturbation Technique ความมีเสถียรภาพของแบบจำลองการขับรถตามกัน GM5th ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยสมการที่ (3.16) คือ สภาวะความมีเสถียรภาพ ซึ่งใช้นามาตรวจสอบความมีเสถียรภาพของกลุ่มรถยนต์ใด ๆ โดยประกันว่ากระแสดิจิตอลจะมีเสถียรภาพแบบ Asymptotic

3.5.4.3 การกำหนดระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน

จากสมการที่ (3.16) ความมีเสถียรภาพของแบบจำลองการขับรถตามกัน สามารถเขียนได้เป็น

$$\lambda \cdot T \leq \frac{1}{2}$$

$$\frac{\alpha \cdot [v]^\beta}{b^\gamma} \cdot T \leq \frac{1}{2}$$

โดยที่

$$\alpha = \frac{\gamma - 1}{1 - \beta} \cdot \frac{v_f^{1-\beta}}{k_j^{\gamma-1}}$$

ดังนั้นการกำหนดระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน โดยใช้ค่าปรับเทียบแบบจำลอง GM5th สามารถคำนวณโดยการหาค่า b ในสมการที่ (3.16) สำหรับความเร็วต่าง ๆ ในงานวิจัยครั้งนี้ โดยสมมติให้เวลาในการตอบสนองของผู้ขับขี่ คือ 1.5 วินาที

3.5.4.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามจากเส้นทางที่กำหนดจะนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และระยะห่างระหว่างรถยนต์ (distance headway) โดยกำหนดว่าความสัมพันธ์มีลักษณะดังนี้

$$DH_i = \frac{A}{(Flow_i)^B} + \varepsilon_i \quad (3.17)$$

โดยที่ DH_i คือ ระยะห่างระหว่างรถยนต์จากข้อมูลช่วงที่ i
 $Flow_i$ คือ อัตราการไหลของปริมาณจราจรจากข้อมูลช่วงที่ i
 ε_i คือ ตัวคลาดเคลื่อน (Error term) จากค่าเฉลี่ย

ทั้งนี้ตั้งสมมุติฐานว่า ตัวคลาดเคลื่อนมีการกระจายแบบปกติ (Normally Distributed) และมีความเป็นอิสระต่อกันในแต่ละช่วงของข้อมูลดังนี้

$$\varepsilon_i \sim N[0, \sigma^2]$$

$$f(\varepsilon_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2}\varepsilon_i^2}$$

$$\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = \begin{cases} \sigma^2 & \text{if } i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.18)$$

โดยที่ $f_\varepsilon(\varepsilon_i)$ คือ Probability density function (pdf) ของตัวคลาดเคลื่อน

ดังนั้นสามารถนำวิธีการทางสถิติที่เรียกว่า Maximum Likelihood Estimation มาใช้ในการคำนวณค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ A , B และ σ^2 ที่ต้องการทราบจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์ได้ สำหรับวิธีการดังกล่าวนี้จะต้องหาค่า log-likelihood function จากข้อมูลทั้งหมดดังนี้

$$\begin{aligned}
LL(A, B, \sigma^2) &= \ln\left[\prod_{i=1}^N f(\varepsilon_i)\right] \\
&= \ln\left[\prod_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \text{EXP}\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon_i^2}{\sigma^2}\right)\right] \\
&= -\frac{N}{2} \cdot \ln(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \left\{ DH_i - \frac{A}{(Flow_i)^B} \right\}^2
\end{aligned} \tag{3.19}$$

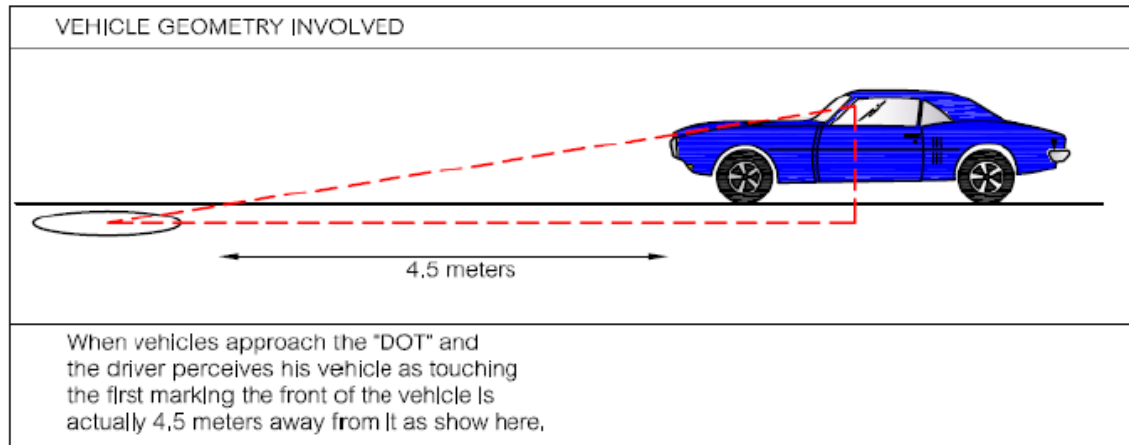
ในการคำนวณหาพารามิเตอร์ A, B และ σ^2 จะต้องเป็นค่าที่ทำให้ log-likelihood function ในสมการ (3.19) มีค่ามากที่สุด จากนั้นประมาณค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์แต่ละตัวจาก Information Matrix ของ log-likelihood function

3.5.5 การติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

เมื่อกำหนดระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกันที่เหมาะสม จะดำเนินการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ซึ่งจะต้องปรับแก้ระยะห่างของ “Transverse Bar” ด้วย เนื่องจาก ระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกันที่เหมาะสมที่ได้ก่อนหน้านี้ เป็นระยะห่างของจุดอ้างอิงของรถที่ตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นระยะห่างของ “Transverse Bar” จึงต้องปรับลดลง โดยการนำระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกันที่เหมาะสม ลบด้วย 4.5 เมตร เพื่อปรับแก้ระยะห่างที่ใกล้ที่สุดเพื่อให้สามารถมองเห็น “Transverse Bar” (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550 และ Department of Public Safety, 2006) และลบด้วย 5 เมตร เพื่อปรับแก้ความยาวรถคันหน้า (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550) แสดงดังรูปที่ 3.16 และ รูปที่ 3.17 นอกจากนี้ผู้วิจัยเสนอให้ลบความหนาของ “Transverse Bar” อีก 0.6 เมตร ด้วย เพราะระยะห่างที่คำนวณได้ตอนแรก เป็นระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางของ “Transverse Bar”

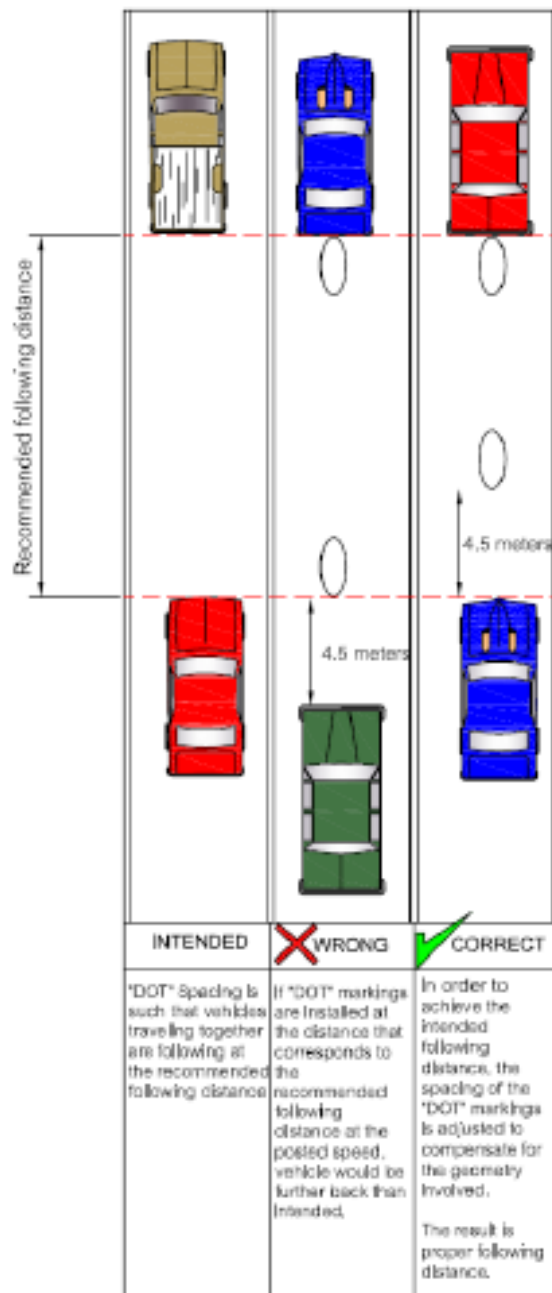
การติดตั้ง “Transverse Bar” จะทำการติดตั้งเป็นชุด ทั้งหมด 3 ชุด/เลน/ทิศทาง ซึ่งความยาวของ “Transverse Bar” 1 ชุด สามารถคำนวณได้จาก ผลรวมของ Adjustment Time คือ เวลาที่ผู้ขับในรถยนต์คันที่วิ่งตามต้องการเพื่อให้สามารถปรับระยะห่างระหว่างรถของเขากับรถที่วิ่งนำหน้า โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ 20 วินาที (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550 และ Department of Public Safety, 2006) รวมกับ Comprehension Time คือ เวลาที่ผู้ขับที่ต้องการใช้ในการทำความเข้าใจ ความหมายของเครื่องหมายบนผิวจราจร โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ 5 วินาที (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550 และ Department of Public Safety, 2006) แล้วนำไปคูณกับความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ คือ ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไมล์ต่อชั่วโมง ส่วนระยะห่างระหว่างชุดของ “Transverse Bar” คำนวณได้จาก Effective Time คือ ระยะเวลาที่รูปแบบ “Transverse Bar” มีผลต่อผู้ขับขี่ในการรักษาระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถ

ตามกัน หลังจากขับผ่านรูปแบบ “Transverse Bar” ไปแล้ว โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ 60 วินาที (พลเทพ เลิศวรรณิช และคณะ, 2550 และ Department of Public Safety, 2006) คูณกับความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ คือ ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์



รูปที่ 3.16 การปรับแก้ระยะสายตา

(ที่มา: พลเทพ เลิศวรรณิช และคณะ, 2550)



รูปที่ 3.17 เหตุผลในการปรับแก้ความยาวของรถยนต์
(ที่มา: พลเทพ เลิศวารนิช และคณะ, 2550)

3.5.6 การเก็บข้อมูลภาคสนามในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ

“Transverse Bar” และวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” จะทำการเก็บข้อมูลหลังจากติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” เรียบร้อยแล้ว โดยมีระยะในการเก็บข้อมูล 4 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 หลังจากวันที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” แล้วเสร็จ

1 สัปดาห์

ครั้งที่ 2 หลังจากวันที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” แล้วเสร็จ

1 เดือน

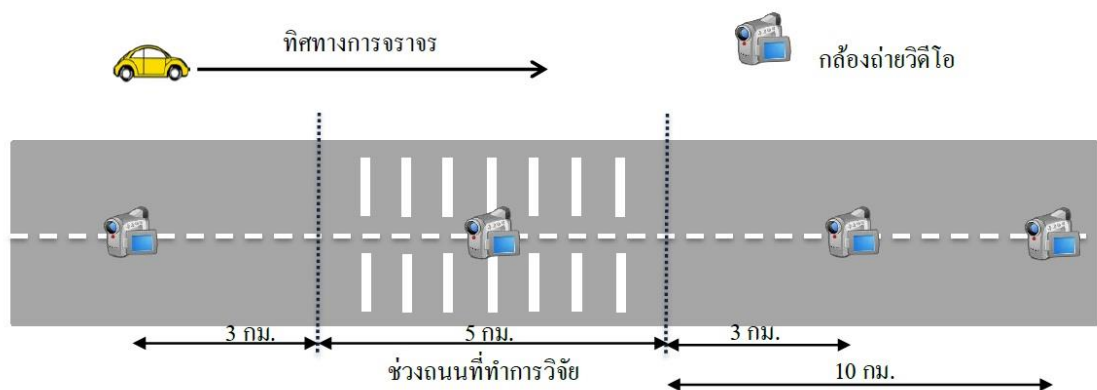
ครั้งที่ 3 หลังจากวันที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” แล้วเสร็จ

2 เดือน

ครั้งที่ 4 หลังจากวันที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” แล้วเสร็จ

3 เดือน

โดยการเก็บข้อมูลพร้อมกันทั้ง 2 ทิศทาง ทิศทางละ 4 จุด คือ 3 กิโลเมตรก่อนเข้าช่วงถนนที่ทำงานวิจัย , ภายในช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, 3 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัยและ 10 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัย ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การเก็บข้อมูลหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

การวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม หมายถึง การวิเคราะห์ข้อมูลกระแสนจราจร จากอุปกรณ์แปลงภาพเคลื่อนไหวเป็นข้อมูลจราจร (Autoscope) ที่รวบรวมมาจากการเก็บข้อมูลทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ความเร็ว ปริมาณการไหล ความหนาแน่น ระยะห่างระหว่างรถ และความล่าช้า โดยวิเคราะห์ข้อมูลเป็นราย 5 นาที จนครบ 24 ชั่วโมง

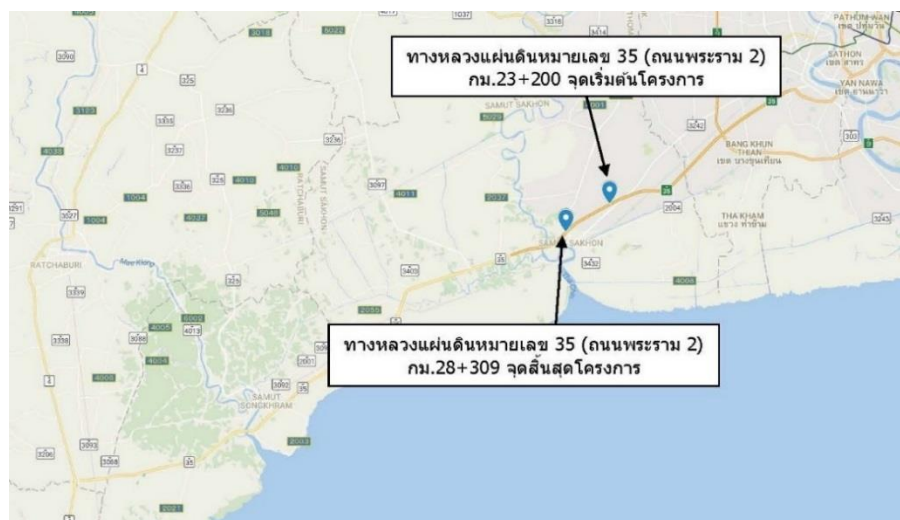
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะประกอบด้วยเนื้อหา 5 ส่วน คือ ส่วนแรกแสดงผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะก่อนติดตั้ง ส่วนที่สองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์ ส่วนที่สามแสดงรายละเอียดและผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบของแบบจำลองการขับรถตามกันแบบ จีเอ็ม (GM5th) โดยวิธี Maximum Likelihood ส่วนที่สี่แสดงค่าระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน และส่วนสุดท้ายแสดงแบบแนะนำในการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

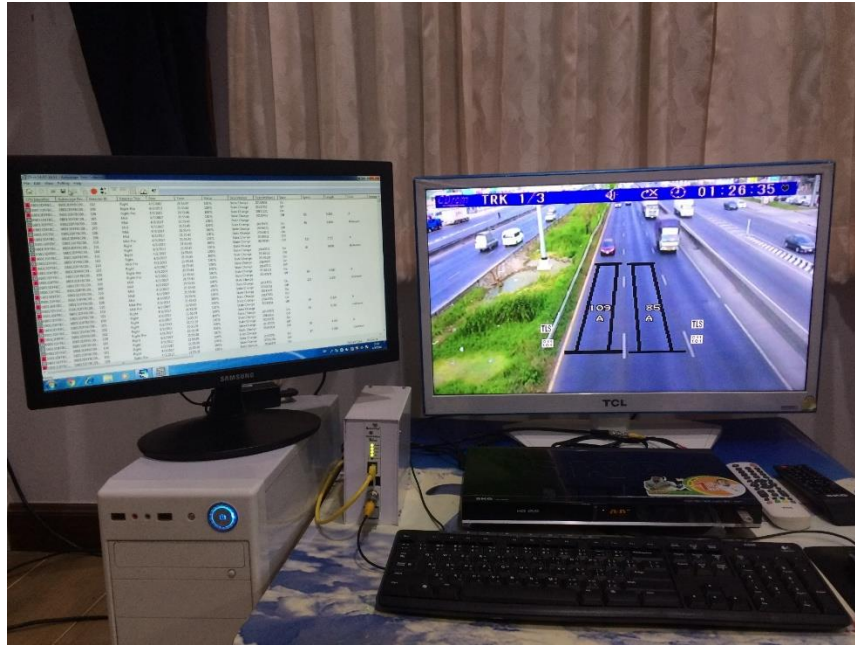
4.1 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะก่อนติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ

“Transverse Bar”

หลังจากเลือกช่วงถนนที่จะดำเนินงานวิจัยเรียบร้อยแล้ว คือช่วงถนนบริเวณ กม. 23+200 – กม. 28+309 แสดงดังรูปที่ 4.1 ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้กล้องถ่ายวิดีโอบันทึกภาพการจราจรในระยะก่อนติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” และนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอแปลงเป็นข้อมูลจราจร โดยใช้เครื่องมือ Autoscope แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งช่วงถนนที่จะทำงานวิจัย บนหลวงหมายเลข 35 หรือ ถนนพระรามที่ 2



รูปที่ 4.2 การแปลงภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอเป็นข้อมูลจราจร โดยเครื่องมือ Autoscope

4.1.1 การปรับแก้ความเร็วของข้อมูลภาคสนาม ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ

Autoscope

ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามนั้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลกระแสนจราจรด้วยเครื่องมือAutoscope ซึ่งทำการแปลงภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอที่บันทึกเป็นข้อมูลจราจร โดยจะได้ข้อมูล ความเร็ว การไหลของจราจร และ ความหนาแน่นจราจร แล้วพบว่า ข้อมูลความเร็วที่ได้จากเครื่องมือ Autoscope นั้น ยังไม่ถูกต้องเท่าที่ควร จึงต้องปรับแก้ความเร็วของยานพาหนะ โดยในงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการปรับแก้ด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีแรก ปรับแก้โดยวิธีการ Spot speed และ วิธีที่สอง ปรับแก้โดยการขับรถเองในช่วงที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม และ บันทึกความเร็วที่ใช้จริงขณะวิ่งผ่านกล้องวิดีโอ

4.1.1.1 การปรับแก้ความเร็วโดยวิธี Spot speed

การปรับแก้ด้วยวิธีการ Spot speed นั้น คือการหาความเร็วของยานพาหนะจากเวลาที่ใช้ในการขับผ่านจุดอ้างอิง 2 จุด โดยทราบระยะทางที่ชัดเจน แปลงมาเป็นความเร็วที่แท้จริง แล้วนำความเร็วที่ได้จากวิธี Spot speed มาปรับเทียบกับข้อมูลความเร็วที่ได้จากเครื่องมือ Autoscope ของยานพาหนะคันเดียวกัน ซึ่งเครื่องมือ Autoscope นั้น จะทำงานร่วมกับโปรแกรม Autoscope Network Browser บนคอมพิวเตอร์ โดยทางผู้วิจัยได้ทำการตั้งค่าในโปรแกรม Autoscope Network Browser บนคอมพิวเตอร์ ให้บันทึกข้อมูล เวลา เมื่อมียานพาหนะวิ่งผ่านจุดอ้างอิง 2 จุด ที่ทางผู้วิจัยกำหนดขึ้นและรู้ระยะทางระหว่าง 2 จุด แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งได้สุ่มตัวอย่าง ยานพาหนะประมาณ 200 คัน ต่อกล้องบันทึกข้อมูล 1 จุด เพื่อเป็นตัวแทน ในการนำมาปรับแก้ความเร็วของยานพาหนะทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์โดย

เครื่องมือ Autoscope ของกล้องจุดนั้น ๆ ซึ่งพบว่าความเร็วที่ได้จากวิธี Spot speed เมื่อนำมาปรับเทียบกับ ข้อมูลความเร็วที่ได้จาก Autoscope ของยานพาหนะคันเดียวกันแล้ว ความเร็วจะปรับสูงขึ้น โดยทางผู้วิจัยได้แบ่งการปรับเทียบความเร็ว เป็นช่วงความเร็วต่าง ๆ หลาย ๆ ช่วง แสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 วิธีการปรับแก้ความเร็วจาก Autoscope โดยวิธี Spot speed

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการปรับแก้ความเร็วจาก Autoscope โดยวิธี Spot speed

Autoscope Speed	Spot Speed	Dif Speed
94	95	1
95	100	5
95	129	34
96	100	4
96	95	-1
97	106	9
97	120	23
98	120	22
98	106	8
99	106	7

4.1.1.2 การปรับแก้ความเร็วโดยการทดสอบขับรถเองและบันทึกความเร็วที่ใช้จริง

การปรับแก้วิธีนี้ คือ ทางผู้วิจัยทำการขับรถร่วมกับกระแสน้ำจริงในช่วงที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม และบันทึกความเร็วที่ใช้จริงขณะวิ่งผ่านกล้องวิดีโอ โดยทำการขับรถวนซ้ำ ๆ หลาย ๆ รอบ ด้วยความเร็วคงที่ ในหลาย ๆ ระดับความเร็ว แล้วนำความเร็วจริงที่ใช้ในแต่ละรอบมาเปรียบเทียบกับข้อมูลความเร็วที่ได้จากอุปกรณ์ Autoscope ของยานพาหนะที่ผู้วิจัยขับในรอบเดียวกัน เพื่อเป็นตัวแทนในการนำมาปรับแก้ความเร็วของยานพาหนะทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเครื่องมือ Autoscope ของกล้องจุดนั้น ๆ เหมือนกับการปรับแก้ความเร็ววิธีแรก ซึ่งพบว่าเป็นวิธีปรับแก้ที่มีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการหาความเร็วโดยวิธี Spot speed ของยานพาหนะที่ผู้วิจัยขับ และนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วที่ใช้จริง พบว่า ความเร็วจากวิธี Spot speed มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ใช้จริง โดยมีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงดังตารางที่ 4.2

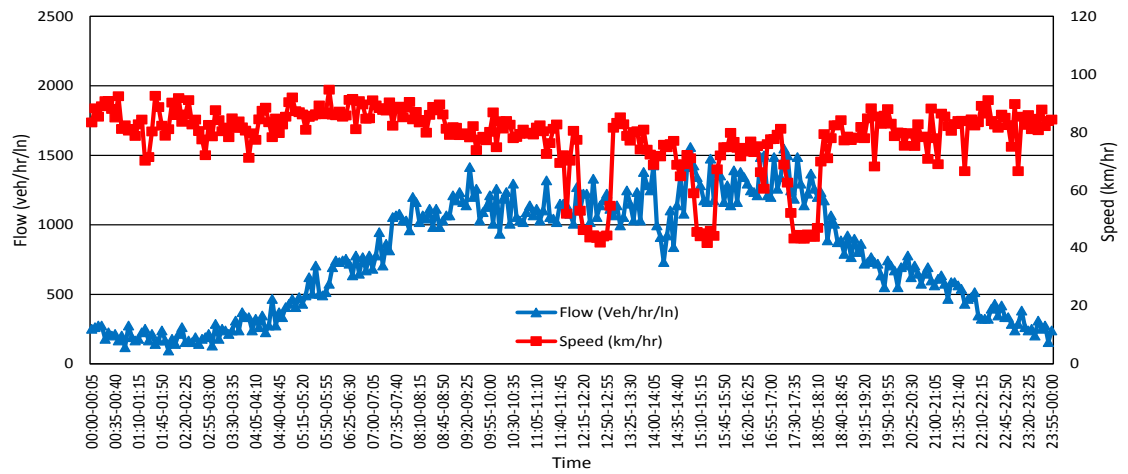
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความเร็วที่ใช้จริง กับ ความเร็วที่ปรับแก้ โดยวิธี Spot speed

Autoscope Speed	Spot Speed	Real Speed	%error
62	69	70	1.10
71	82	80	2.27
90	90	92	2.17
66	64	66	2.60
78	82	85	3.74
79	60	61	1.64
74	82	83	1.42
79	90	87	3.45
72	90	83	8.43
82	100	95	5.26

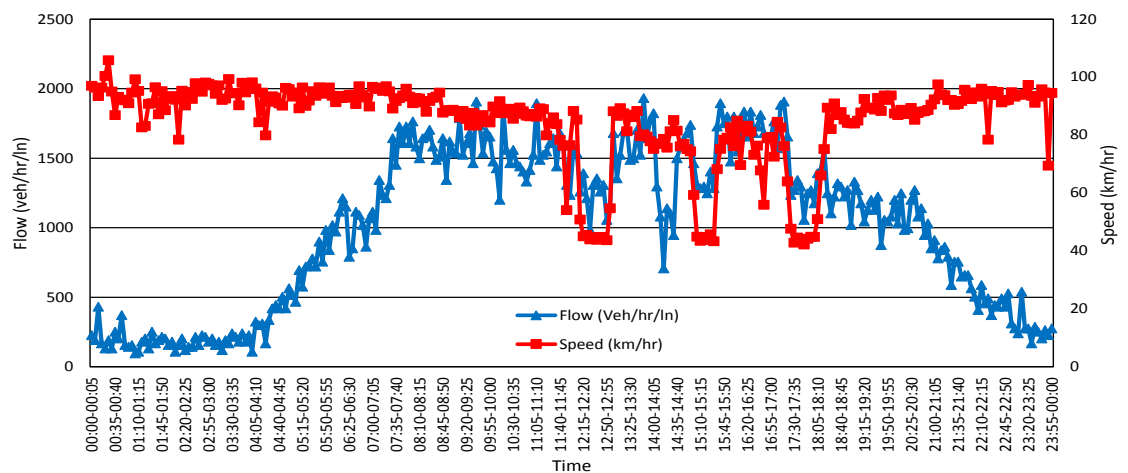
4.1.2 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็ว

ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามตลอด 24 ชั่วโมง ของแต่ละจุด ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็วแล้ว จะแสดงในรูปของความสัมพัทธ์ประเภทต่าง ๆ ดังภาคผนวก ข รูปที่ ข.1 ถึง รูปที่ ข.32 โดยแบ่งตามตำแหน่งสะพานลอย แบ่งตามทิศทางและแบ่งตามช่องจราจรที่ตั้งกล้องบันทึกข้อมูล

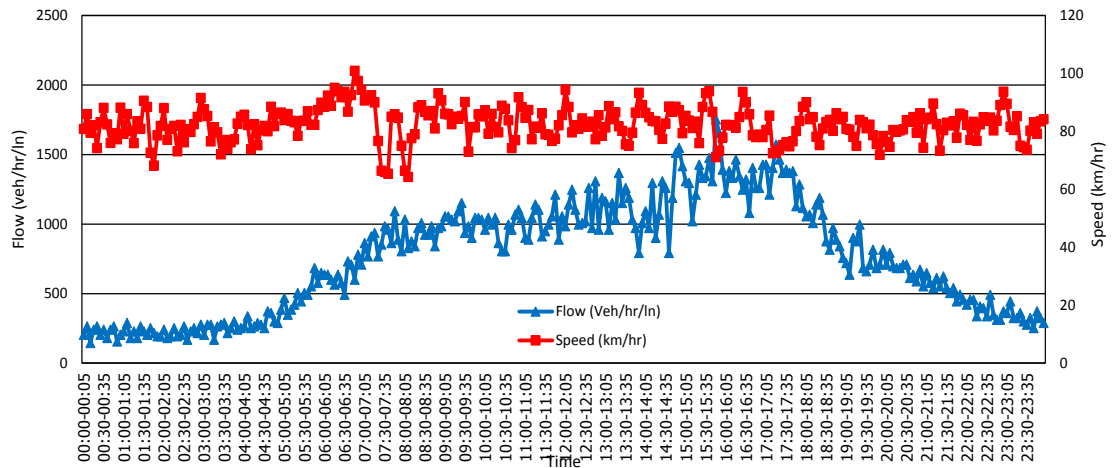
4.1.2.1 ความเร็วและการไหลของจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ



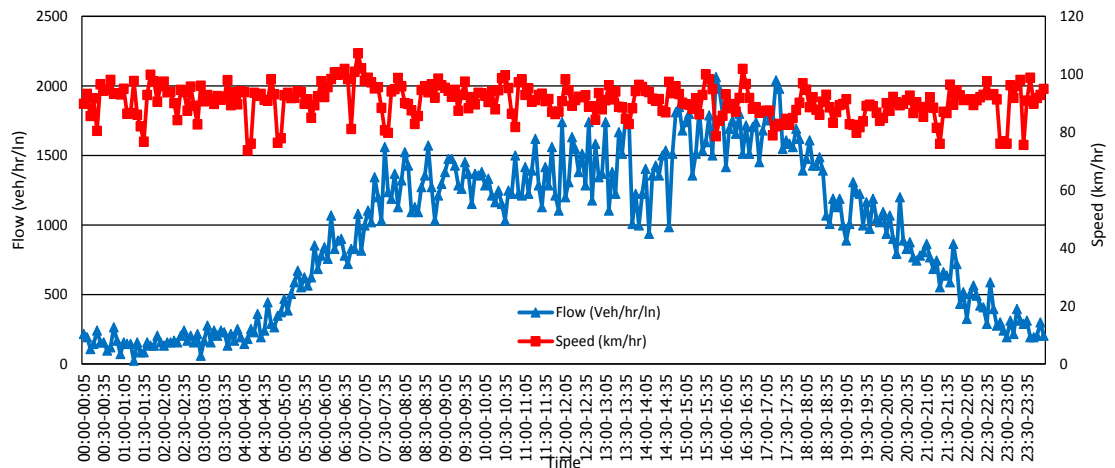
รูปที่ 4.4 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



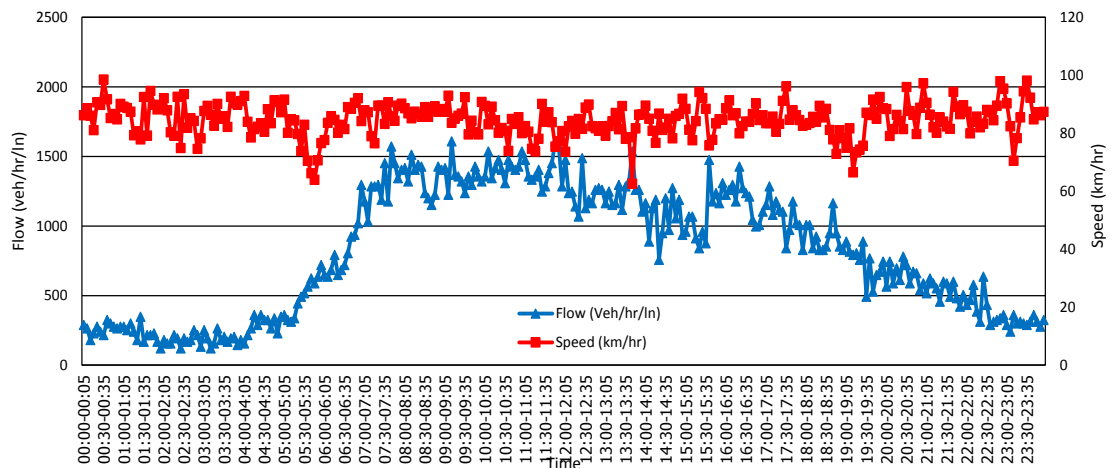
รูปที่ 4.5 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



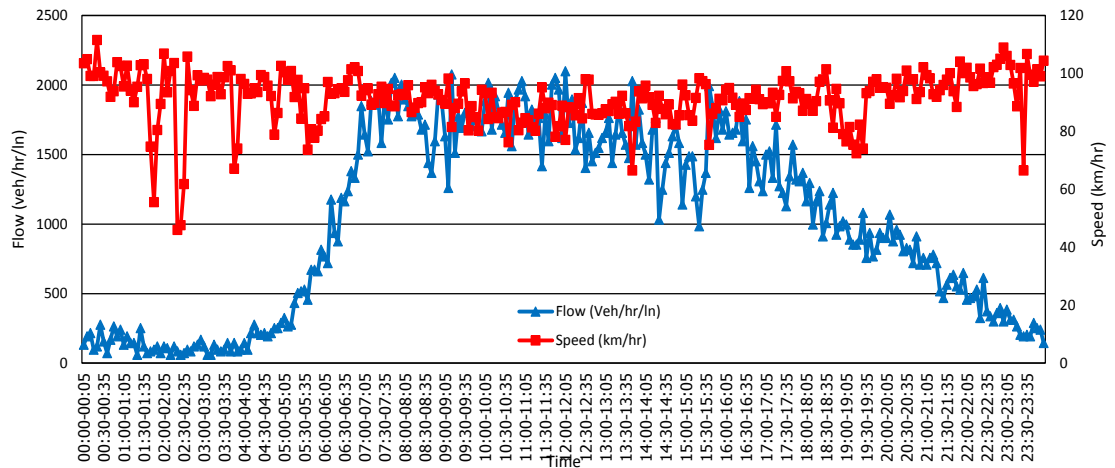
รูปที่ 4.6 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



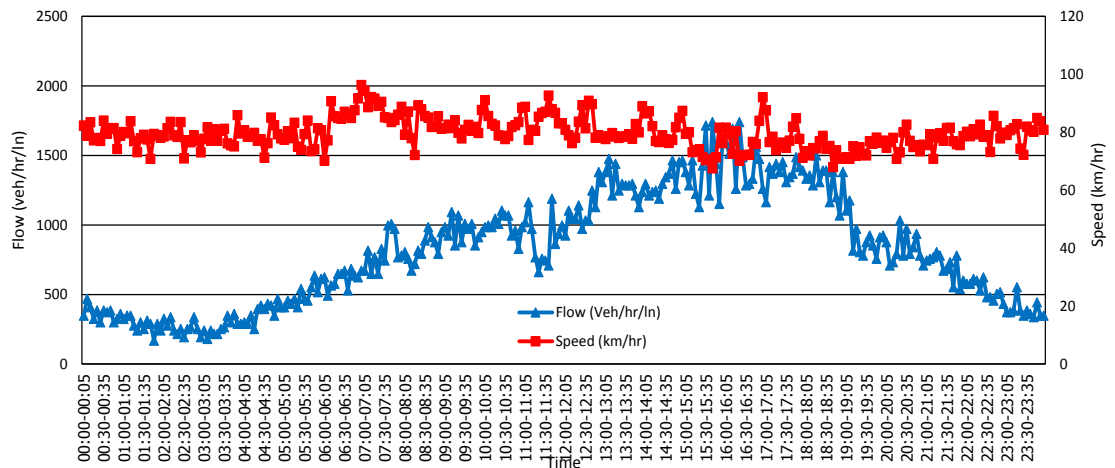
รูปที่ 4.7 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



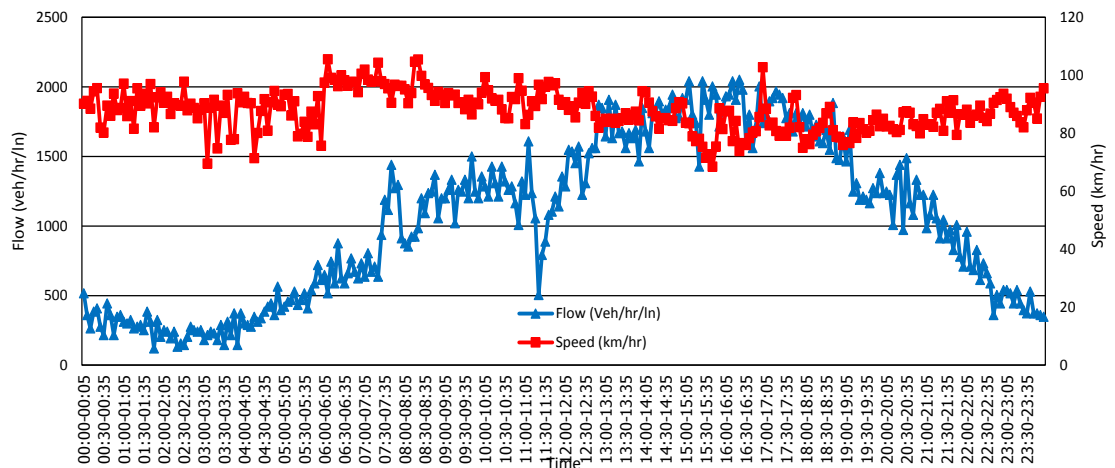
รูปที่ 4.8 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



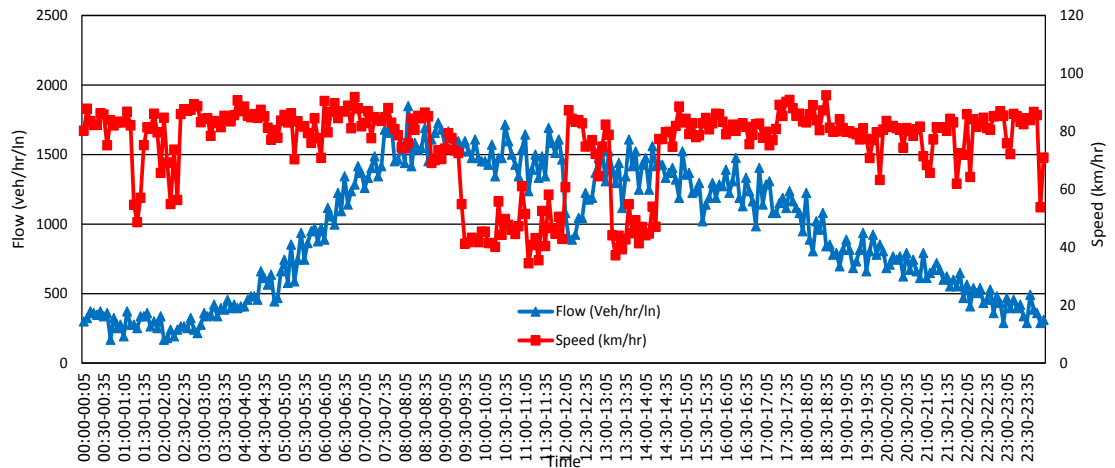
รูปที่ 4.9 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



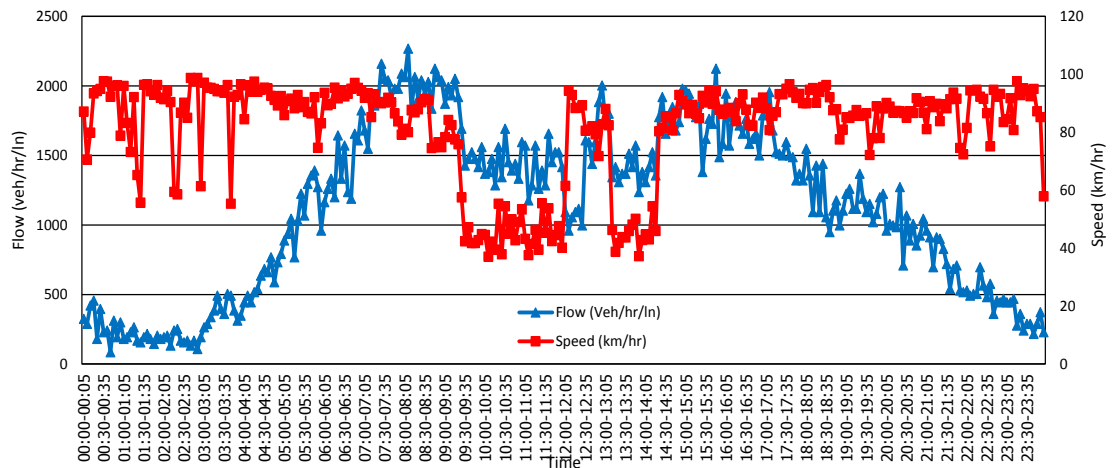
รูปที่ 4.10 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



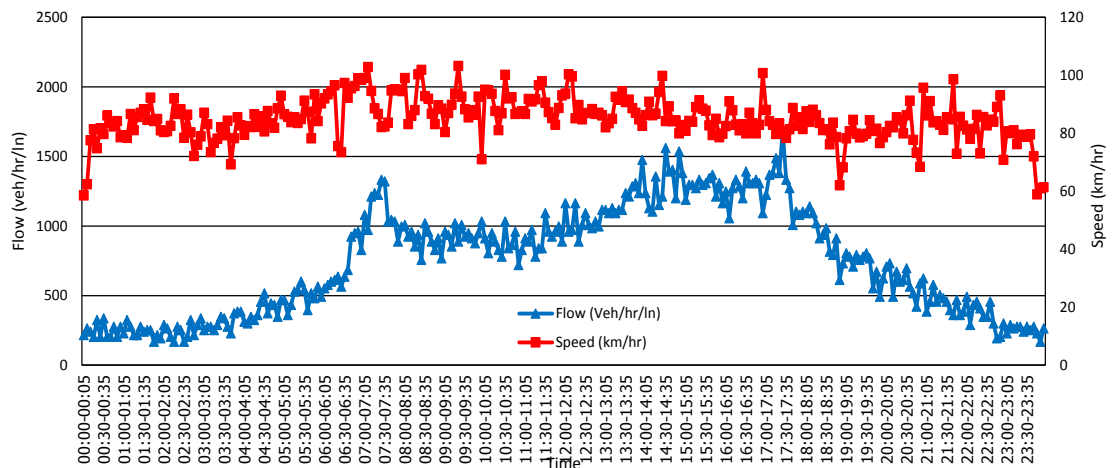
รูปที่ 4.11 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



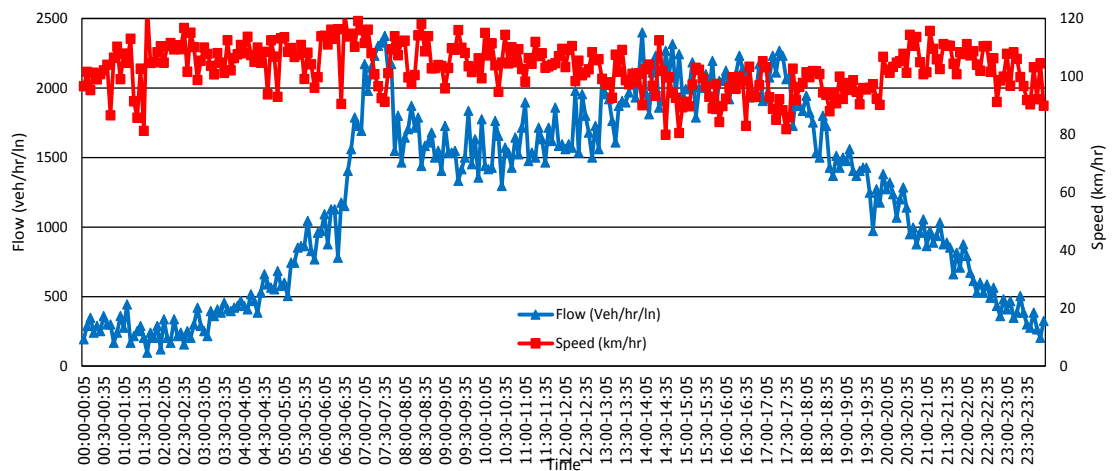
รูปที่ 4.12 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



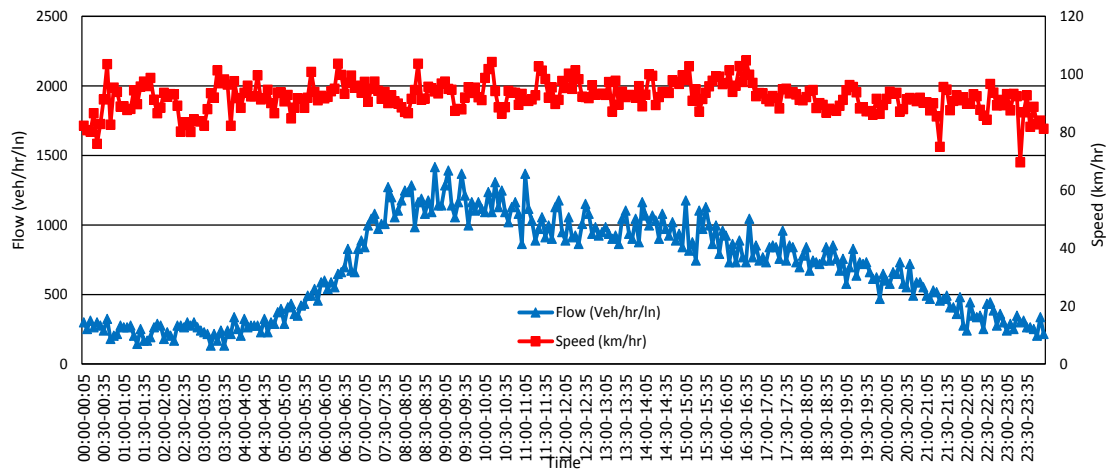
รูปที่ 4.13 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



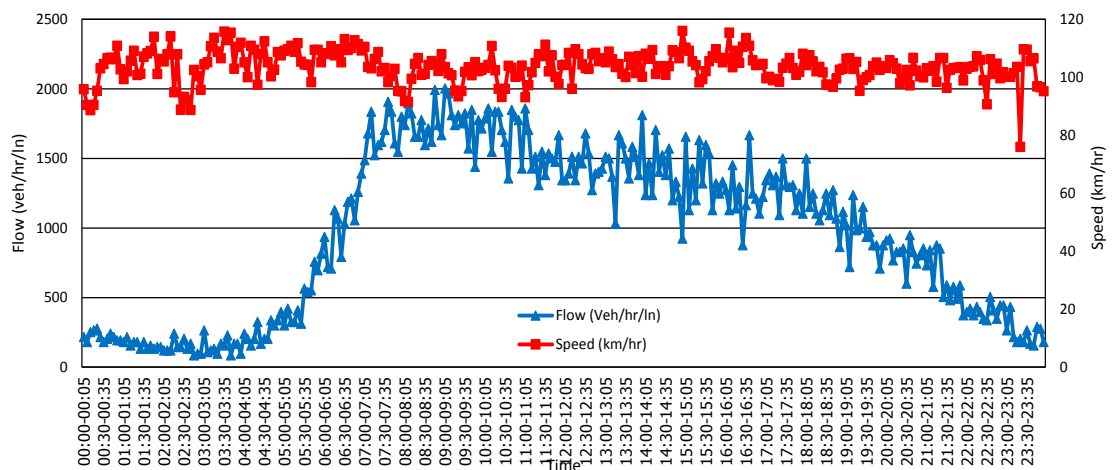
รูปที่ 4.14 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



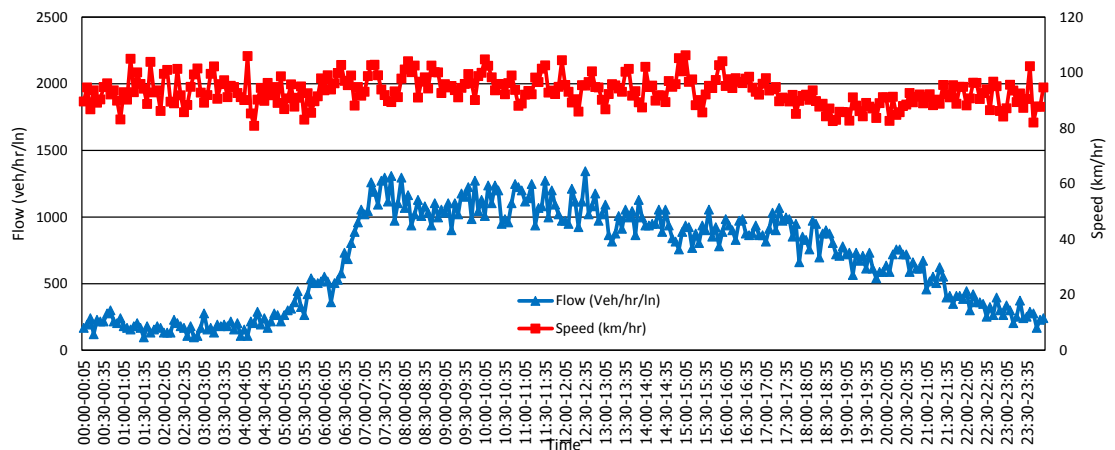
รูปที่ 4.15 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



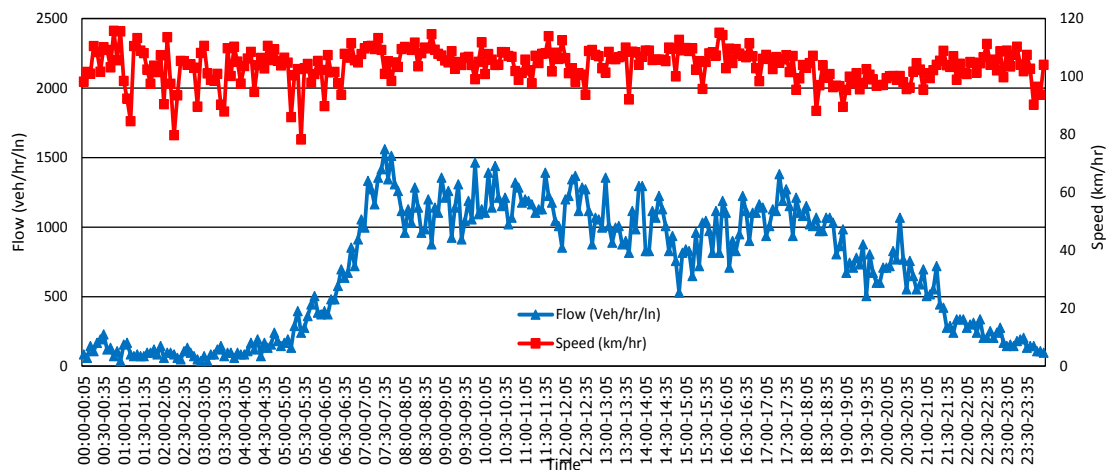
รูปที่ 4.16 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.17 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



รูปที่ 4.18 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.19 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

4.1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม จะนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และระยะห่างระหว่างรถยนต์ (distance headway)

$$DH_i = \frac{A}{(Flow_i)^B} + \varepsilon_i \quad (4.1)$$

โดยที่ DH_i คือ ระยะห่างระหว่างรถยนต์จากข้อมูลช่วงที่ i

$Flow_i$ คือ อัตราการไหลของปริมาณจราจรจากข้อมูลช่วงที่ i

ε_i คือ ตัวคลาดเคลื่อน (Error term) จากค่าเฉลี่ย

โดยนำวิธีการทางสถิติที่เรียกว่า Maximum Likelihood Estimation มาใช้ในการคำนวณหาค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ A, B และ σ^2 ที่ต้องการทราบจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์ได้ สำหรับวิธีการดังกล่าวนี้จะต้องหาค่า log-likelihood function จากข้อมูลทั้งหมดดังนี้

$$\begin{aligned}
 LL(A, B, \sigma^2) &= \ln\left[\prod_{i=1}^N f(\varepsilon_i)\right] \\
 &= \ln\left[\prod_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \text{EXP}\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon_i^2}{\sigma^2}\right)\right] \\
 &= -\frac{N}{2} \cdot \ln(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \left\{ \text{DH}_i - \frac{A}{(\text{Flow}_i)^B} \right\}^2
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

ในการคำนวณหาพารามิเตอร์ A, B และ σ^2 จะต้องเป็นค่าที่ทำให้ log-likelihood function ในสมการ มีค่ามากที่สุด จากนั้นประมาณค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์แต่ละตัวจาก Information Matrix ของ log-likelihood function จากข้อมูลและผลการคำนวณ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3 ถึงตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	270.2303653
A	96591.59421
B	1.028220049

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	315.905747
A	118427.8982
B	1.046360654

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	144.2137538
A	71387.76678
B	0.976610769

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	467.4111607
A	106733.0461
B	1.030647041

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	220.1976605
A	87849.18356
B	1.004167761

ตารางที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	5142.29625
A	68544.88054
B	0.941268354

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	65.66908718
A	69226.84501
B	0.977308416

ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	179.2203403
A	84471.07103
B	0.991721061

ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	397.6530932
A	87333.63952
B	1.017543104

ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	798.2676961
A	113437.6925
B	1.04682105

ตารางที่ 4.13 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	325.4262951
A	60181.84453
B	0.946728426

ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	315.554939
A	148824.0478
B	1.060270326

ตารางที่ 4.15 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	264.8688506
A	84058.57027
B	0.996432379

ตารางที่ 4.16 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	563.1631089
A	112704.5194
B	1.022703284

ตารางที่ 4.17 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	288.7975721
A	108655.7276
B	1.027728369

ตารางที่ 4.18 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	2385.878788
A	110083.5168
B	1.015060179

4.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองและผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบ

ในส่วนนี้แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองการขับรถตามกันแบบจีเอ็ม โดยใช้ข้อมูลการจราจร อาทิ ความเร็ว และ ความหนาแน่น จากที่กล่าวไว้ในบทก่อนหน้านี้ เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - ความหนาแน่น ที่หาได้จากแบบจำลองการขับรถตามกันของ GM5th สามารถเขียนได้เป็น

$$v = v_f \cdot \left[1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^{\gamma-1} \right]^{\frac{1}{1-\beta}} \quad (4.3)$$

โดยการนำตัวคลาดเคลื่อน (error term) ใส่เข้าไปในความสัมพันธ์ ก็สามารถเขียนเป็น log likelihood ได้ดังนี้

$$\ln L(\beta, \gamma, v_f, k_j, \sigma^2) = -\frac{N}{2} \ln(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \cdot \sum_{i=1}^N \left[v_i - v_f \left[1 - \left(\frac{k_i}{k_j} \right)^{\gamma-1} \right]^{\frac{1}{1-\beta}} \right]^2 \quad (4.4)$$

เมื่อ

- V_i is the average speed of traffic stream at the i th observed interval
 K_i is the average density of traffic stream at the i th observed interval
 V_f is the free - flow speed
 K_j is the jammed density
 σ^2 is the variance of error terms
 γ, β are the GM5th car – following parameters

จากการประมาณค่าด้วยวิธี Maximum Likelihood โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจ แสดงดัง ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ Likelihood Function มีค่าสูงสุด แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการขับรถตามกันด้วยวิธี Maximum Likelihood

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	89.769
V_f	90.306
K_j	308.710
γ	4.603
β	0.999

4.3 ระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน

จากที่กล่าวไว้ในบทก่อนหน้านี้ ความมีเสถียรภาพในแบบจำลองการขับรถตามกันของ GM5th สามารถเขียนได้เป็น

$$\lambda \cdot T \leq \frac{1}{2}$$

$$\frac{\alpha \cdot [v]^\beta}{b^\gamma} \cdot T \leq \frac{1}{2} \quad (4.5)$$

โดยที่

$$\alpha = \frac{\gamma - 1}{1 - \beta} \cdot \frac{v_f^{1-\beta}}{k_j^{\gamma-1}}$$

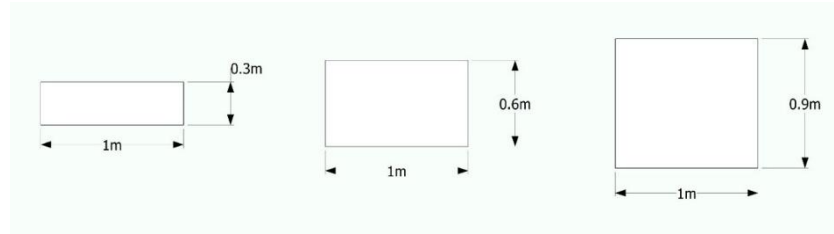
การกำหนดระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน โดยใช้ค่าเปรียบเทียบแบบจำลอง GM5th สามารถคำนวณโดยการหาค่า b ในสมการด้านบน สำหรับความเร็วต่าง ๆ ในการศึกษาี้ สมมุติให้เวลาในการตอบสนองของผู้ขับขี่ คือ 1.5 วินาที (เป็นค่าที่ได้จากวรรณกรรมทบทวน) แสดงดังตารางที่ 4.20 โดยระยะห่างที่นำมาใช้ในการกำหนดระยะห่างในการศึกษาครั้งนี้คือ ระยะห่างที่ความเร็ว 97 กม./ชม. เนื่องจากเป็นความเร็วที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ ของข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจมา

ตารางที่ 4.20 แสดงระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกันที่ความเร็วต่าง ๆ

Speed (km/hr)	Recommended following distance (m)
80	45
90	47
97	47
100	48
110	49
120	50

4.4 การทดสอบหาขนาดของเครื่องหมาย “Transverse Bar” ที่เหมาะสม

ประเด็นสำคัญในการติดตั้งเครื่องหมายจราจรแบบ “Transverse Bar” คือ ขนาดที่เหมาะสมของเครื่องหมาย “Transverse Bar” เพื่อให้แน่ใจว่าผู้ขับขี่จะสามารถสังเกตเห็นเครื่องหมายดังกล่าวได้อย่างชัดเจน รวมถึงมีความเหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากหากติดตั้งเครื่องหมายขนาดเล็กเกินไป อาจทำให้มองเห็นได้ไม่ชัดเจน ในขณะที่การติดตั้งเครื่องหมายที่มีขนาดใหญ่เกินไป นอกจากจะส่งผลทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็นแล้ว ยังอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนนที่สัญจรผ่าน เช่น ผิวทางลื่นในสภาพเปียก เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทดลองติดตั้งเครื่องหมาย “Transverse Bar” จำนวน 3 ขนาด ลงบนผิวจราจรในช่องถนนคู่ขนาน คือ ขนาด 1×0.3 เมตร ขนาด 1×0.6 เมตร และขนาด 1×0.9 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.20 เพื่อทดสอบว่าขณะขับรถผ่านเครื่องหมาย “Transverse Bar” ขนาดใดทำให้ผู้ขับขี่สามารถสังเกตเห็นเครื่องหมายได้ชัดเจน โดยใช้วิธีการขับรถทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.21 ถึงรูปที่ 4.23 ตามลำดับ สรุปได้ว่าขนาดของเครื่องหมาย “Transverse Bar” ที่เหมาะสมและผู้ขับขี่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายและชัดเจน คือขนาด 1×0.6 เมตร



รูปที่ 4.20 การทดสอบขนาดของเครื่องหมาย “Transverse Bar” ที่เหมาะสม



รูปที่ 4.21 การทดสอบติดตั้งเครื่องหมาย “Transverse Bar” ขนาด 1×0.3 เมตร



รูปที่ 4.22 การทดสอบติดตั้งเครื่องหมาย “Transverse Bar” ขนาด 1×0.6 เมตร



รูปที่ 4.23 การทดสอบติดตั้งเครื่องหมาย “Transverse Bar” ขนาด 1×0.9 เมตร

4.5 แบบแนะนำสำหรับการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” และการนำไปติดตั้งในช่วงถนนที่ได้กำหนดไว้

ในการนำผลงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริง ผู้วิจัยได้นำเสนอรูปแบบการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร แบบ “Transverse Bar” เพื่อให้ผู้ขับขี่ทราบถึงระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน โดยที่เครื่องหมายบนผิวการจราจรนี้ ควรนำมาใช้กับถนนในช่วงที่มีจำนวนอุบัติเหตุจากการชนท้ายสูงหรืออุบัติเหตุอันเนื่องมาจากผู้ขับขี่ที่มักมีพฤติกรรมขับรถตามแบบกระชั้น เครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” จะมีระยะห่างไม่น้อยกว่าระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับขี่ โดยการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวการจราจรแบบ “Transverse Bar” แสดงในรูปของแบบแนะนำ ดังตารางที่ 4.21 และแสดงผังรูปที่ 4.24 ถึง รูปที่ 4.33 หลังจากนั้นได้ดำเนินการติดตั้งบนพื้นที่ศึกษาแสดงผังรูปที่ 4.34 และ รูปที่ 4.35

คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับแบบแนะนำมีดังนี้

1. Comprehension Time (วินาที) คือ เวลาที่ผู้ขับขี่ต้องการใช้ในการทำความเข้าใจ ความหมายของเครื่องหมายบนผิวจราจร โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ 5 วินาที (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550 และ Department of Public Safety, 2006)
2. Perception และ Reaction Time (วินาที) คือ เวลาที่ผู้ขับขี่ทั่วไปบนเส้นทาง รับรู้ และ เริ่มตอบสนอง ต่อเครื่องหมายบนผิวจราจร โดยทั่วไปคือ 2.5 วินาที (Green Book 2004) เวลา P/R นี้แตกต่างจากเวลาการตอบสนองของผู้ขับขี่ ในแบบจำลองการขับรถตามกัน
3. Adjustment Time (วินาที) คือ เวลาที่ผู้ขับในรถยนต์คันที่วิ่งตามต้องการเพื่อให้สามารถปรับระยะห่างระหว่างรถของเขากับรถที่วิ่งนำหน้า โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ 20 วินาที (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550 และ Department of Public Safety, 2006)
4. Effective Time (วินาที) คือ ระยะเวลาที่รูปแบบ “Transverse Bar” มีผลต่อผู้ขับขี่ในการรักษาระยะห่างในการขับขี่ที่ปลอดภัย หลังจากขับผ่านรูปแบบ “Transverse Bar” ไปแล้ว โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ 60 วินาที (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550 และ Department of Public Safety, 2006)
5. Vehicle Correction (เมตร) คือ ระยะห่างของรถจาก “Transverse Bar” ที่ใกล้ที่สุดเพื่อให้สามารถมองเห็น “Transverse Bar” ได้จากระดับสายตาของผู้ขับขี่ ค่านี้สมมุติให้มีระยะ 4.5 เมตร วินาที (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550 และ Department of Public Safety, 2006)
6. Posted Speed limit (กม/ชม) คือ ความเร็วตามกฎหมายที่อนุญาตให้ขับขี่ได้
7. Marking Spacing, S (เมตร) คือ ระยะห่างระหว่าง “Transverse Bar” บนผิวทางมีค่าเท่ากับ ระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน ลบด้วย Vehicle Correction และลบด้วย 5 เมตร เพื่อปรับแก้ความยาวของรถคันหน้า (พลเทพ เลิศรวนิช และคณะ, 2550) แล้วลบด้วย 0.6 เมตร คือความหนาของ “Transverse Bar”

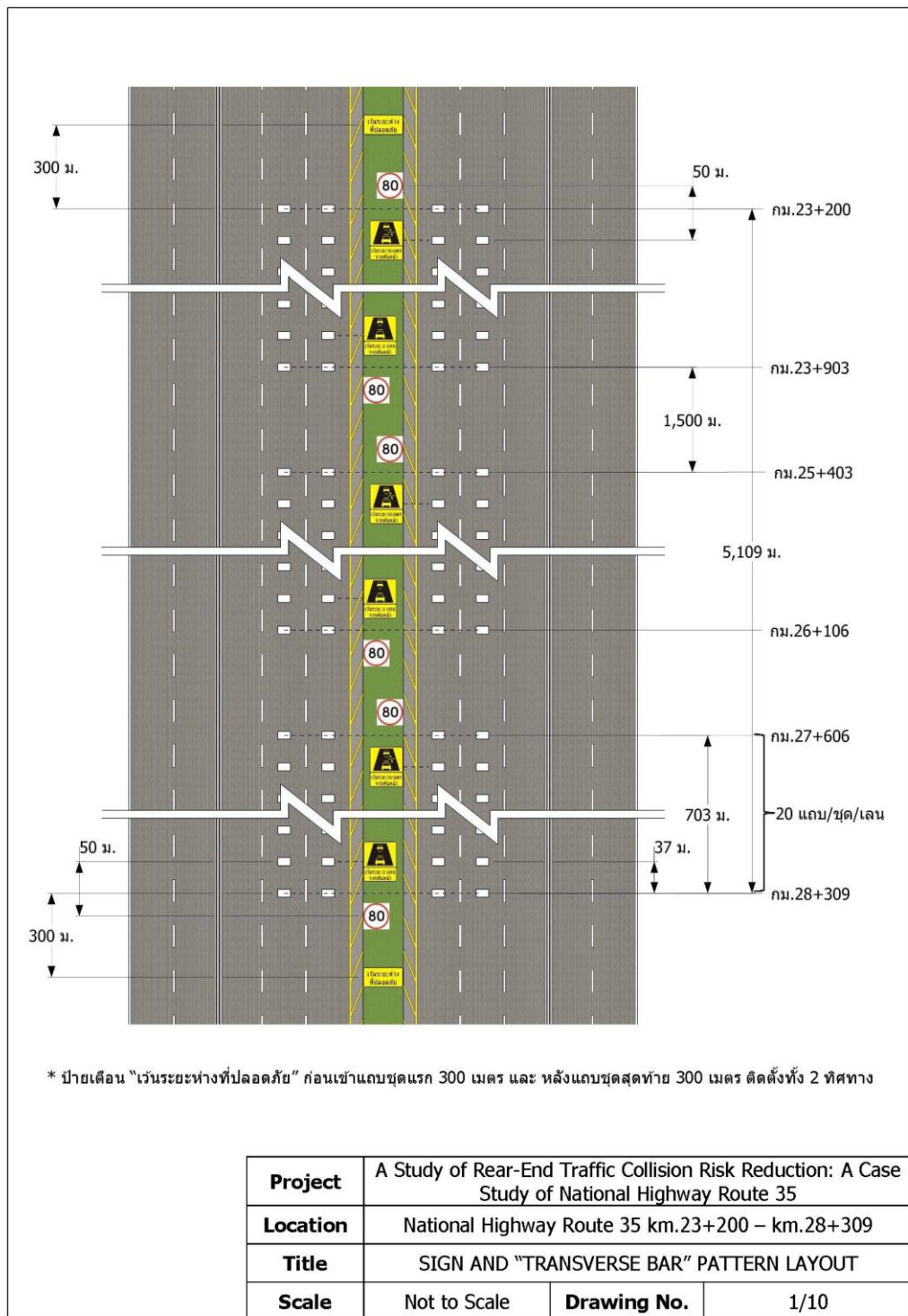
8. Number of Marking in System คือ จำนวนของ “Transverse Bar” ใน 1 ชุด มีจำนวนเท่ากับ ความยาวของ “Transverse Bar” 1 ชุดหารด้วยระยะห่างระหว่าง “Transverse Bar” แล้วบวกหนึ่ง

9. Pattern Length, L (เมตร) คือ ระยะวัดจากศูนย์กลางของ “Transverse Bar” แรกถึงศูนย์กลางของ “Transverse Bar” สุดท้ายในชุดเดียวกัน ระยะทางนี้มีค่าเท่ากับ Adjustment Time บวกกับ Comprehension Time แล้วนำไปคูณกับความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ คือ ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ ทัณฑ์

10. Pattern Spacing, X (เมตร) คือ ระยะทางที่รถจะวิ่งระหว่างรูปแบบของ “Transverse Bar” โดยมีค่าเท่ากับ effective time คูณกับความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ คือ ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ ทัณฑ์

ตารางที่ 4.21 ระยะห่างต่าง ๆ ของรูปแบบเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

Posted Speed (km/h)	Recommended Following Distance (meters)	S Marking Spacing (meters)	Minimum Marking in Pattern	L Min Pattern Length (meters)	X Pattern Spacing (meters)
80	45	36	17	576	1300
90	47	37	18	629	1500
97	47	37	20	703	1500
100	48	38	20	722	1600
110	49	39	21	780	1800
120	50	40	22	840	2000



รูปที่ 4.24 รูปแบบการติดตั้งป้ายและการจัดตำแหน่งของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ "Transverse Bar"



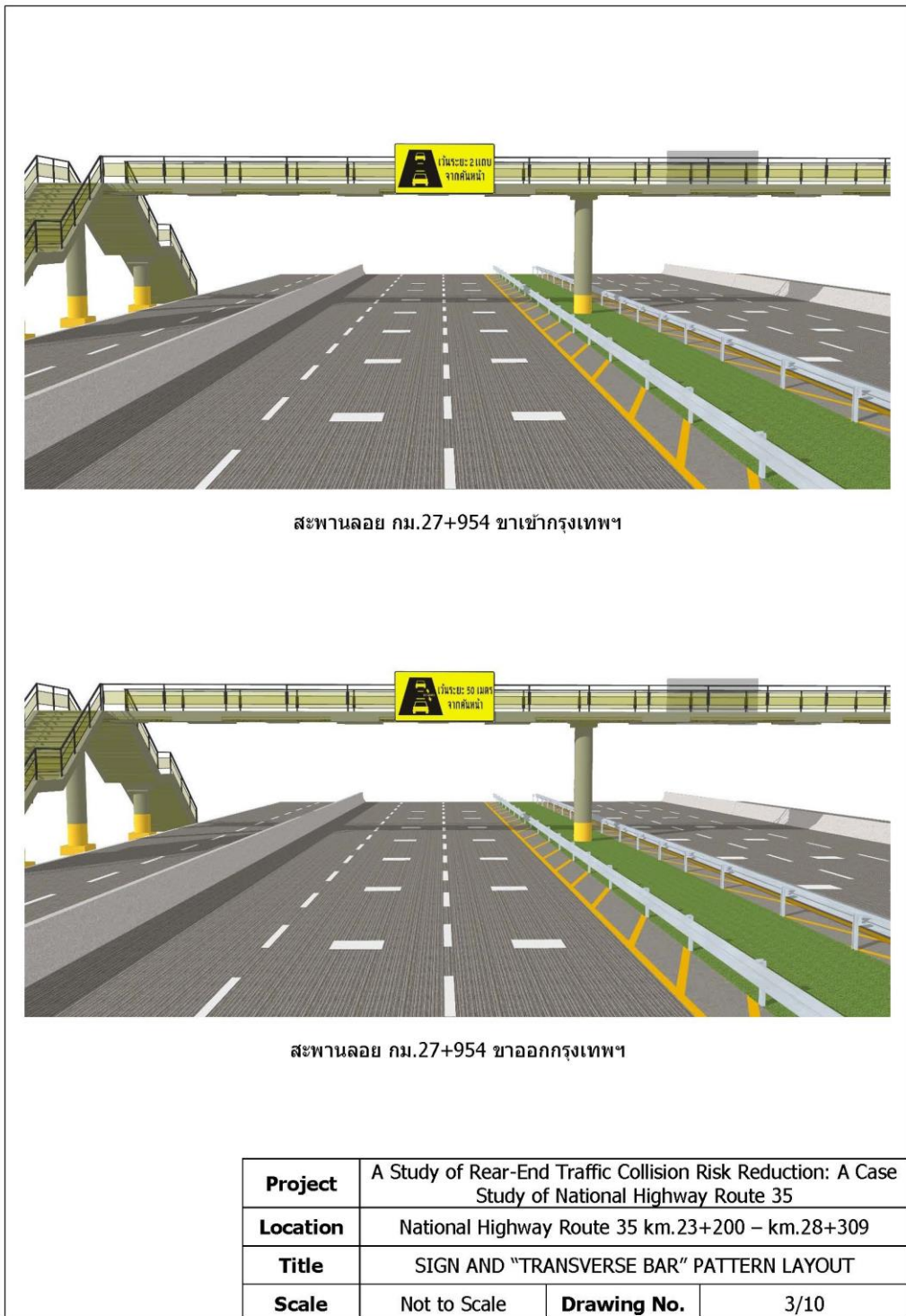
สะพานลอย กม.25+775 ขาเข้ากรุงเทพฯ



สะพานลอย กม.25+775 ขาออกกรุงเทพฯ

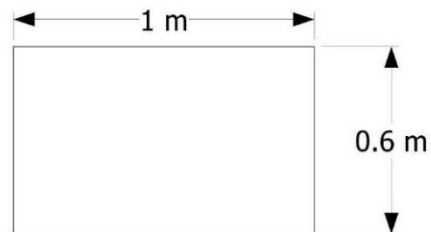
Project	A Study of Rear-End Traffic Collision Risk Reduction: A Case Study of National Highway Route 35		
Location	National Highway Route 35 km.23+200 – km.28+309		
Title	SIGN AND "TRANSVERSE BAR" PATTERN LAYOUT		
Scale	Not to Scale	Drawing No.	2/10

รูปที่ 4.25 แบบแนะนำแสดงป้ายบนสะพานลอย กม. 25+775 และ การจัดตำแหน่งของเครื่องหมาย
บนผิวจราจรแบบ "Transverse Bar"



รูปที่ 4.26 แบบแนะนำแสดงป้ายบนสะพานลอย กม. 27+954 และ การจัดตำแหน่งของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

"TRANSVERSE BAR" Tailgating Treatment



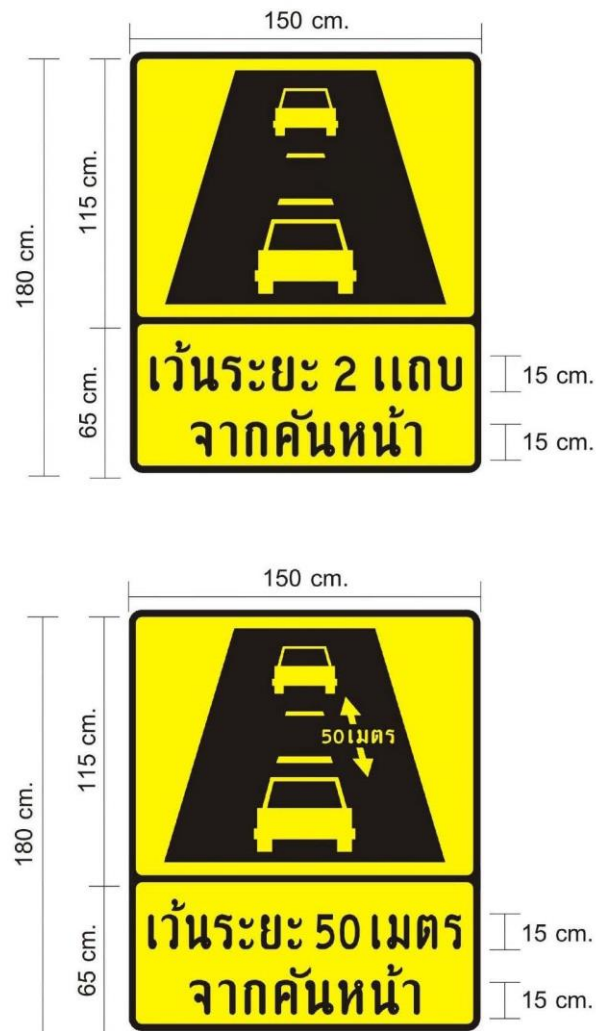
Thickness: 2 mm.

*Based on speed hump markings reference in the MUTCD

Project	A Study of Rear-End Traffic Collision Risk Reduction: A Case Study of National Highway Route 35		
Location	National Highway Route 35 km.23+200 – km.28+309		
Title	"TRANSVERSE BAR" DIMENSION		
Scale	Not to Scale	Drawing No.	4/10

รูปที่ 4.27 ขนาดของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ "Transverse Bar"

แบบป้ายเตือนสำหรับติดตั้งบริเวณเกาะกลางถนน



Project	A Study of Rear-End Traffic Collision Risk Reduction: A Case Study of National Highway Route 35		
Location	National Highway Route 35 km.23+200 – km.28+309		
Title	SIGN DIMENSION		
Scale	Not to Scale	Drawing No.	5/10

รูปที่ 4.28 แบบแนะนำแสดงขนาดของป้ายที่ใช้ติดตั้งบริเวณเกาะกลางถนน

แบบป้ายเตือนสำหรับติดตั้งบริเวณเกาะกลางถนน



Project	A Study of Rear-End Traffic Collision Risk Reduction: A Case Study of National Highway Route 35		
Location	National Highway Route 35 km.23+200 – km.28+309		
Title	SIGN DIMENSION		
Scale	Not to Scale	Drawing No.	6/10

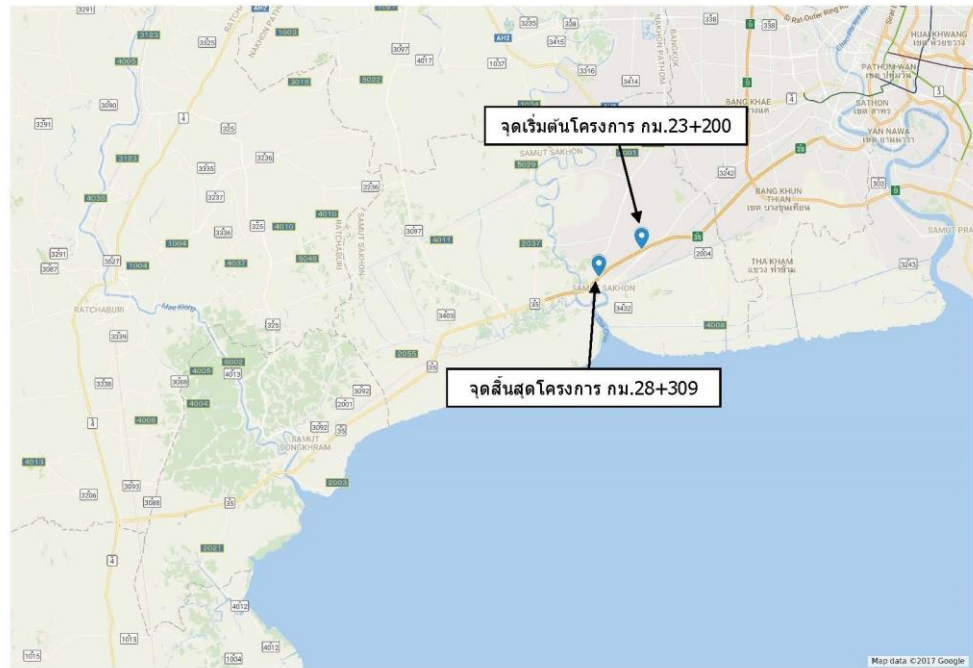
รูปที่ 4.29 แบบแนะนำแสดงขนาดของป้ายที่ใช้ติดตั้งบริเวณเกาะกลางถนน

แบบป้ายเตือนสำหรับติดตั้งบนสะพานลอย



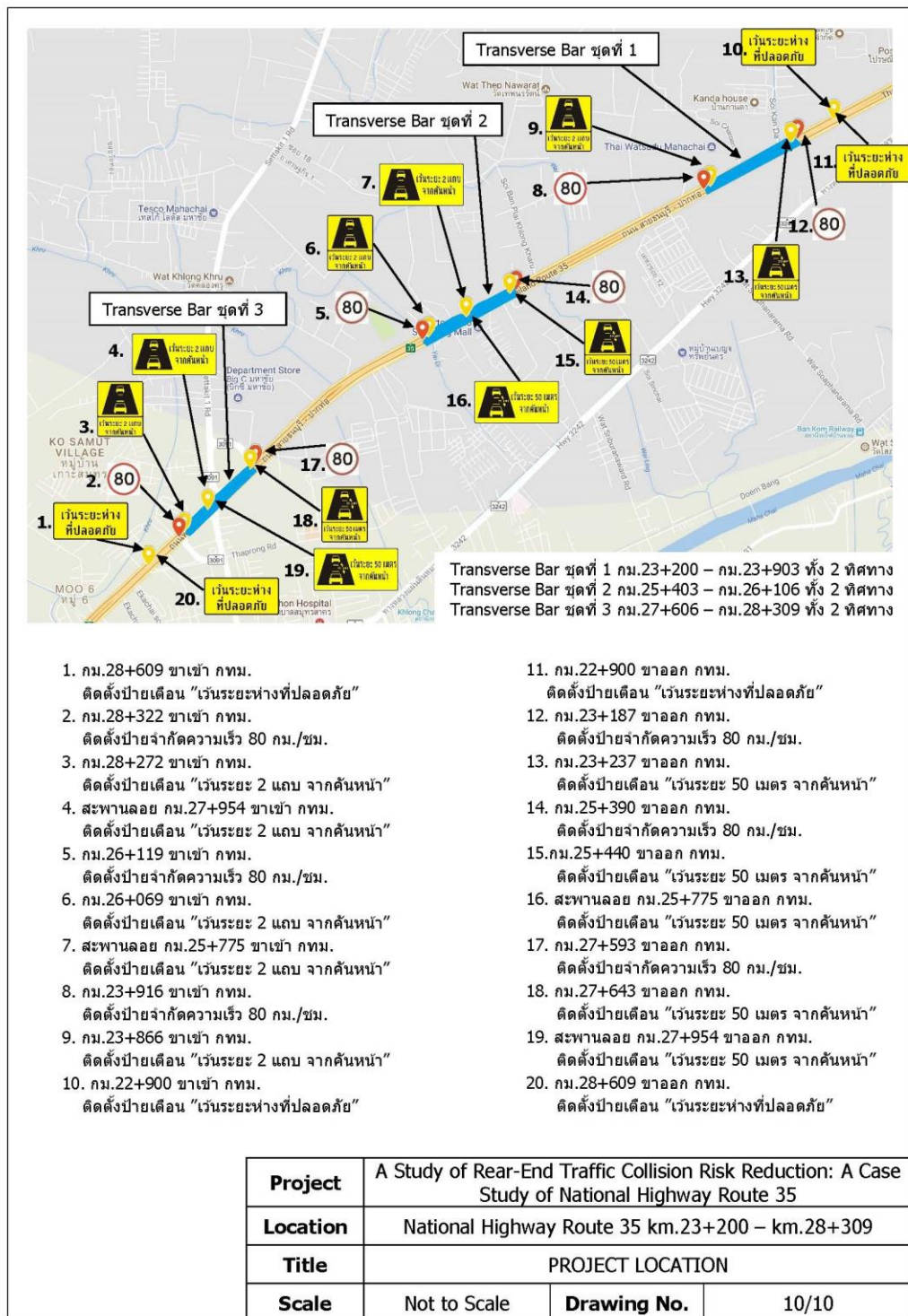
Project	A Study of Rear-End Traffic Collision Risk Reduction: A Case Study of National Highway Route 35		
Location	National Highway Route 35 km.23+200 – km.28+309		
Title	SIGN DIMENSION		
Scale	Not to Scale	Drawing No.	7/10

รูปที่ 4.30 แบบแนะนำแสดงขนาดของป้ายที่ใช้ติดตั้งบนสะพานลอย



Project	A Study of Rear-End Traffic Collision Risk Reduction: A Case Study of National Highway Route 35		
Location	National Highway Route 35 km.23+200 – km.28+309		
Title	PROJECT LOCATION		
Scale	Not to Scale	Drawing No.	9/10

รูปที่ 4.31 พื้นที่ทำการศึกษ



รูปที่ 4.32 แผนการติดตั้งป้ายและเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” เพื่อลดความเสี่ยงอุบัติเหตุจากการชนท้ายบนถนนพระรามที่ 2



รูปที่ 4.33 ภาพจำลองการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” และป้ายเตือน



รูปที่ 4.34 รูปถ่ายระหว่างการทำเครื่องหมาย “Transverse Bar” และการติดตั้งป้ายเตือน



รูปที่ 4.35 รูปถ่ายหลังการทำเครื่องหมาย “Transverse Bar” และ การติดตั้งป้ายเตือน เรียบร้อยแล้ว

4.6 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ

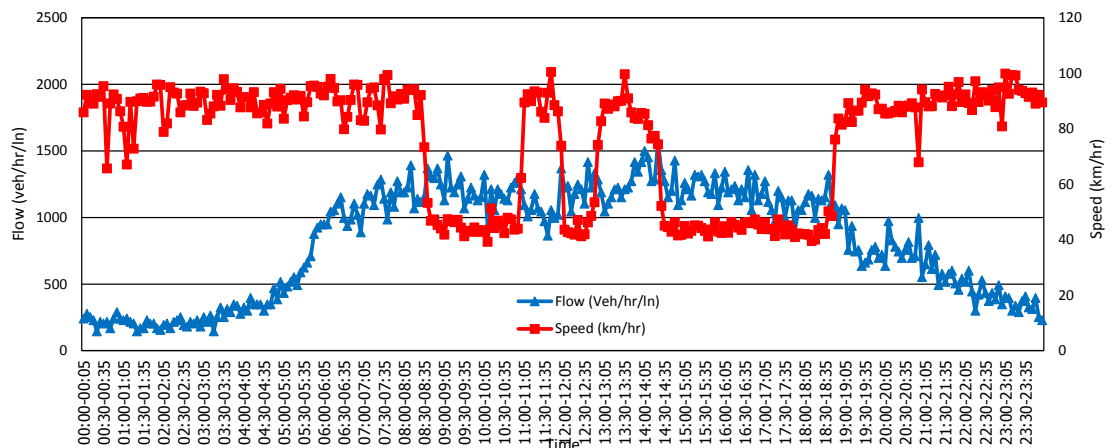
“Transverse Bar” 1 สัปดาห์

หลังจากดำเนินการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ในช่วงถนนที่ดำเนินการวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว 1 สัปดาห์ ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามในตำแหน่งเดิมอีกครั้ง และนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอแปลงเป็นข้อมูลจราจรโดยใช้เครื่องมือ Autoscope เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

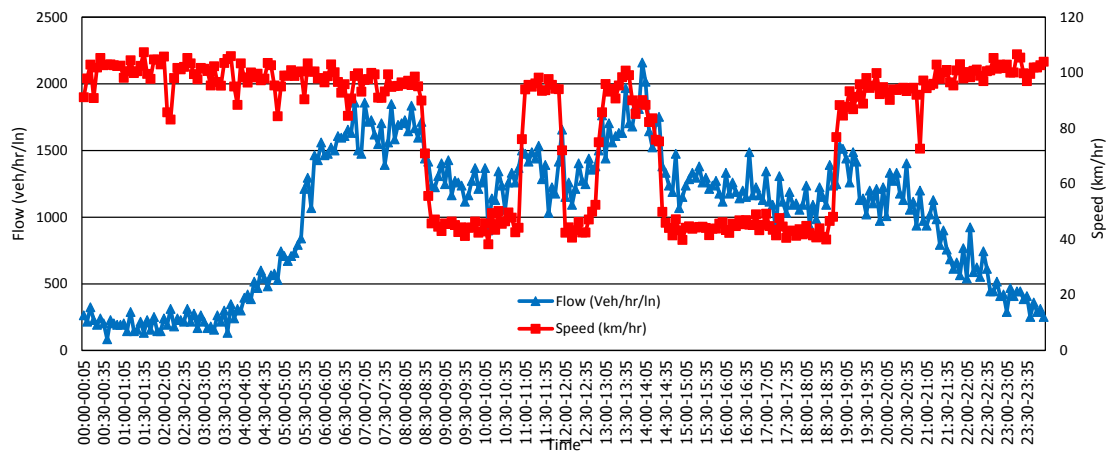
4.6.1 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็ว

ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามตลอด 24 ชั่วโมง ของแต่ละจุด ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็วแล้ว จะแสดงในรูปของความสัมพัทธ์ประเภทต่าง ๆ ดังภาคผนวก กรูปีที่ ค.1 ถึง กรูปีที่ ค.32 โดยแบ่งตามตำแหน่งสะพานลอย แบ่งตามทิศทาง และ แบ่งตามช่องจราจรที่ตั้งกล้องบันทึกข้อมูล

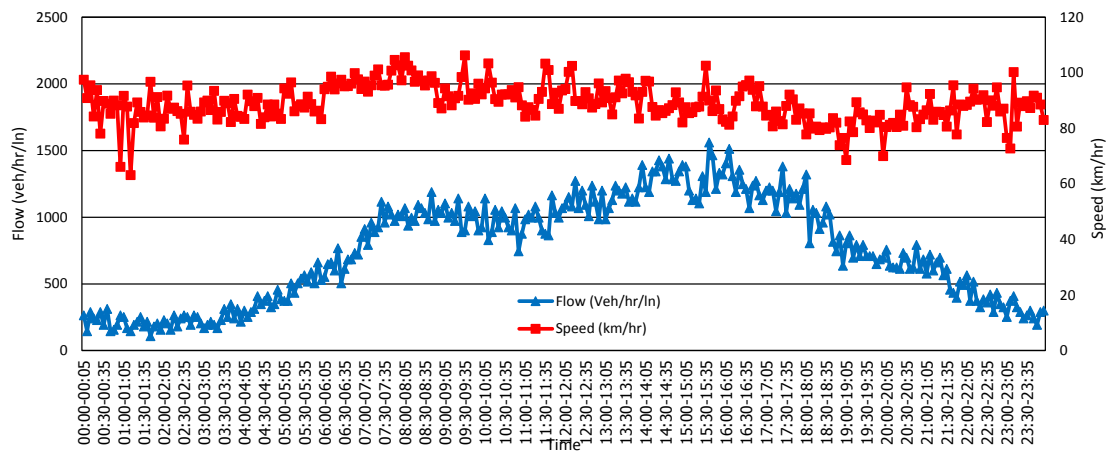
4.6.1.1 ความเร็วและการไหลของจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ



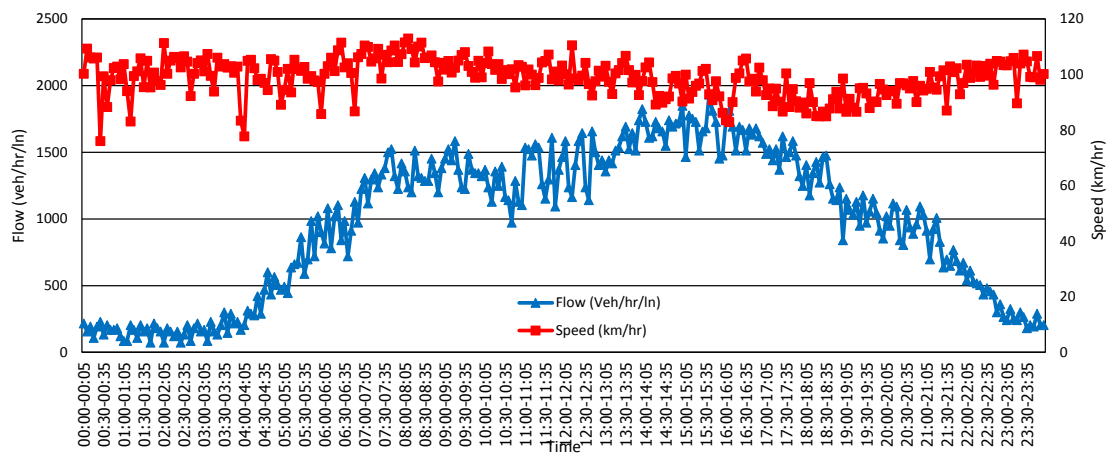
รูปที่ 4.36 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



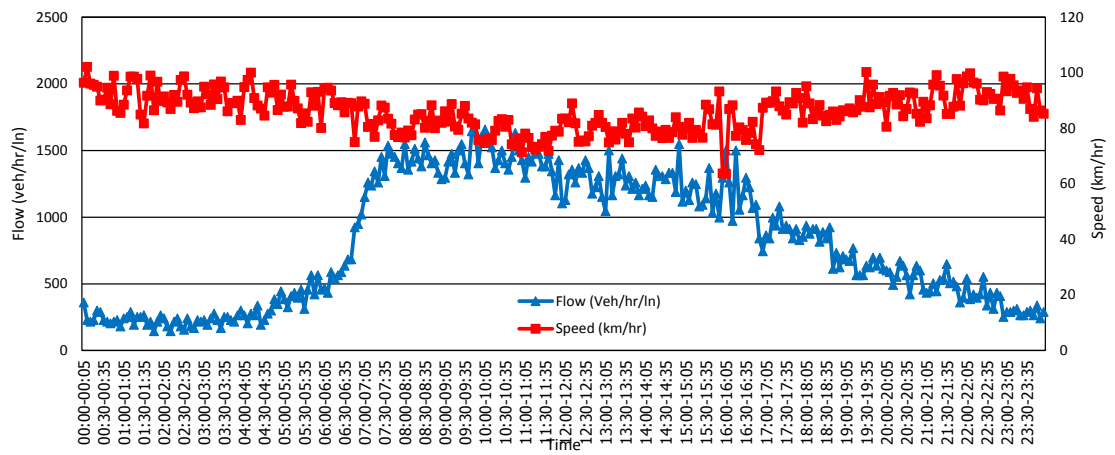
รูปที่ 4.37 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



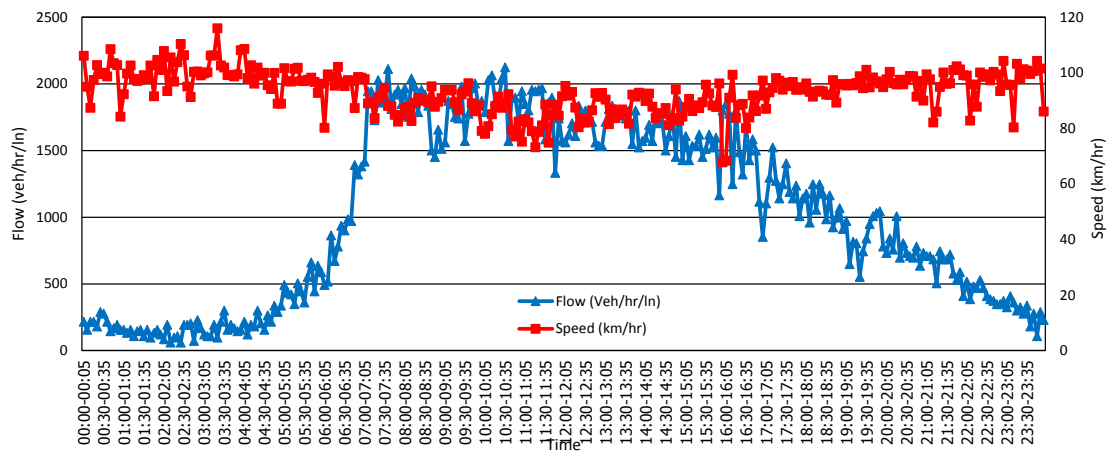
รูปที่ 4.38 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



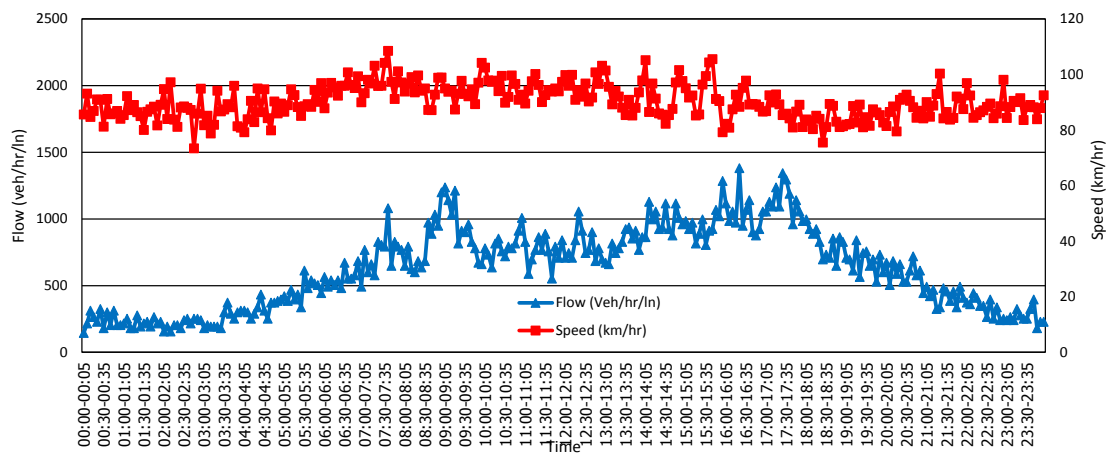
รูปที่ 4.39 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



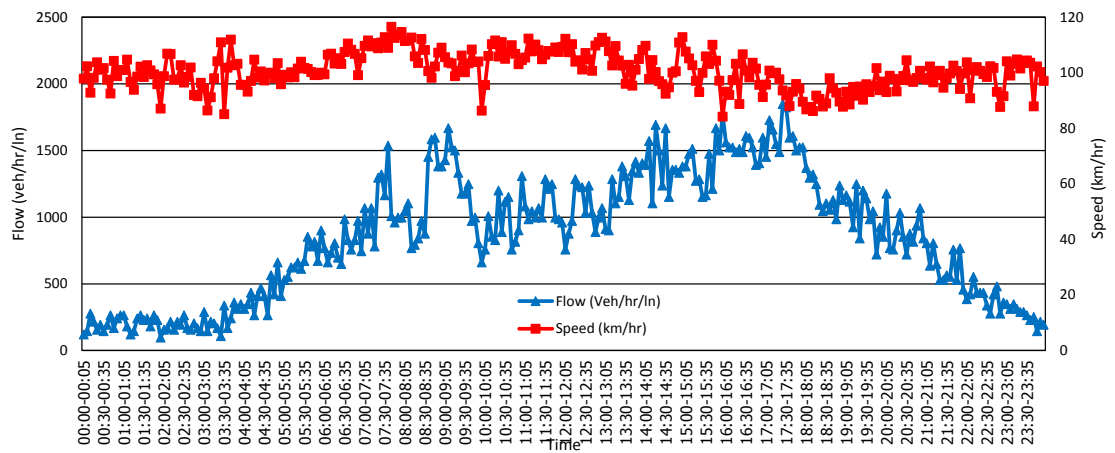
รูปที่ 4.40 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



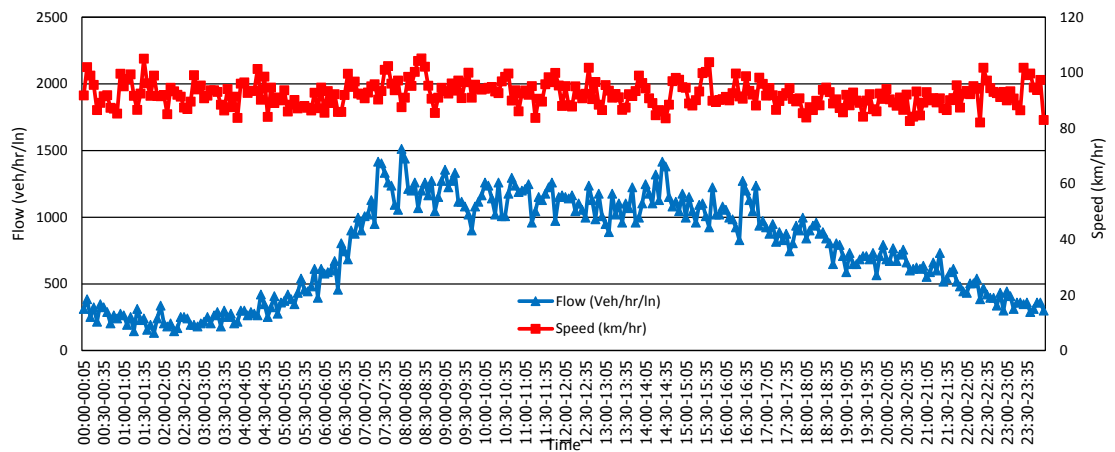
รูปที่ 4.41 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



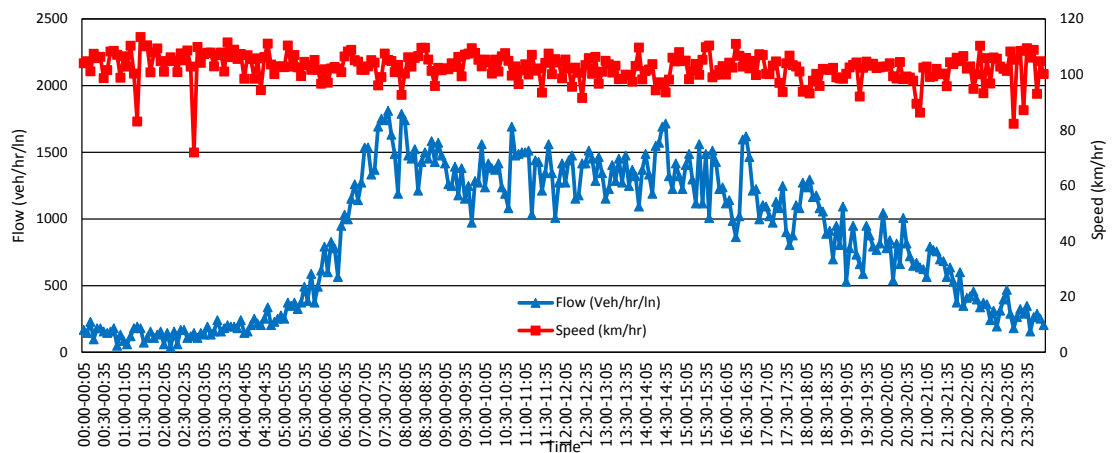
รูปที่ 4.42 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



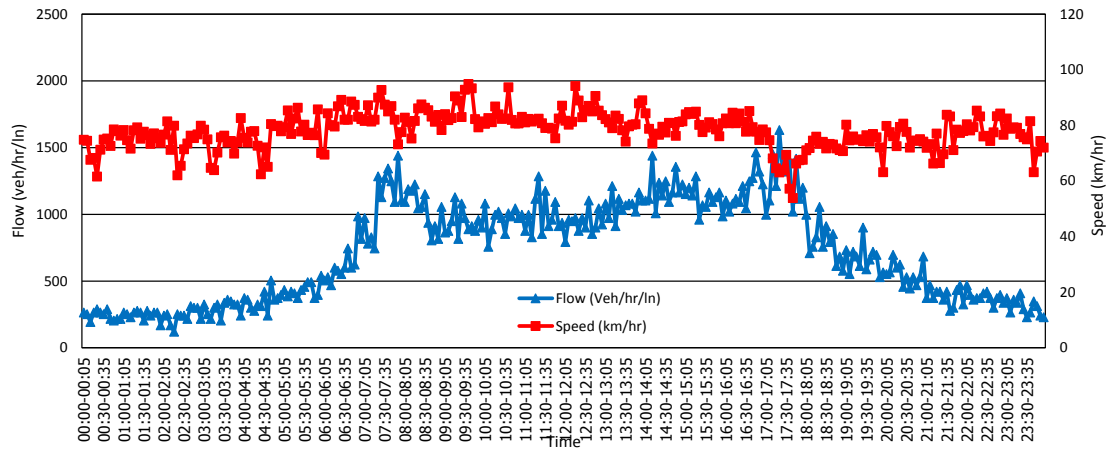
รูปที่ 4.43 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



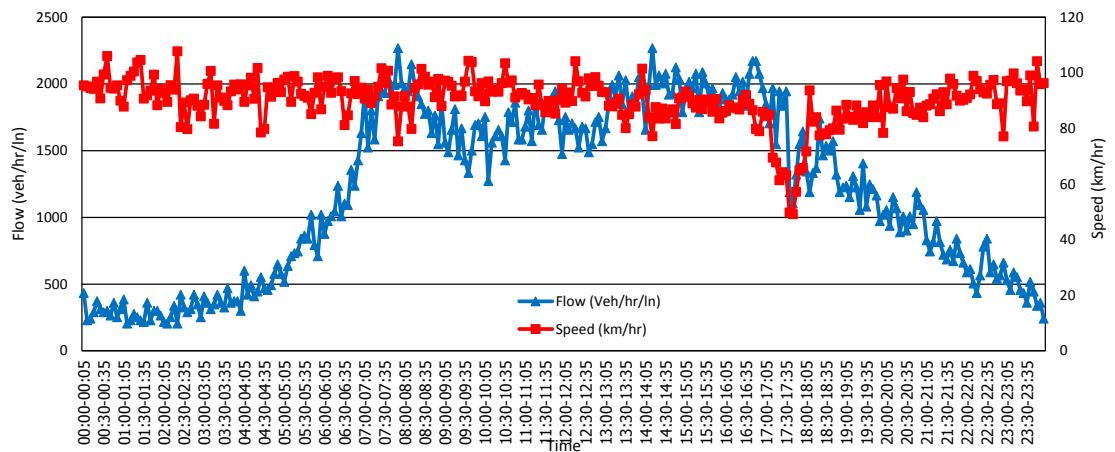
รูปที่ 4.44 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



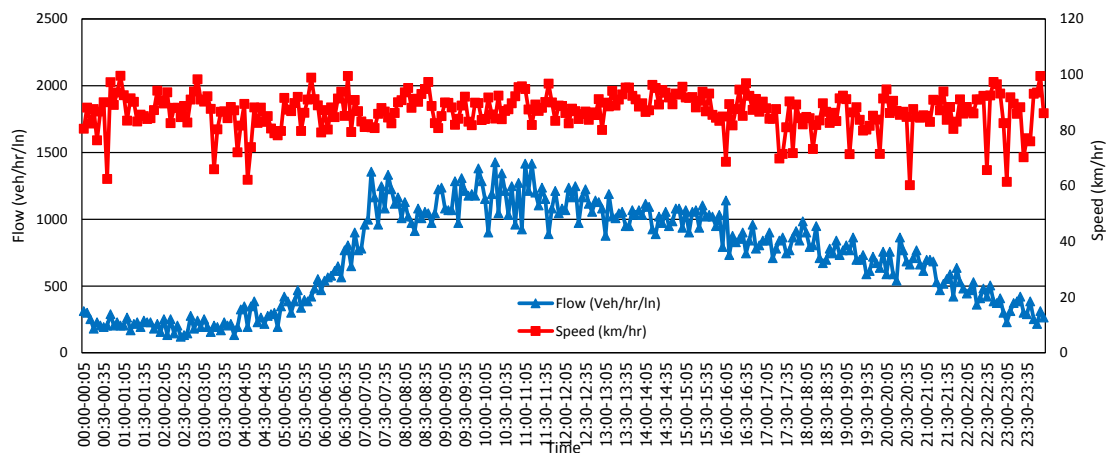
รูปที่ 4.45 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



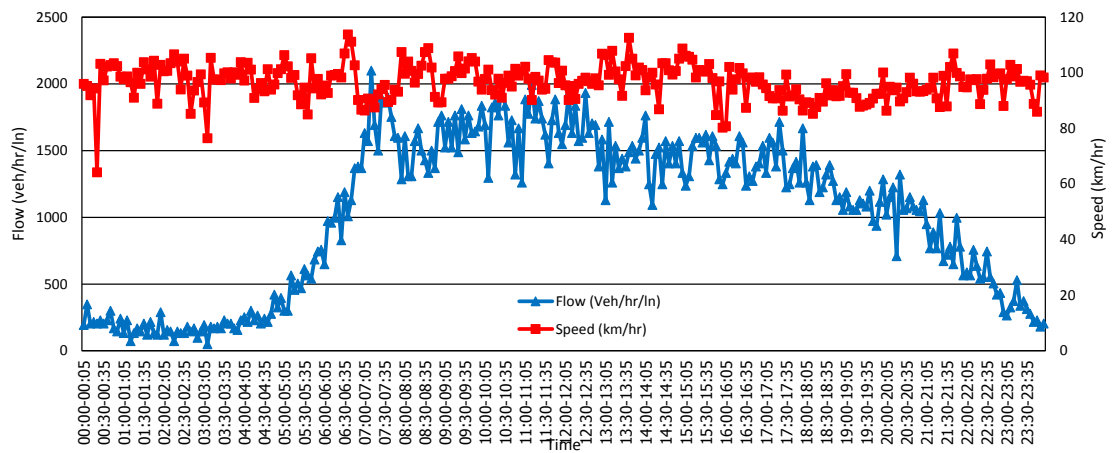
รูปที่ 4.46 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



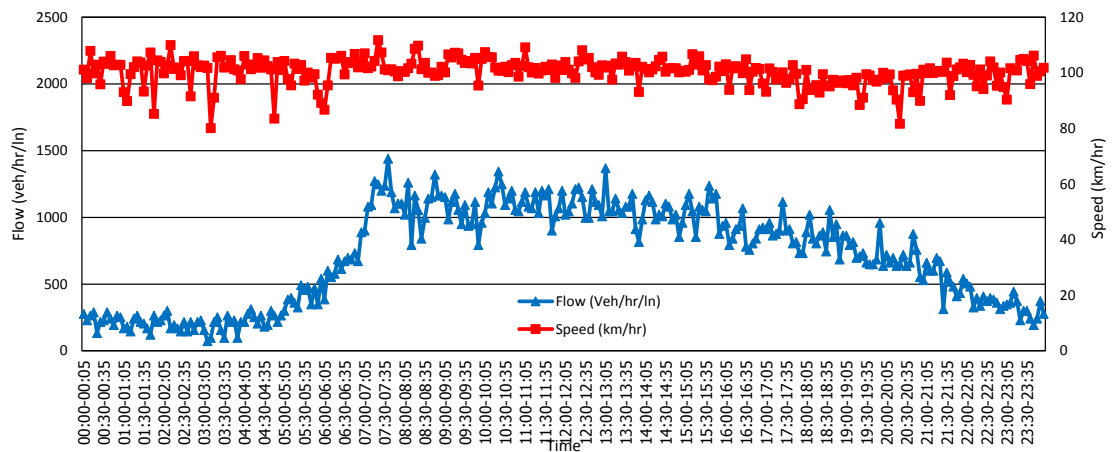
รูปที่ 4.47 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



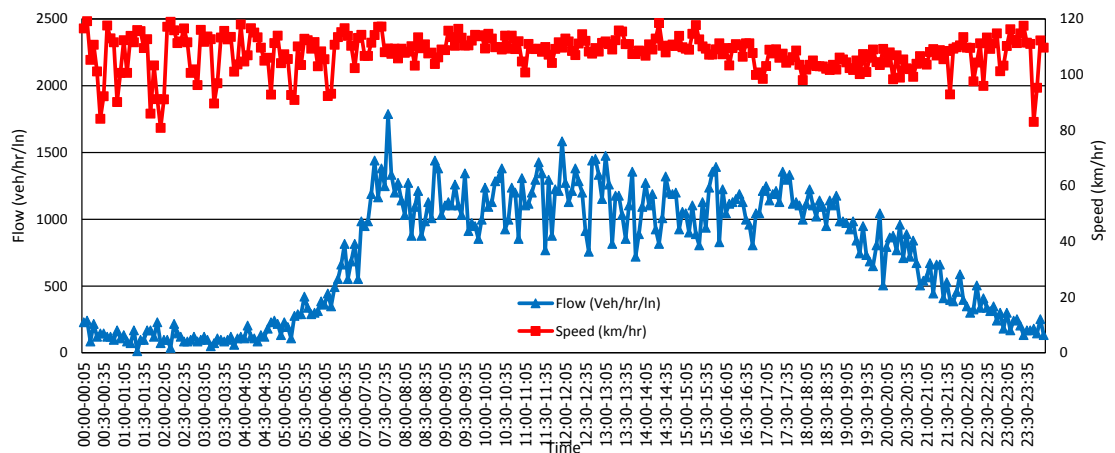
รูปที่ 4.48 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.49 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



รูปที่ 4.50 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.51 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

4.6.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม จะนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และระยะห่างระหว่างรถยนต์ (distance headway) ดังวิธีที่ได้แสดงไปในก่อนหน้านี้ โดยจากข้อมูลและผลการคำนวณ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.22 ถึงตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.22 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	511.8210233
A	150496.1829
B	1.09680894

ตารางที่ 4.23 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	523.2542063
A	172661.8264
B	1.10422629

ตารางที่ 4.24 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	282.575508
A	80535.54349
B	0.985581162

ตารางที่ 4.25 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	462.1378855
A	107426.4923
B	1.012713842

ตารางที่ 4.26 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	152.3738743
A	113551.7206
B	1.039587916

ตารางที่ 4.27 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	348.4901271
A	132190.8644
B	1.054337808

ตารางที่ 4.28 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	169.6456415
A	71837.90927
B	0.963788121

ตารางที่ 4.29 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	262.2890658
A	90497.53575
B	0.982924959

ตารางที่ 4.30 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	113.7522457
A	97557.19496
B	1.009566368

ตารางที่ 4.31 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	489.9660975
A	110561.8973
B	1.012098806

ตารางที่ 4.32 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	156.889918
A	60097.04192
B	0.959688333

ตารางที่ 4.33 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	117.5201608
A	120707.6638
B	1.042915128

ตารางที่ 4.34 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	281.4568078
A	87153.50778
B	0.996331645

ตารางที่ 4.35 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	539.8937711
A	80391.8193
B	0.960153223

ตารางที่ 4.36 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	322.9374012
A	98103.3408
B	0.995841371

ตารางที่ 4.37 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	2255.55017
A	125930.1415
B	1.033393658

4.7 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ

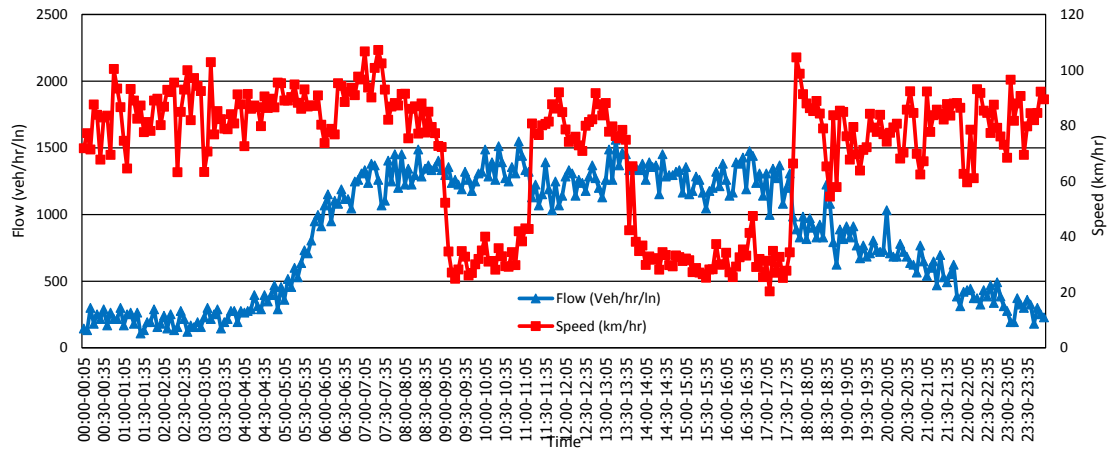
“Transverse Bar” 1 เดือน

หลังจากดำเนินการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ในช่วงถนนที่ดำเนินการวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว 1 เดือน ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามในตำแหน่งเดิมอีกครั้ง และนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอแปลงเป็นข้อมูลจราจรโดยใช้เครื่องมือ Autoscope เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

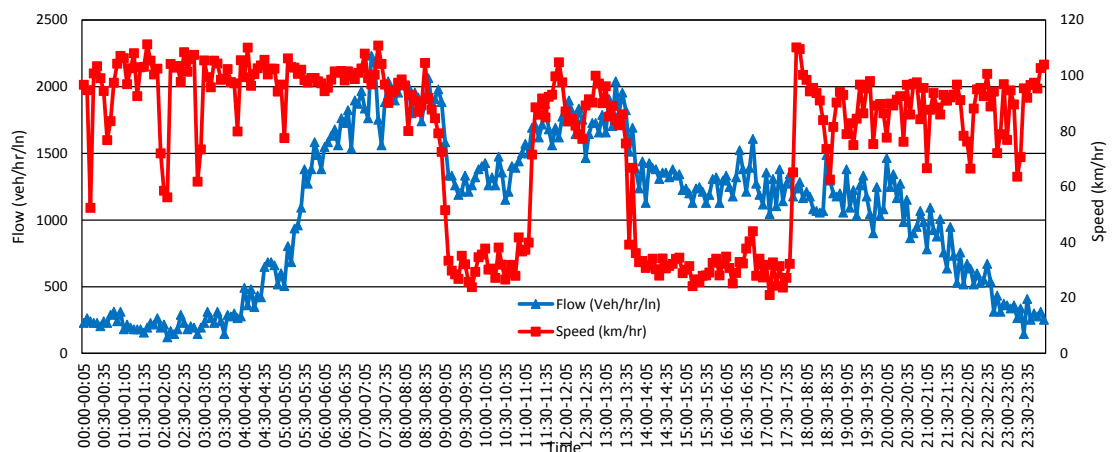
4.7.1 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็ว

ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามตลอด 24 ชั่วโมง ของแต่ละจุด ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็วแล้ว จะแสดงในรูปของความสัมพัทธ์ประเภทต่าง ๆ ดังภาคผนวก ง รูปที่ ง.1 ถึง รูปที่ ง.32 โดยแบ่งตามตำแหน่งสะพานลอย แบ่งตามทิศทาง และ แบ่งตามช่องจราจรที่ตั้งกล้องบันทึกข้อมูล

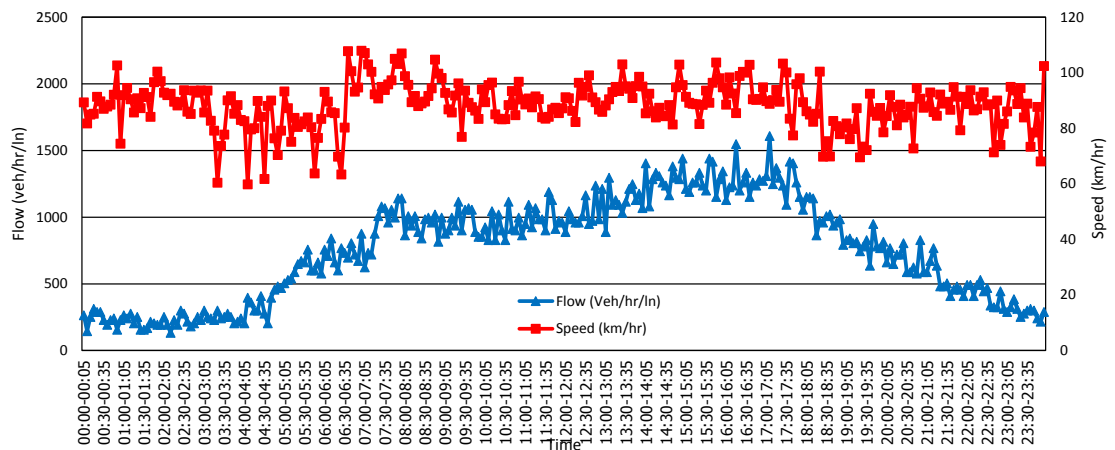
4.7.1.1 ความเร็วและการไหลของจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ



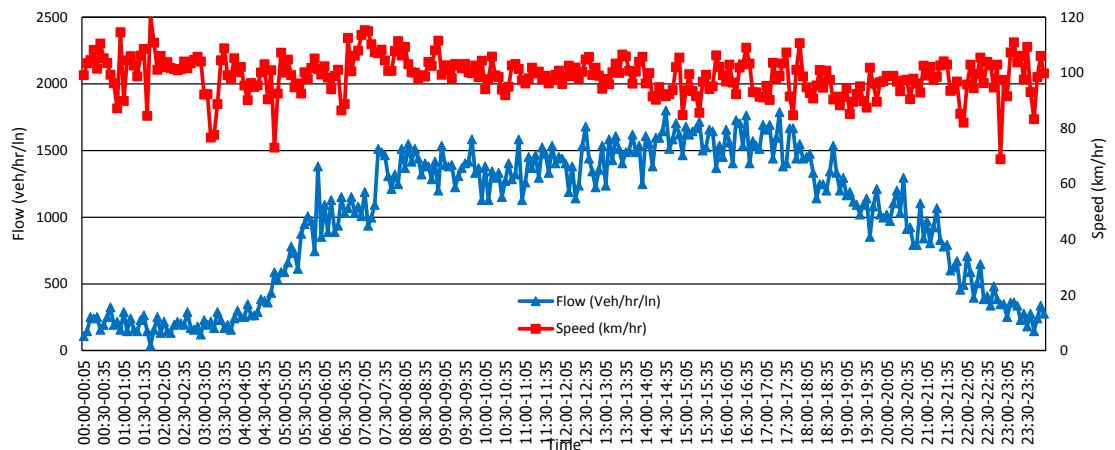
รูปที่ 4.52 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



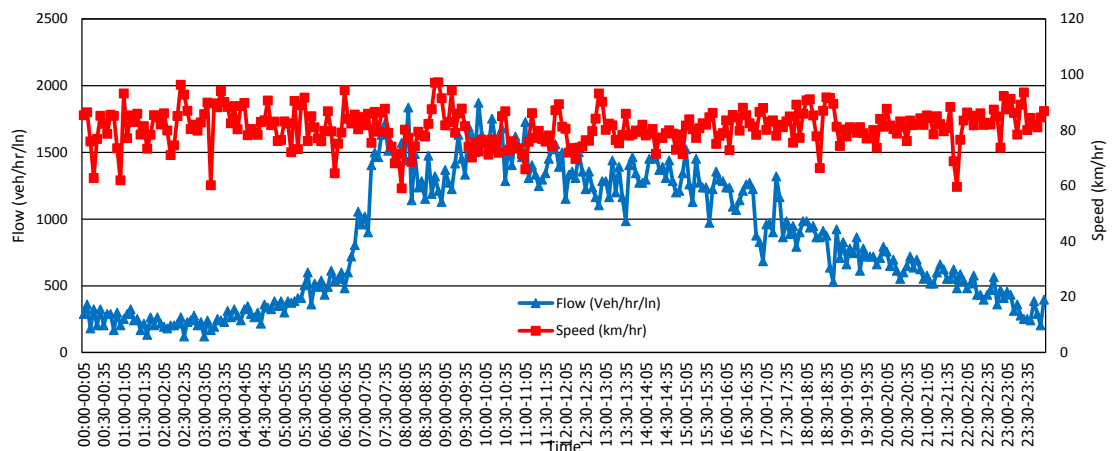
รูปที่ 4.53 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



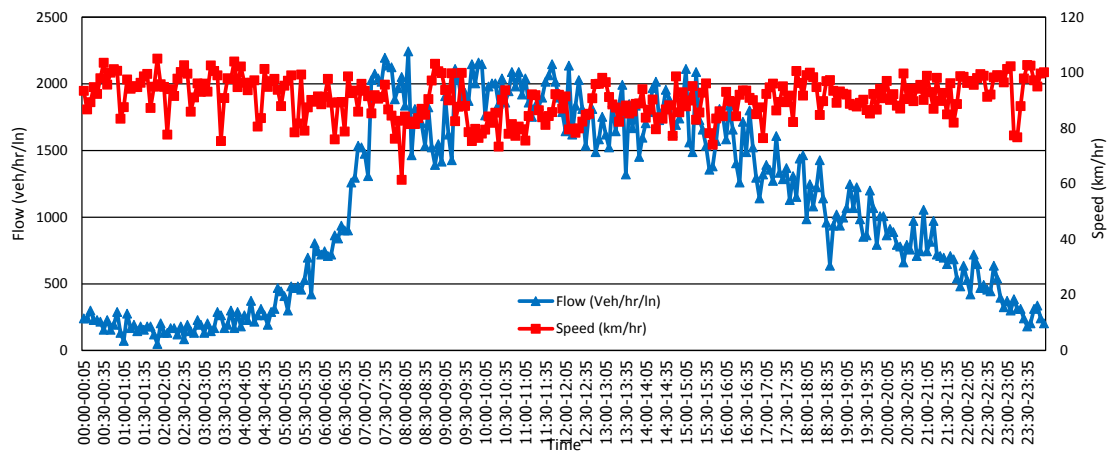
รูปที่ 4.54 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



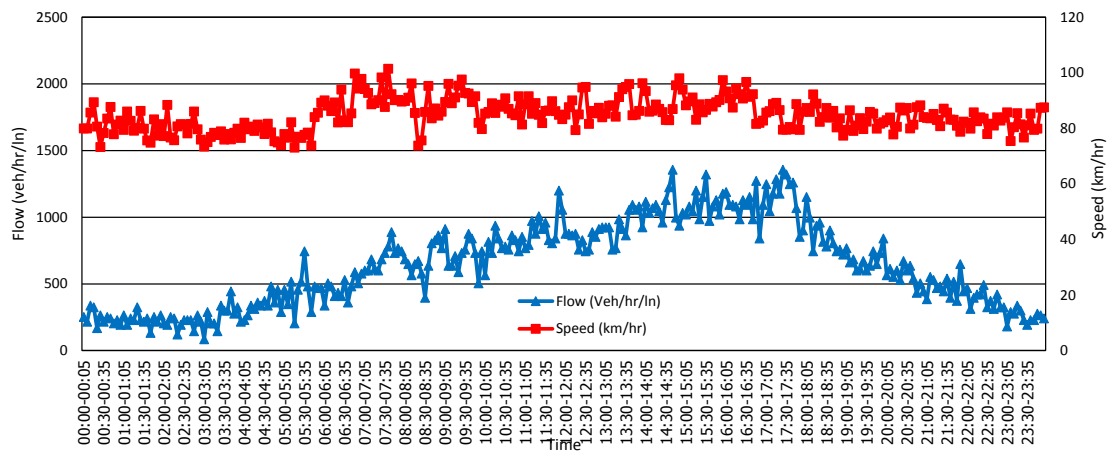
รูปที่ 4.55 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



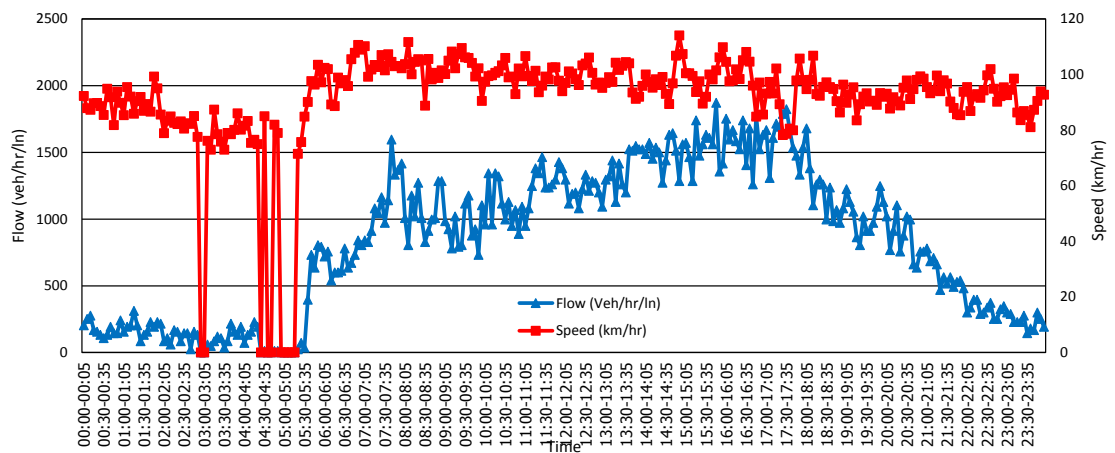
รูปที่ 4.56 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



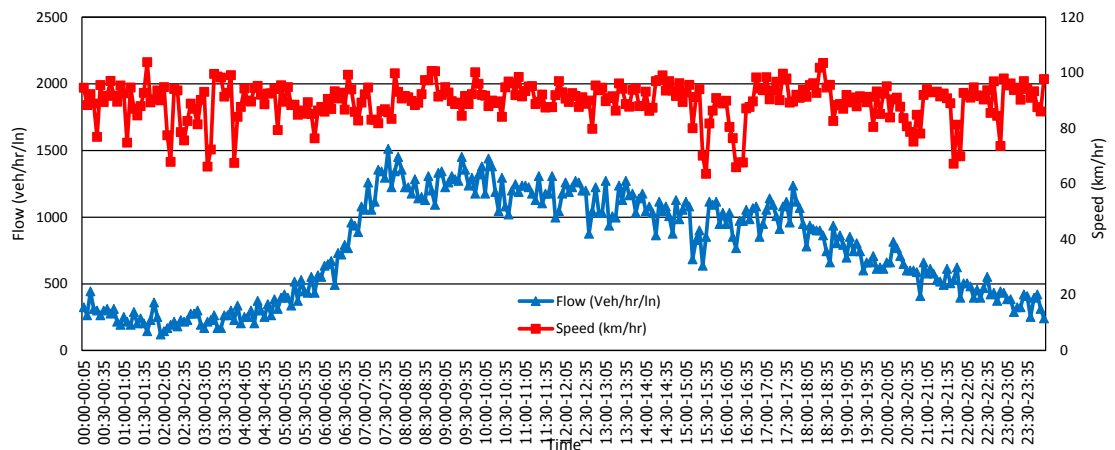
รูปที่ 4.57 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



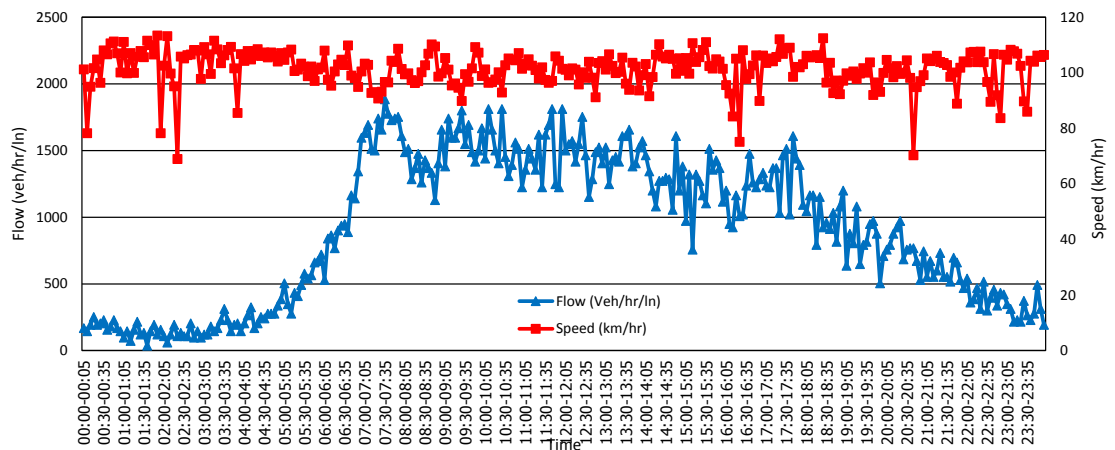
รูปที่ 4.58 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



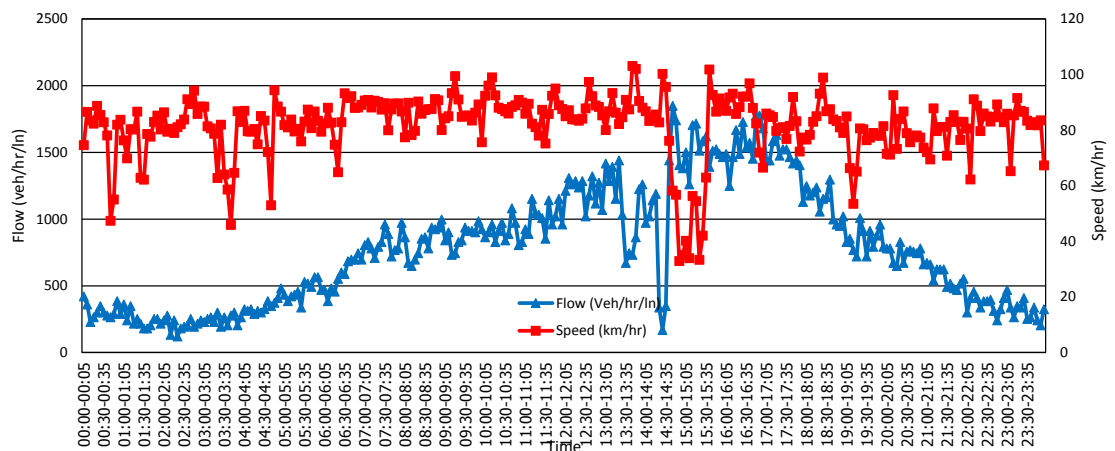
รูปที่ 4.59 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



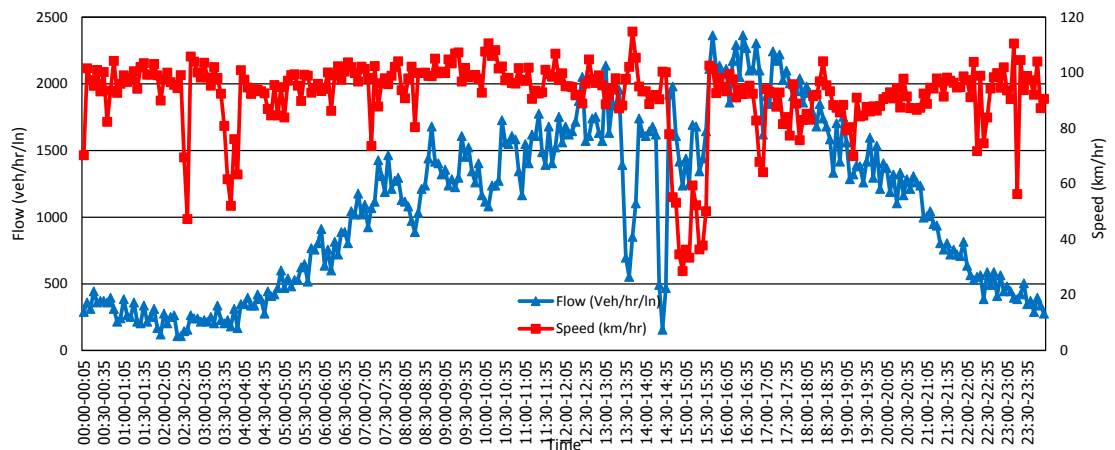
รูปที่ 4.60 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



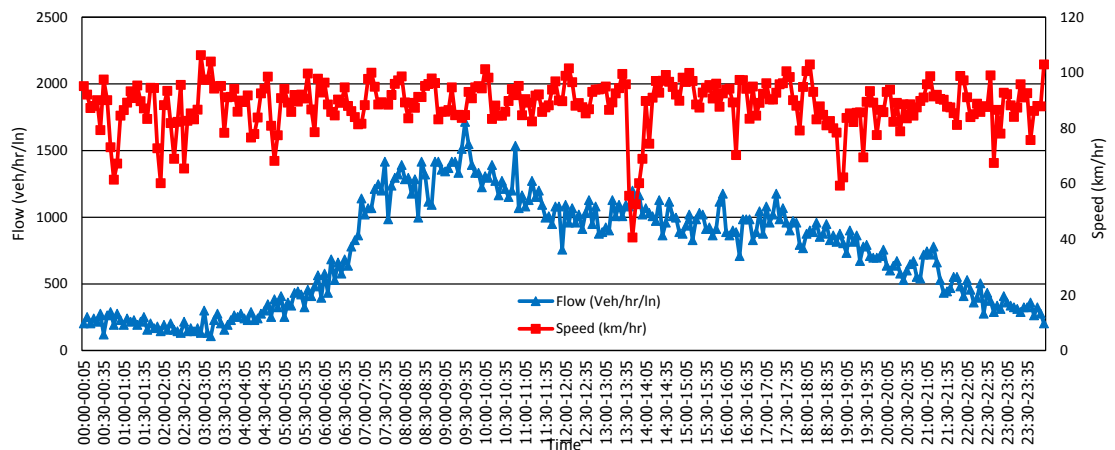
รูปที่ 4.61 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



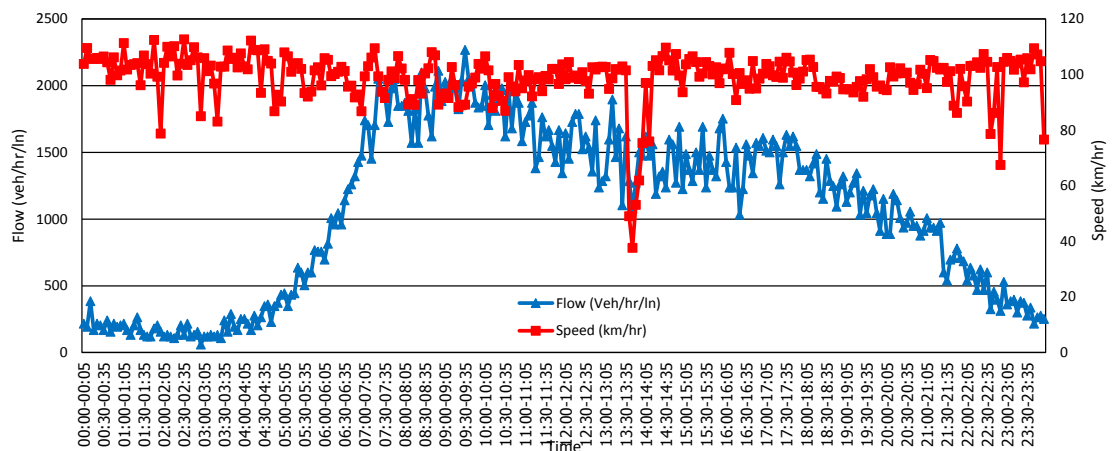
รูปที่ 4.62 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



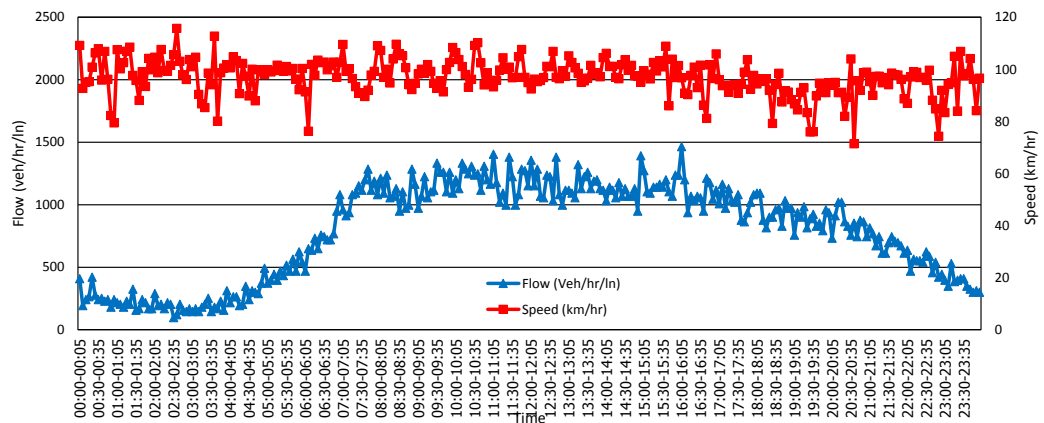
รูปที่ 4.63 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



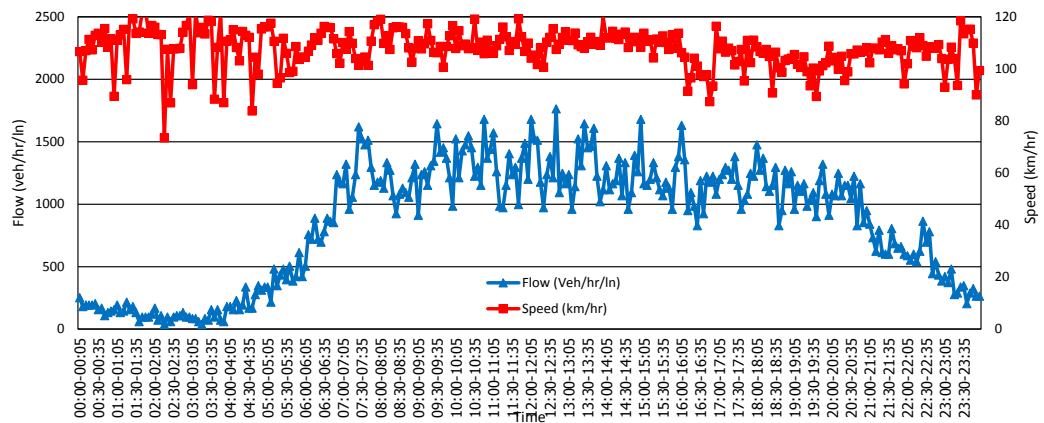
รูปที่ 4.64 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.65 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



รูปที่ 4.66 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.67 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

4.7.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม จะนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และระยะห่างระหว่างรถยนต์ (distance headway) ดังวิธีที่ได้แสดงไปในก่อนหน้านี้ โดยจากข้อมูลและผลการคำนวณ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.38 ถึงตารางที่ 4.53

ตารางที่ 4.38 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	895.6663801
A	141584.0765
B	1.098206067

ตารางที่ 4.39 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	1753.464808
A	133956.4465
B	1.069436634

ตารางที่ 4.40 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	363.7749474
A	94726.42696
B	1.013642015

ตารางที่ 4.41 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	564.7928914
A	160509.2095
B	1.086412952

ตารางที่ 4.42 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	306.9077151
A	84700.54372
B	1.005438837

ตารางที่ 4.43 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	429.6605163
A	117230.4342
B	1.039756967

ตารางที่ 4.44 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	127.6160568
A	58210.94067
B	0.940541411

ตารางที่ 4.45 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	2149.979315
A	78712.72411
B	0.988313919

ตารางที่ 4.46 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	380.196947
A	93241.22209
B	1.007619079

ตารางที่ 4.47 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	897.1152162
A	126982.7209
B	1.039389997

ตารางที่ 4.48 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	550.3602149
A	74858.12991
B	0.98658381

ตารางที่ 4.49 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	1007.623634
A	76051.72653
B	0.967596614

ตารางที่ 4.50 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	766.0458313
A	94807.04502
B	1.013391879

ตารางที่ 4.51 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	731.7046142
A	89305.28968
B	0.975750949

ตารางที่ 4.52 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	410.396391
A	113953.4032
B	1.02671481

ตารางที่ 4.53 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	4957.282567
A	83623.00996
B	0.947539172

4.8 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ

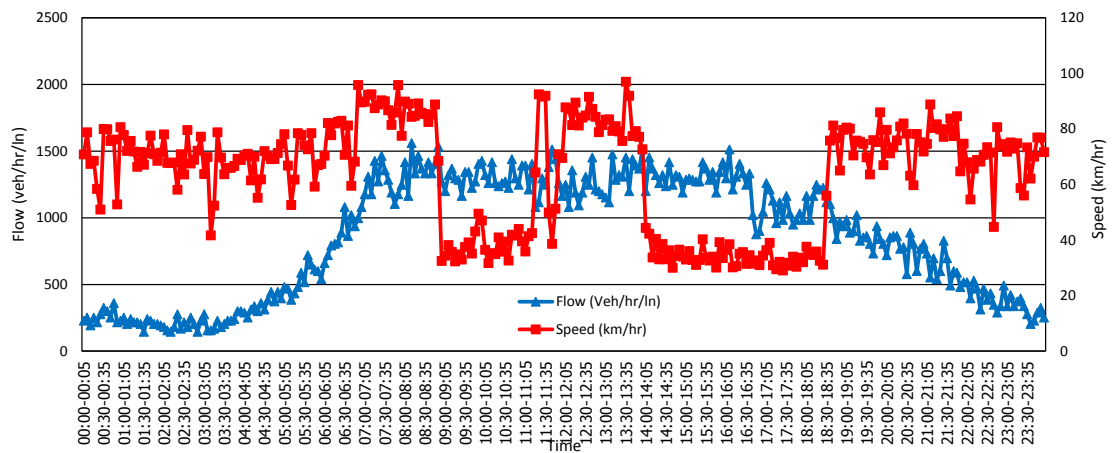
“Transverse Bar” 2 เดือน

หลังจากดำเนินการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ในช่วงถนนที่ดำเนินงานวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว 2 เดือน ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามในตำแหน่งเดิมอีกครั้ง และนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอแปลงเป็นข้อมูลจราจรโดยใช้เครื่องมือ Autoscope เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

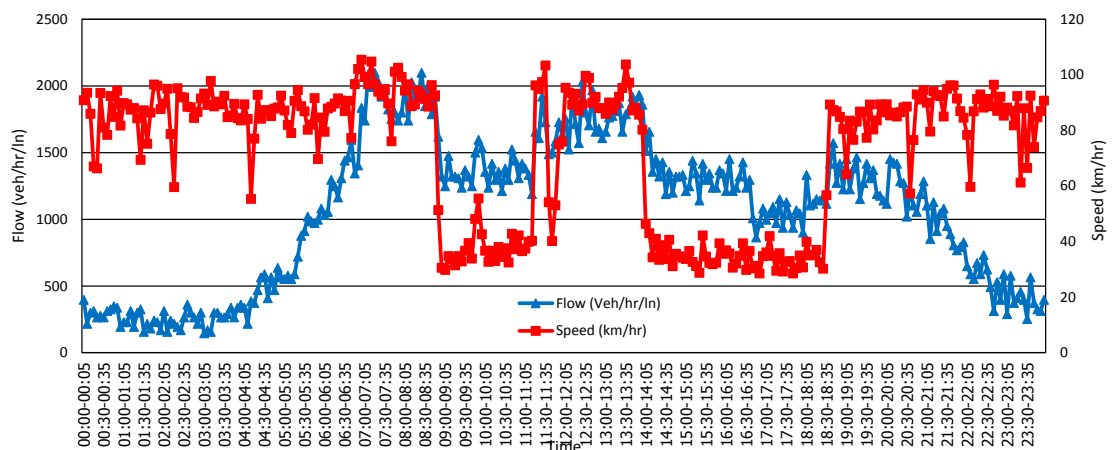
4.8.1 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็ว

ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามตลอด 24 ชั่วโมง ของแต่ละจุด ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็วแล้ว จะแสดงในรูปของความสัมพัทธ์ประเภทต่าง ๆ ดังภาคผนวก จ รูปที่ จ.1 ถึง รูปที่ จ.32 โดยแบ่งตามตำแหน่งสะพานลอย แบ่งตามทิศทาง และ แบ่งตามช่องจราจร ที่ตั้งกล้องบันทึกข้อมูล

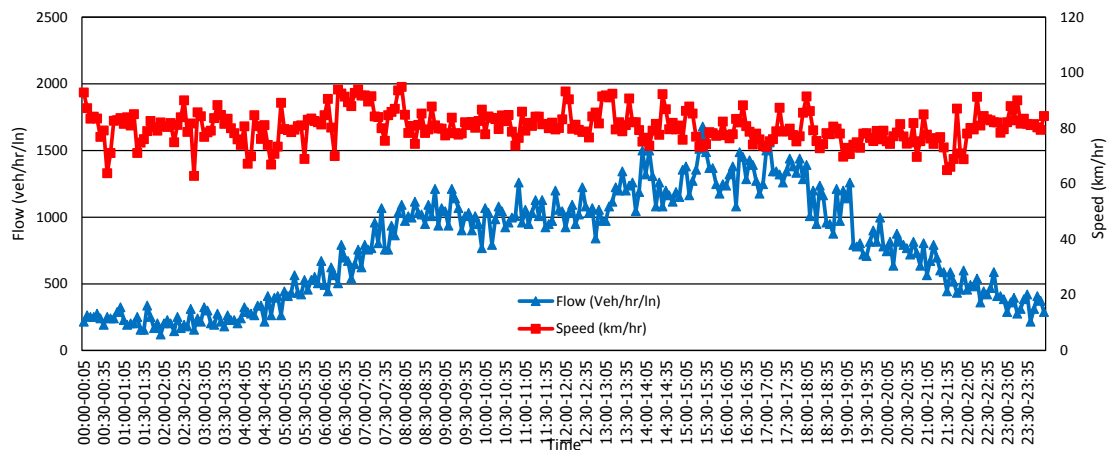
4.8.1.1 ความเร็วและการไหลของจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ



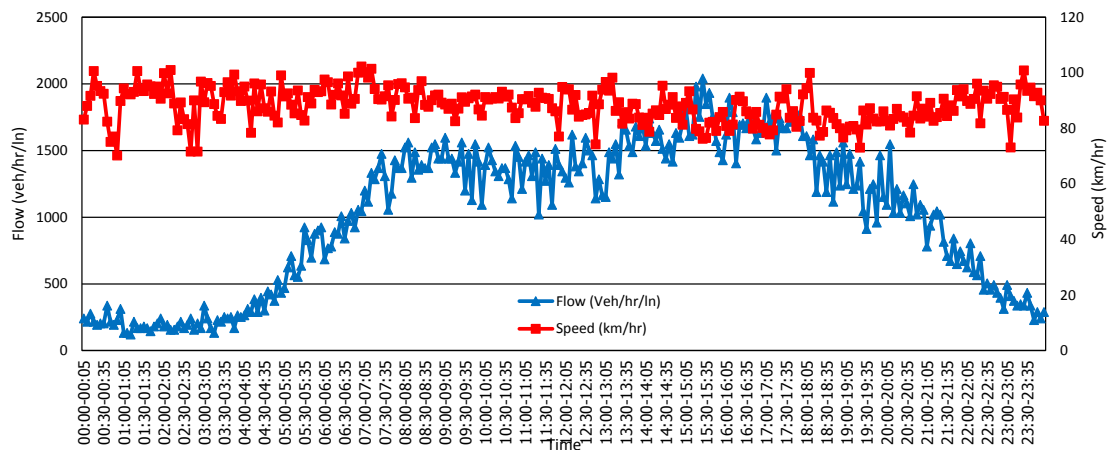
รูปที่ 4.68 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



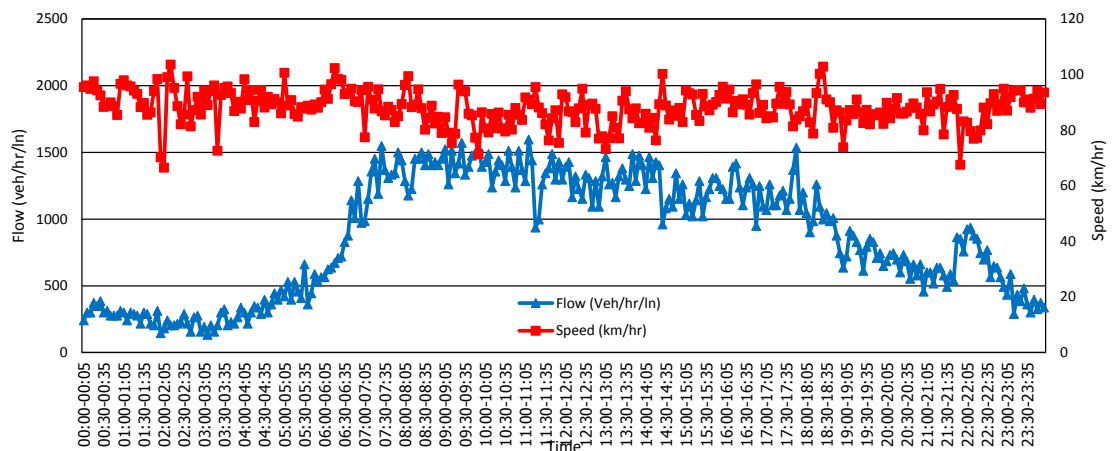
รูปที่ 4.69 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



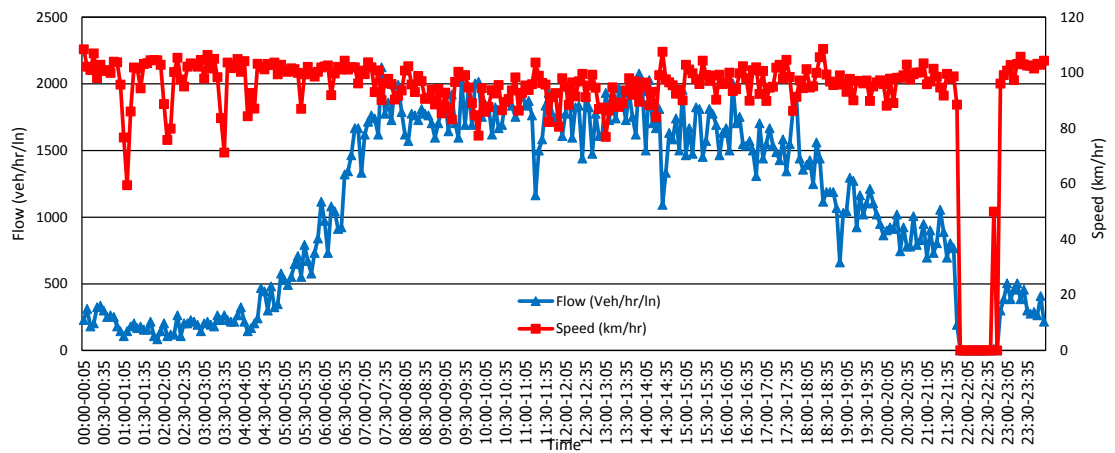
รูปที่ 4.70 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



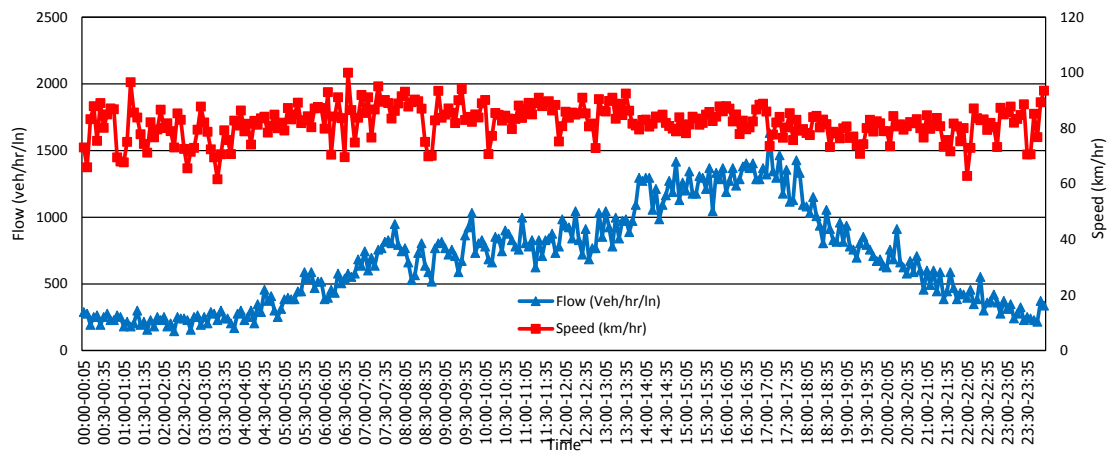
รูปที่ 4.71 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



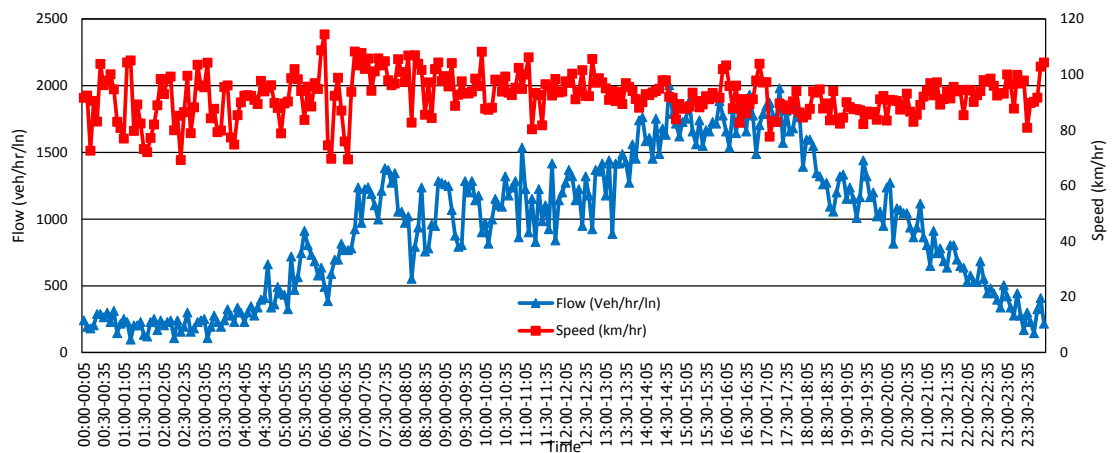
รูปที่ 4.72 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



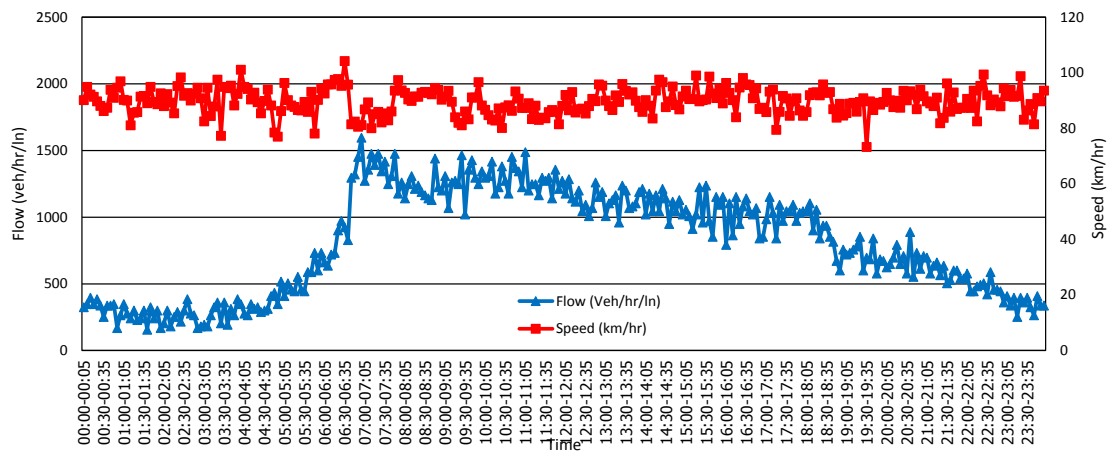
รูปที่ 4.73 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



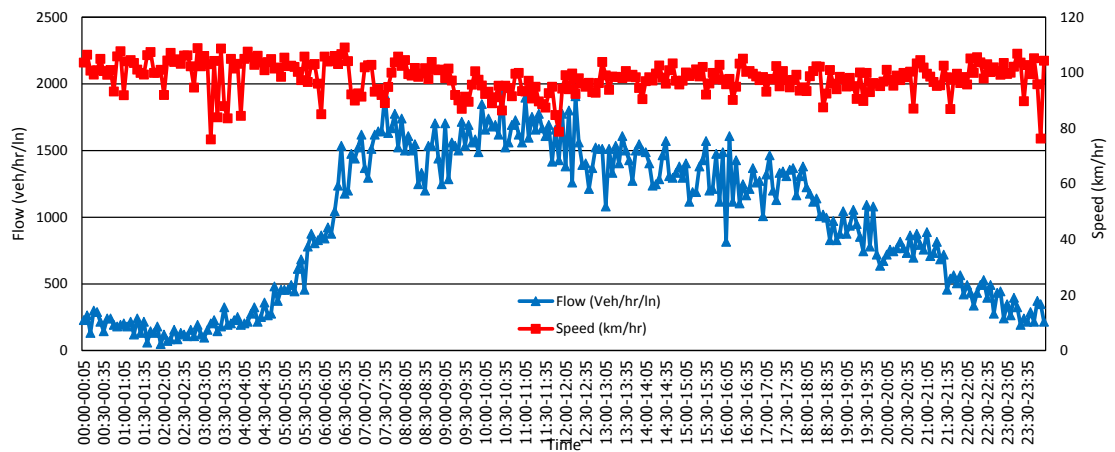
รูปที่ 4.74 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



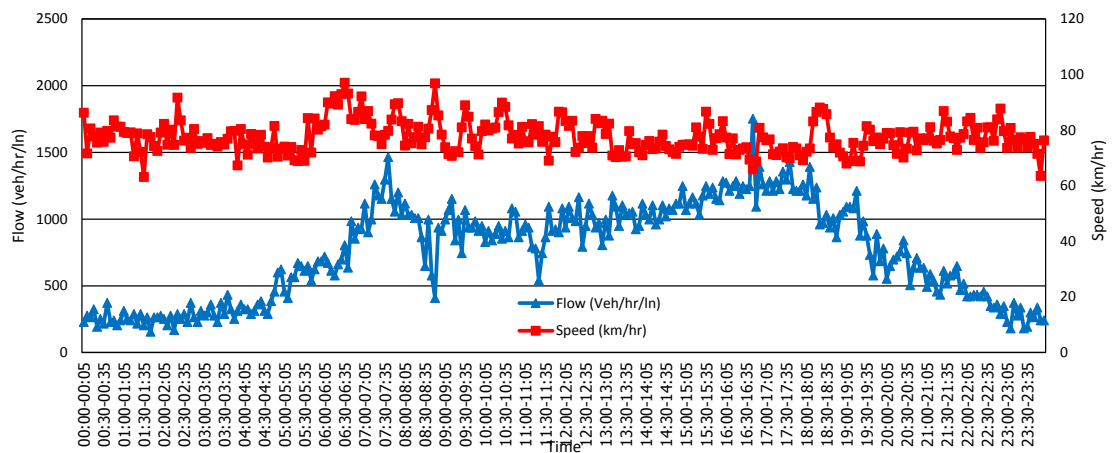
รูปที่ 4.75 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



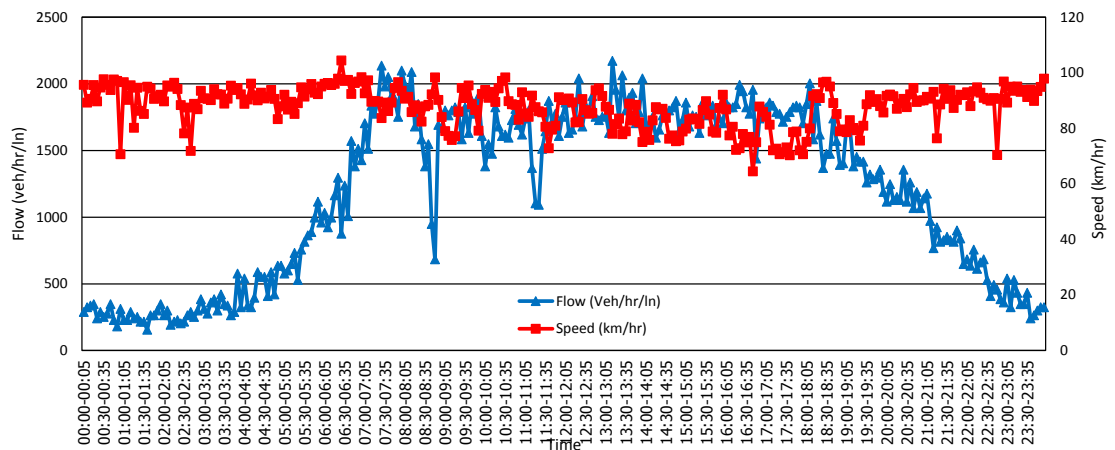
รูปที่ 4.76 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



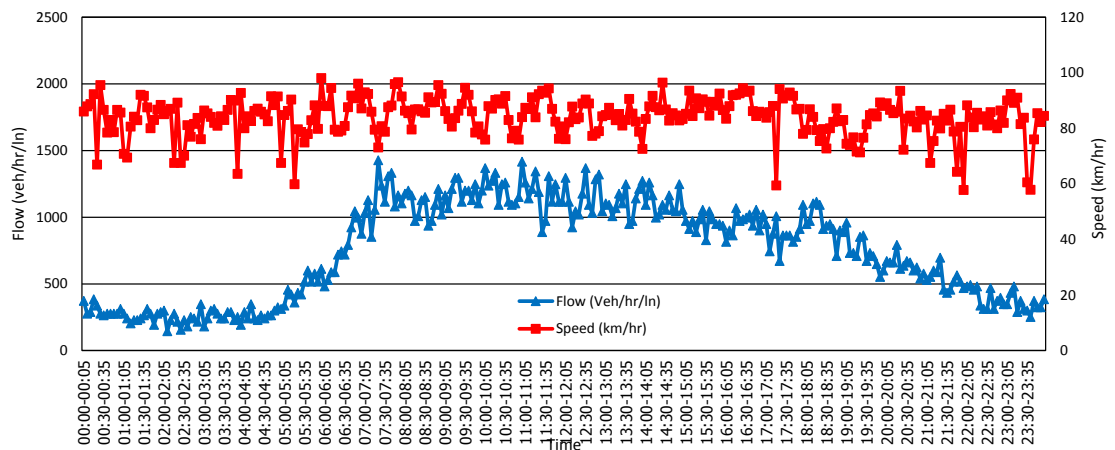
รูปที่ 4.77 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



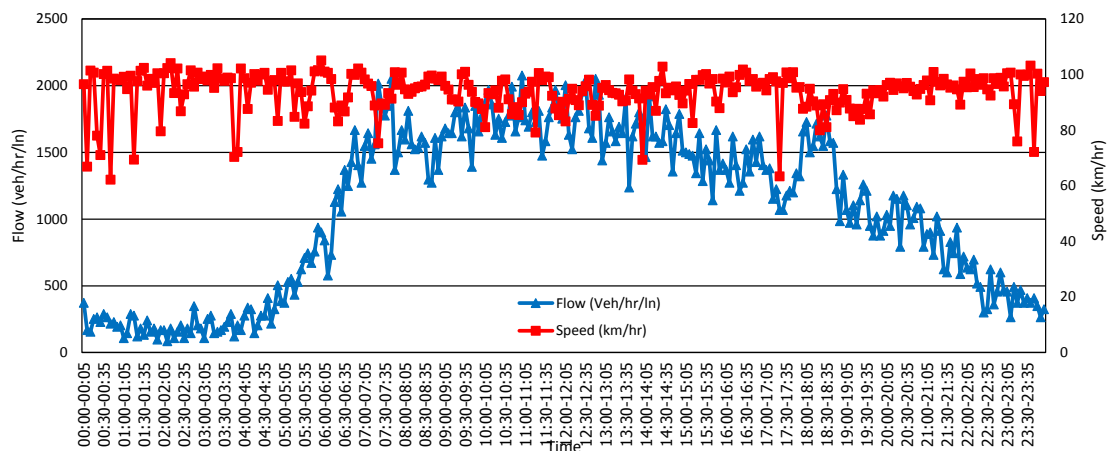
รูปที่ 4.78 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



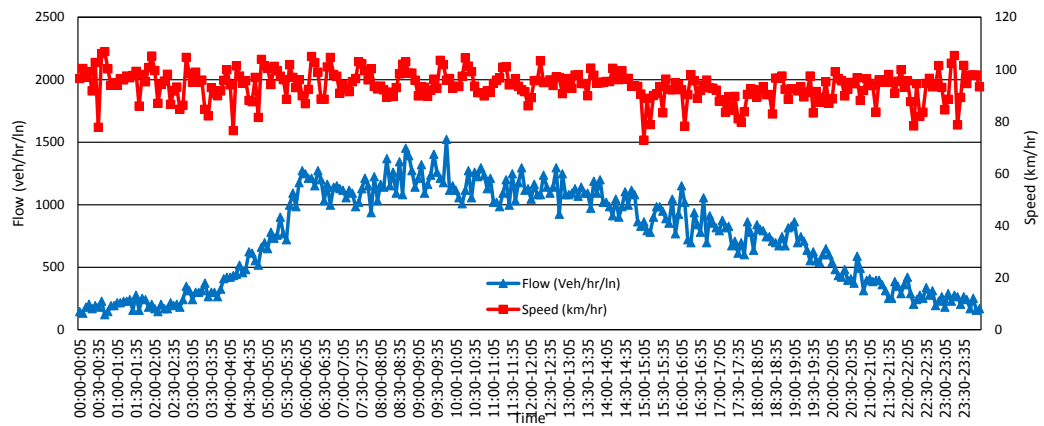
รูปที่ 4.79 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



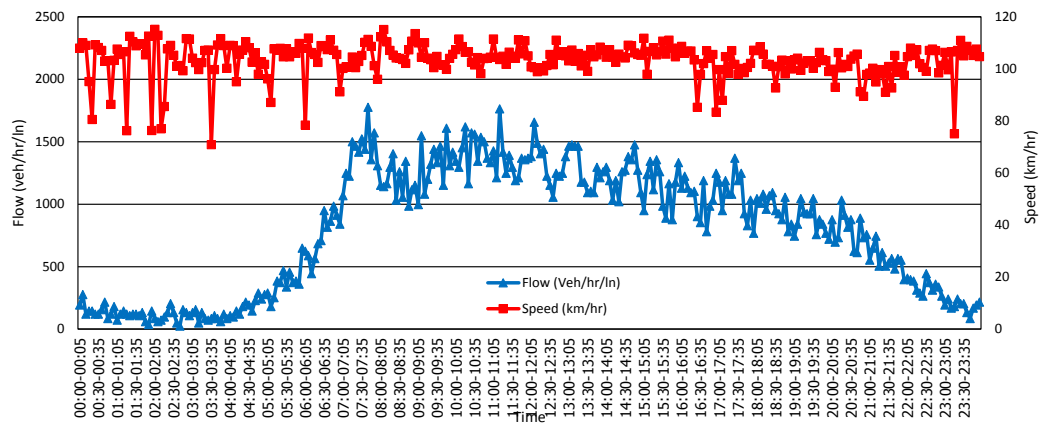
รูปที่ 4.80 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.81 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



รูปที่ 4.82 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.83 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

4.8.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม จะนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และระยะห่างระหว่างรถยนต์ (distance headway) ดังวิธีที่ได้แสดงไปในก่อนหน้านี้ โดยจากข้อมูลและผลการคำนวณ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.54 ถึงตารางที่ 4.69

ตารางที่ 4.54 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	635.1054195
A	76588.02409
B	1.02117814

ตารางที่ 4.55 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	604.5376796
A	184370.3896
B	1.138370666

ตารางที่ 4.56 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	206.9614823
A	74291.69887
B	0.986678329

ตารางที่ 4.57 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	280.2531775
A	103713.6277
B	1.025011057

ตารางที่ 4.58 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	274.8986543
A	84116.91034
B	0.989588875

ตารางที่ 4.59 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	872.3013944
A	82270.18098
B	0.969901266

ตารางที่ 4.60 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	291.4568595
A	62456.02574
B	0.956363699

ตารางที่ 4.61 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	683.6642948
A	77510.52403
B	0.973610454

ตารางที่ 4.62 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	99.78397507
A	93058.50869
B	1.005454623

ตารางที่ 4.63 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	357.6809543
A	112022.363
B	1.019545765

ตารางที่ 4.64 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	130.2949596
A	71090.99819
B	0.985651633

ตารางที่ 4.65 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	110.929748
A	104554.1607
B	1.023785672

ตารางที่ 4.66 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	302.1319976
A	73808.78194
B	0.980054595

ตารางที่ 4.67 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	670.3586717
A	104951.0574
B	1.018245145

ตารางที่ 4.68 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	296.5552376
A	105722.0014
B	1.020480811

ตารางที่ 4.69 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	2498.071217
A	105080.5838
B	1.003830317

4.9 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ

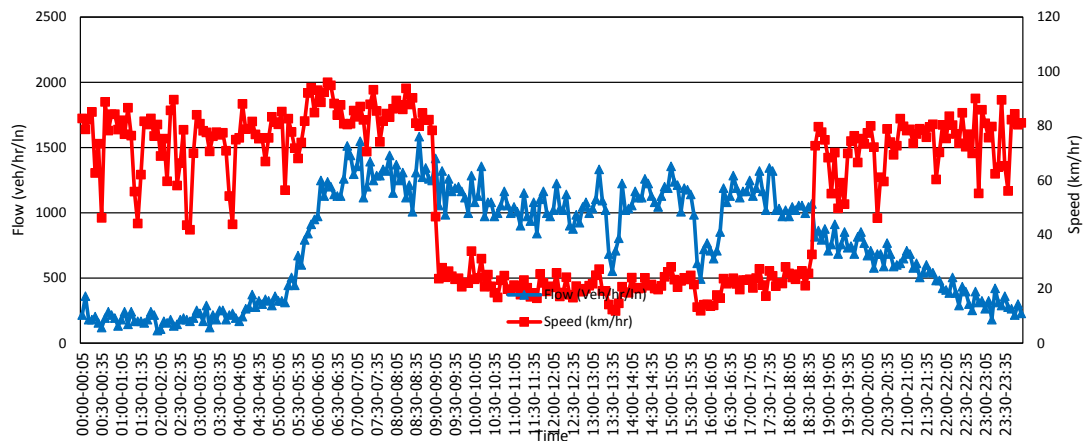
“Transverse Bar” 3 เดือน

หลังจากดำเนินการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ในช่วงถนนที่ดำเนินงานวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว 3 เดือน ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามในตำแหน่งเดิมอีกครั้ง และนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอแปลงเป็นข้อมูลจราจรโดยใช้เครื่องมือ Autoscope เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

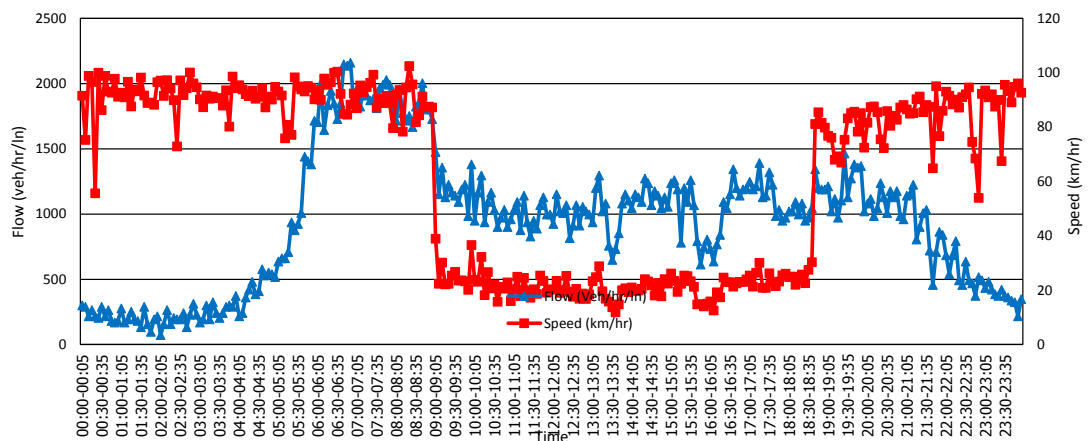
4.9.1 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็ว

ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนามตลอด 24 ชั่วโมง ของแต่ละจุด ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Autoscope หลังปรับแก้ความเร็วแล้ว จะแสดงในรูปของความสัมพัทธ์ประเภทต่าง ๆ ดังภาคผนวก จ รูปที่ จ.1 ถึง รูปที่ จ.32 โดยแบ่งตามตำแหน่งสะพานลอย แบ่งตามทิศทาง และ แบ่งตามช่องจราจร ที่ตั้งกล้องบันทึกข้อมูล

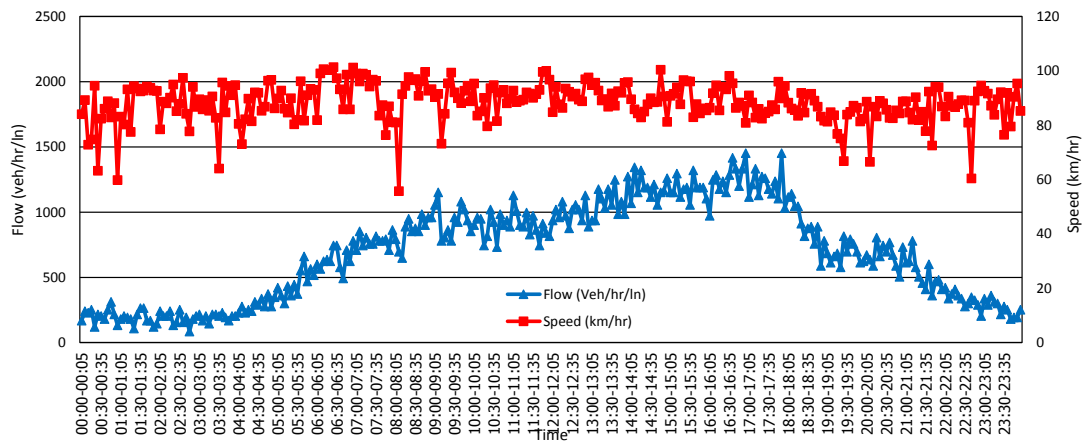
4.9.1.1 ความเร็วและการไหลของจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ



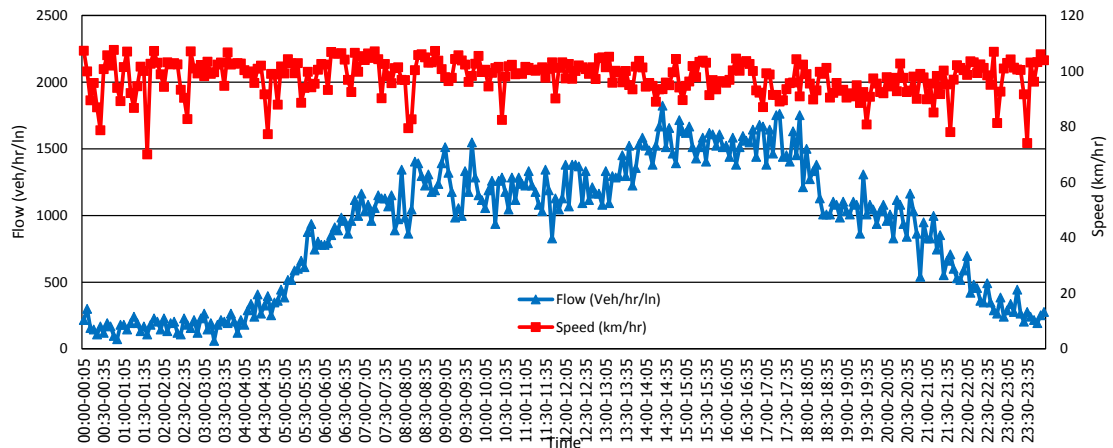
รูปที่ 4.84 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



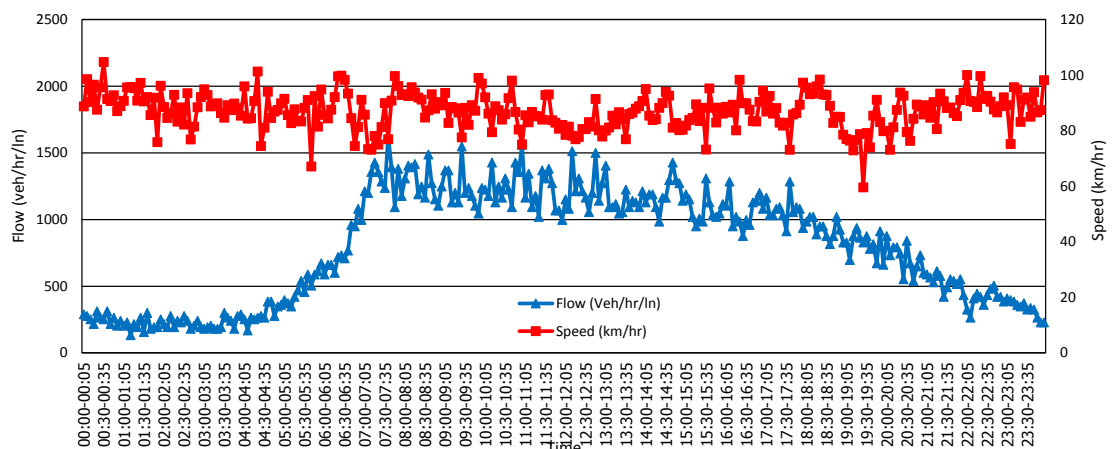
รูปที่ 4.85 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



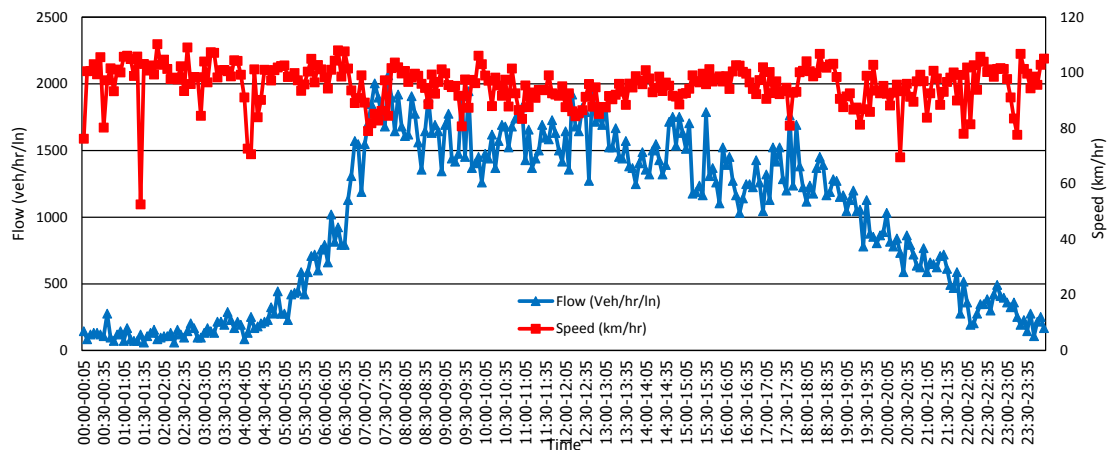
รูปที่ 4.86 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



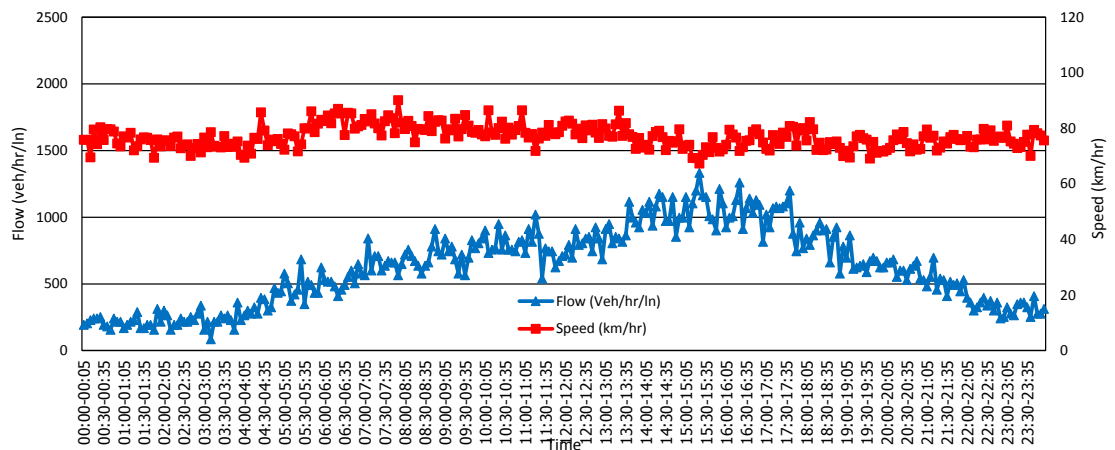
รูปที่ 4.87 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



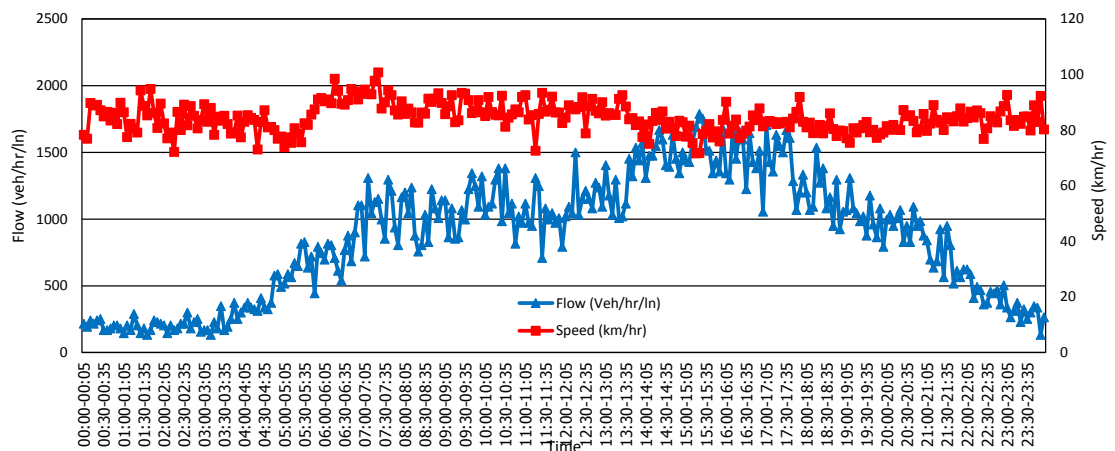
รูปที่ 4.88 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



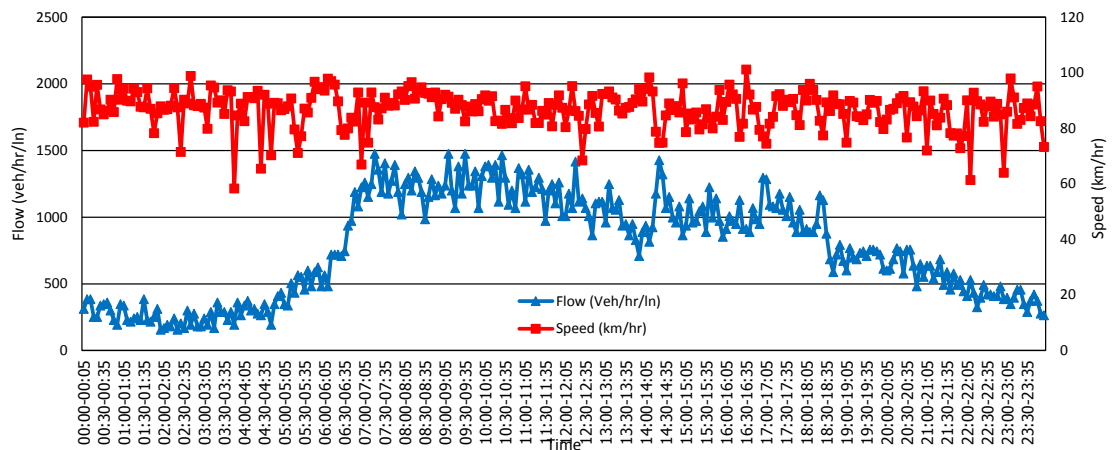
รูปที่ 4.89 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



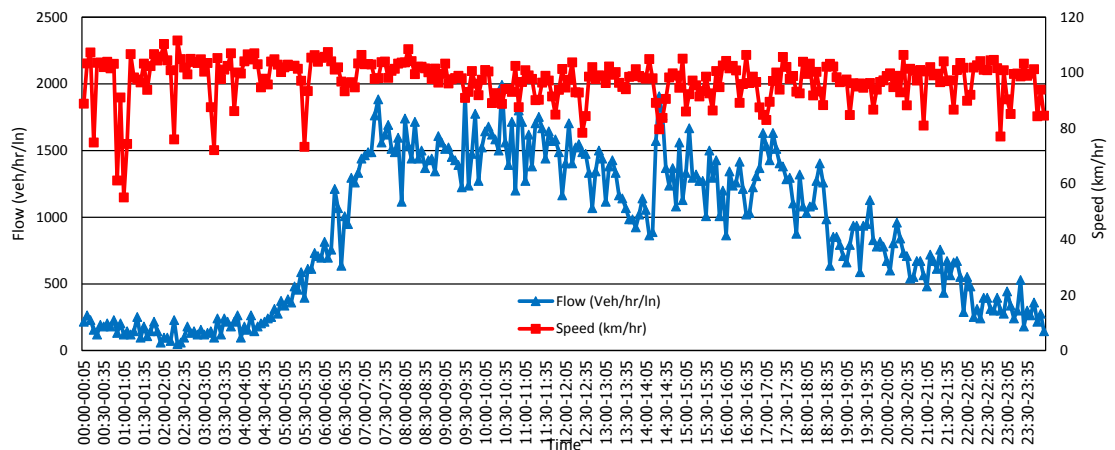
รูปที่ 4.90 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



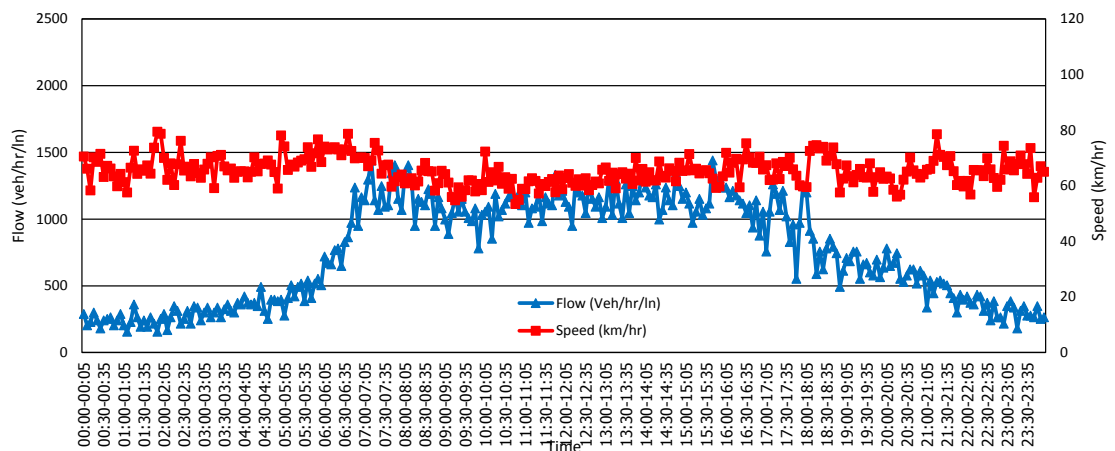
รูปที่ 4.91 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



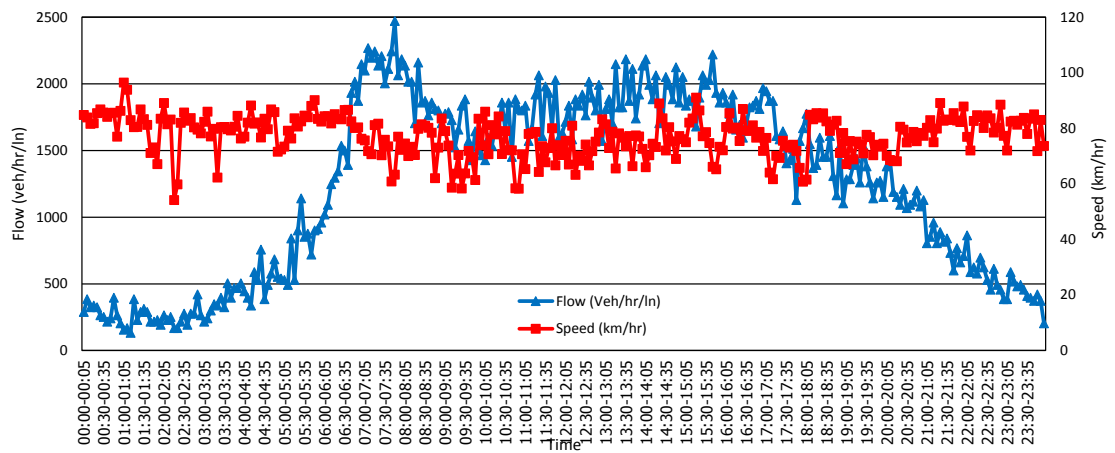
รูปที่ 4.92 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



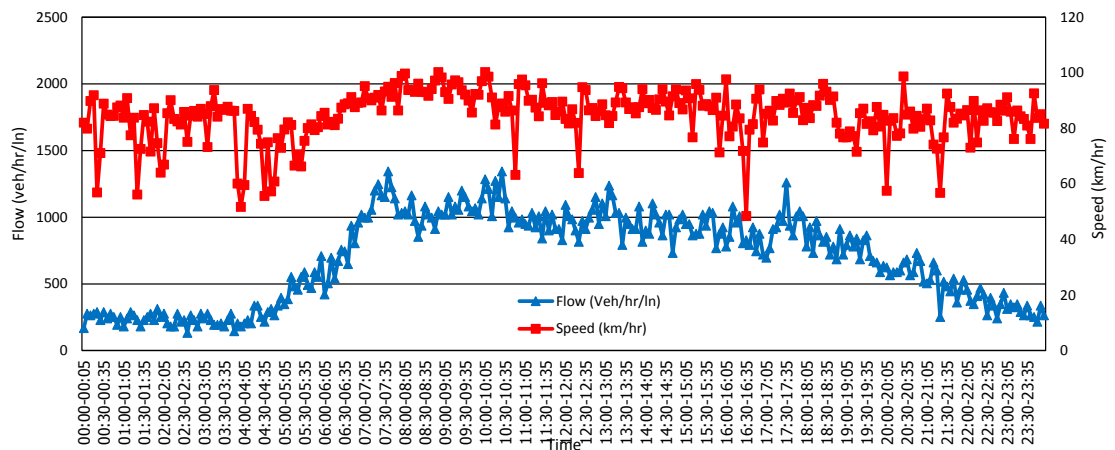
รูปที่ 4.93 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



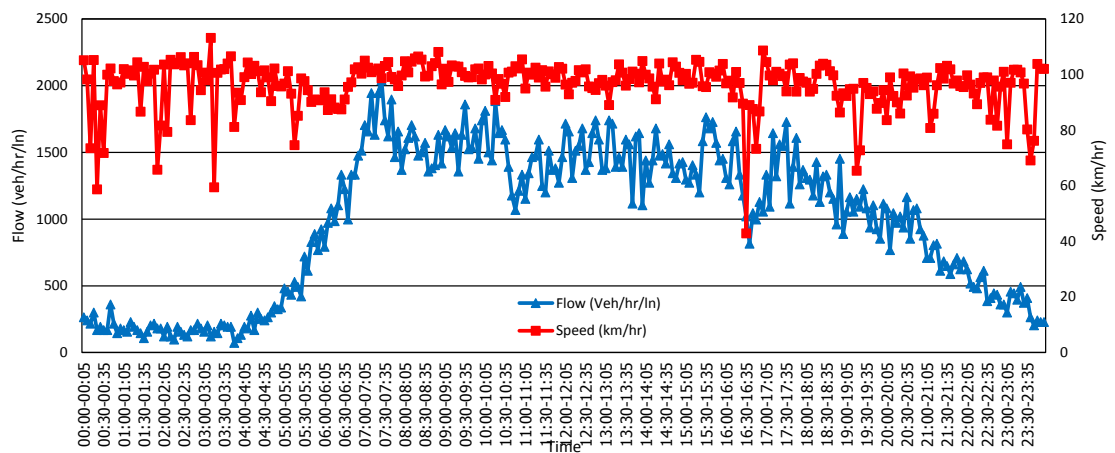
รูปที่ 4.94 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



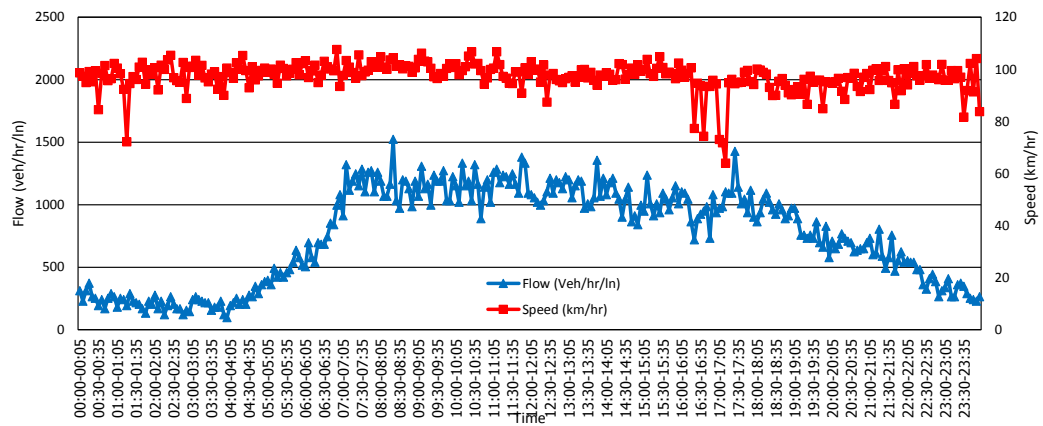
รูปที่ 4.95 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



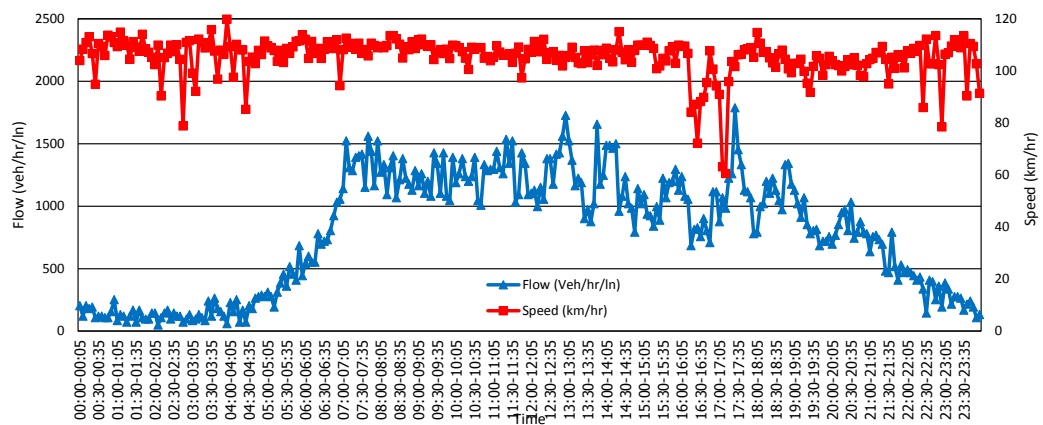
รูปที่ 4.96 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.97 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



รูปที่ 4.98 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ 4.99 กราฟอนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและความเร็ว กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

4.9.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม จะนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และระยะห่างระหว่างรถยนต์ (distance headway) ดังวิธีที่ได้แสดงไปในก่อนหน้านี้ โดยจากข้อมูลและผลการคำนวณ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.70 ถึงตารางที่ 4.85

ตารางที่ 4.70 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	2034.637603
A	139136.2573
B	1.126776611

ตารางที่ 4.71 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	1447.605368
A	220123.4931
B	1.173777288

ตารางที่ 4.72 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	580.992995
A	79766.51629
B	0.984178201

ตารางที่ 4.73 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	629.6757473
A	94418.94306
B	0.993246508

ตารางที่ 4.74 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	194.2669609
A	100885.1581
B	1.022053154

ตารางที่ 4.75 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	1421.157416
A	109560.863
B	1.022405823

ตารางที่ 4.76 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	76.55335127
A	71844.93536
B	0.9896246

ตารางที่ 4.77 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	158.1203418
A	89388.7219
B	1.010007746

ตารางที่ 4.78 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	310.964566
A	86900.09548
B	0.999830494

ตารางที่ 4.79 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	1779.75074
A	123803.8454
B	1.045082887

ตารางที่ 4.80 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	139.5254469
A	73140.1542
B	1.016849579

ตารางที่ 4.81 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	288.9503864
A	85533.89422
B	1.011308463

ตารางที่ 4.82 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพัทธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	590.8428046
A	61591.12103
B	0.951628073

ตารางที่ 4.83 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	1242.264248
A	90648.85635
B	0.990273709

ตารางที่ 4.84 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	210.4211292
A	98165.92125
B	1.001690527

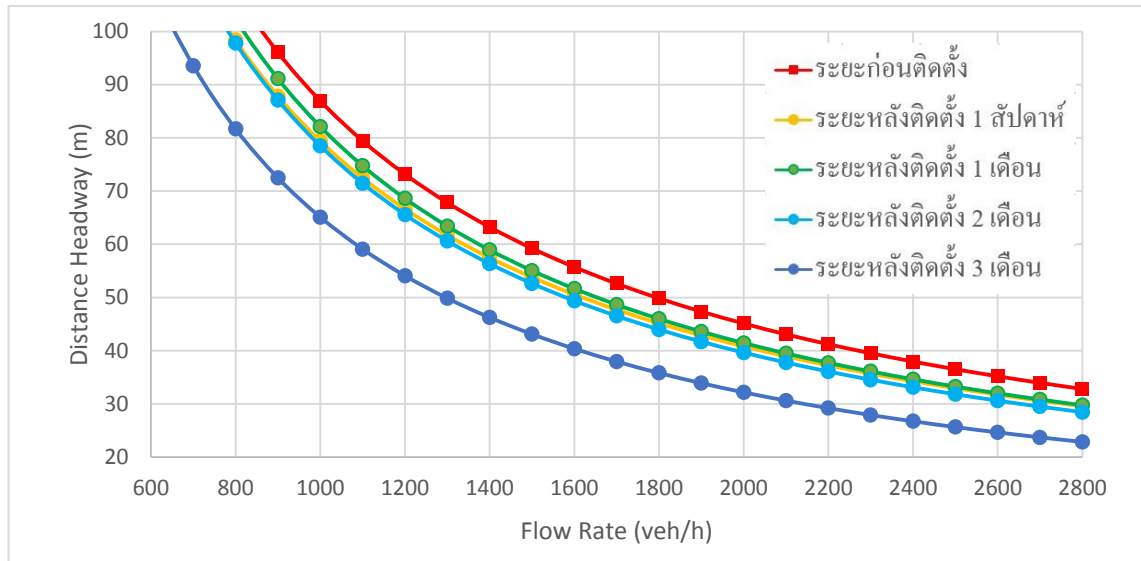
ตารางที่ 4.85 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์
กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
σ^2	1629.282153
A	107055.8886
B	1.002222266

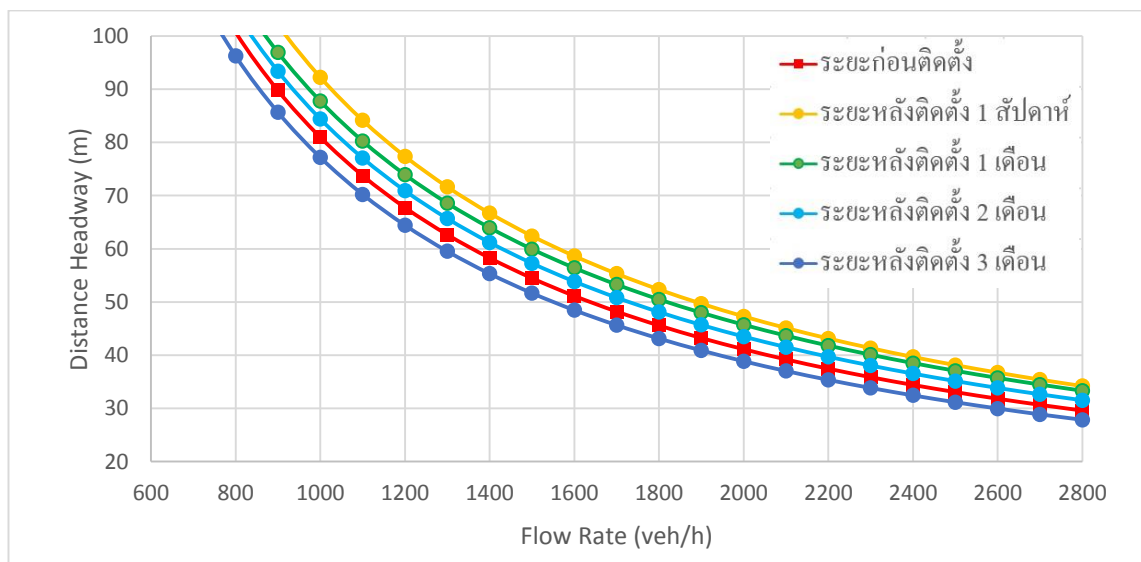
4.10 เปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามระยะก่อน และ หลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิว

จรรยาบรรณ “Transverse Bar”

เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” จึงทำการเปรียบเทียบ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้และระยะห่างระหว่างรถยนต์ ในระยะก่อนและหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ทั้ง 4 ช่วงเวลา ของตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามแต่ละจุด ว่าระยะห่างระหว่างรถยนต์มีความแตกต่างกันหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 4.100 ถึงรูปที่ 4.103 โดยแบ่งตามเลนและเรียงตามทิศทางการจราจร

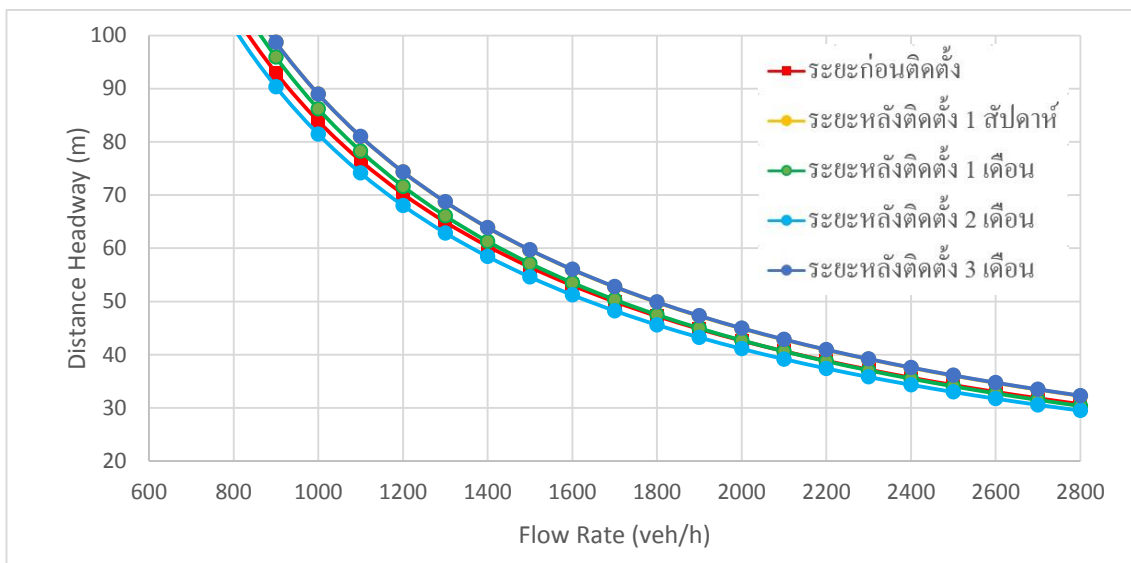


(ก) ก่อนเข้าช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ประมาณ 3 กม.

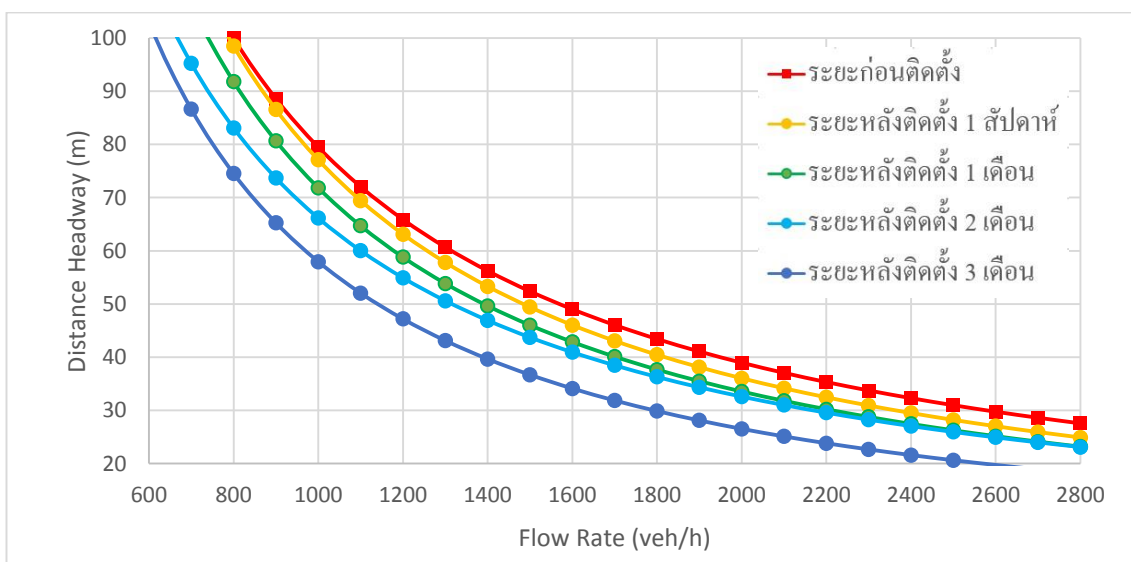


(ข) ภายในช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

รูปที่ 4.100 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างรถยนต์ ระยะก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ขาเข้า กทม. เลนกลาง

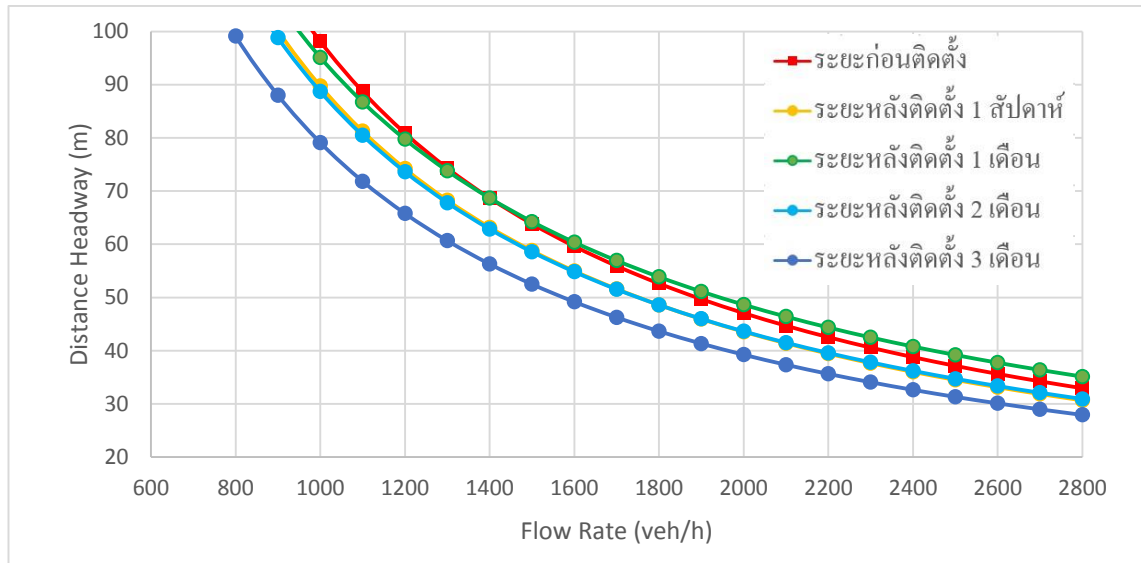


(ก) หลังผ่านช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ไปแล้วประมาณ 3 กม.

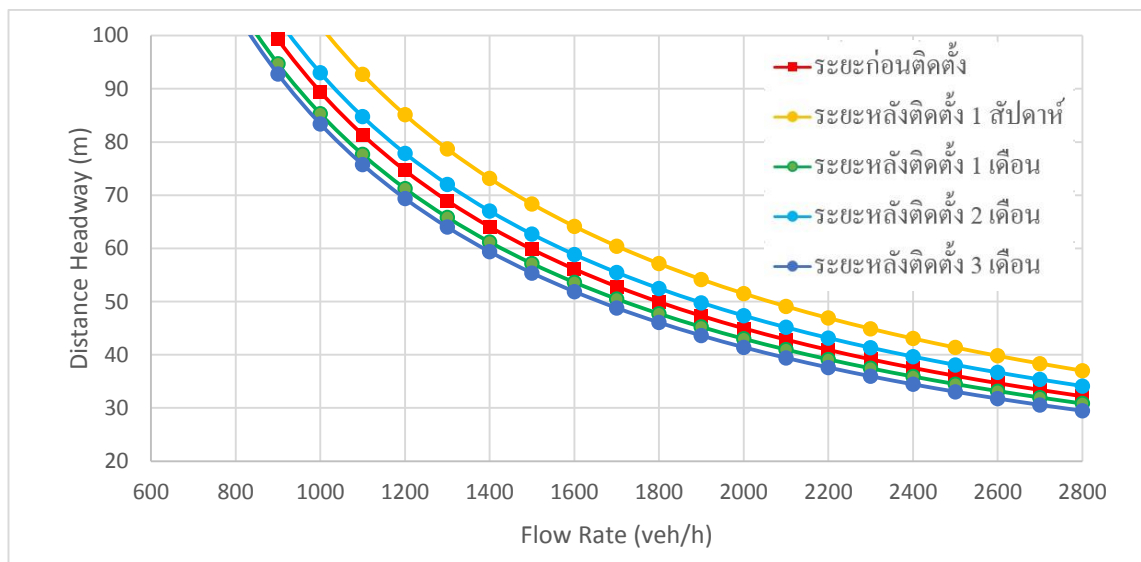


(ง) หลังผ่านช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ไปแล้วประมาณ 10 กม.

รูปที่ 4.100 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างรถยนต์ ระยะก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ขาเข้า กทม. เลนกลาง (ต่อ)

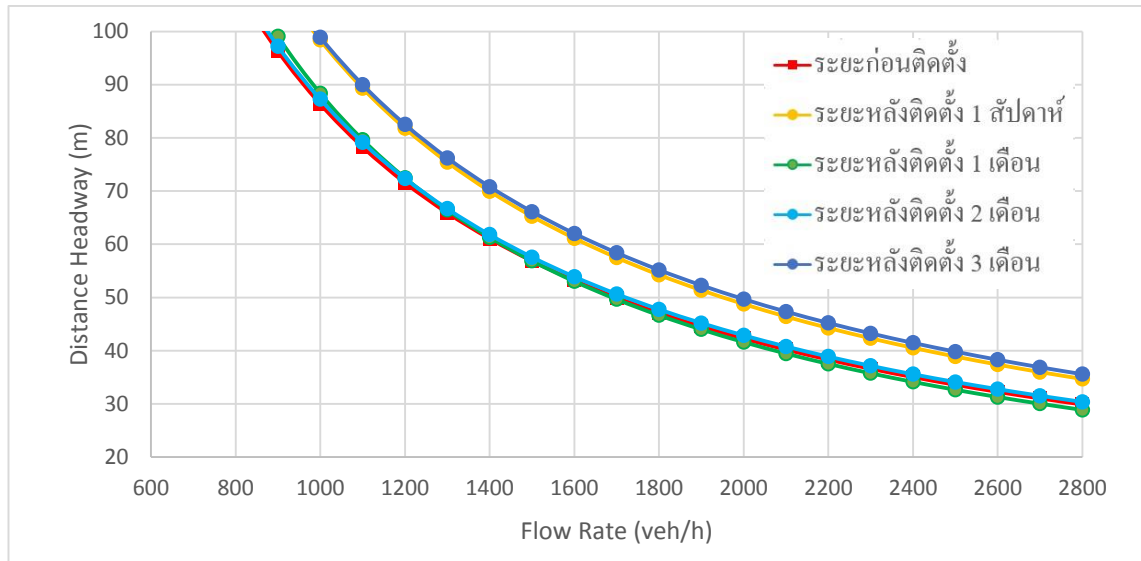


(ก) ก่อนเข้าช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ประมาณ 3 กม.

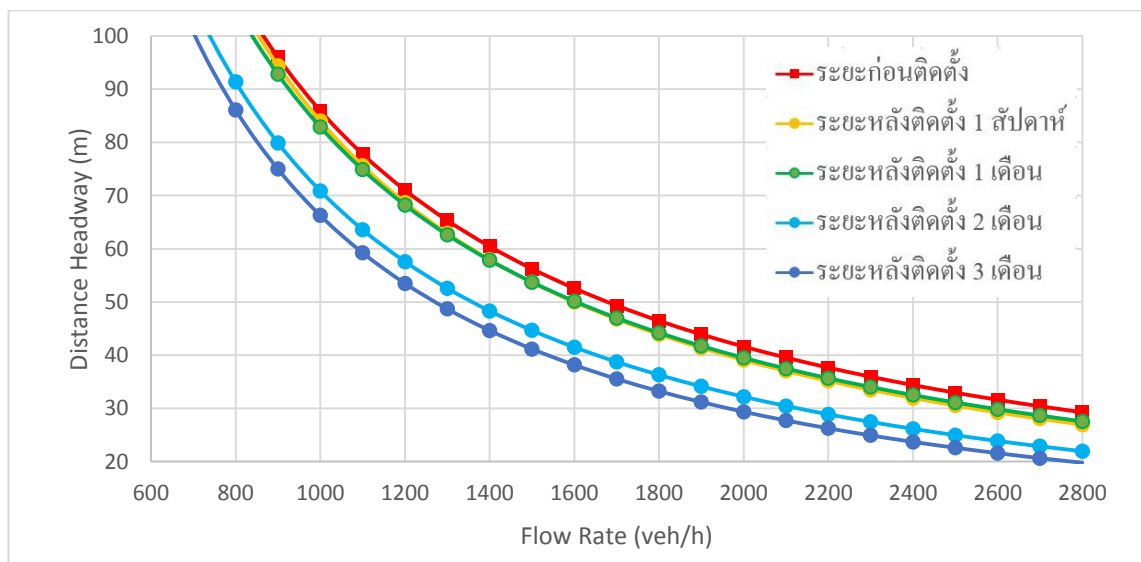


(ข) ภายในช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

รูปที่ 4.101 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างรถยนต์ ระยะก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด

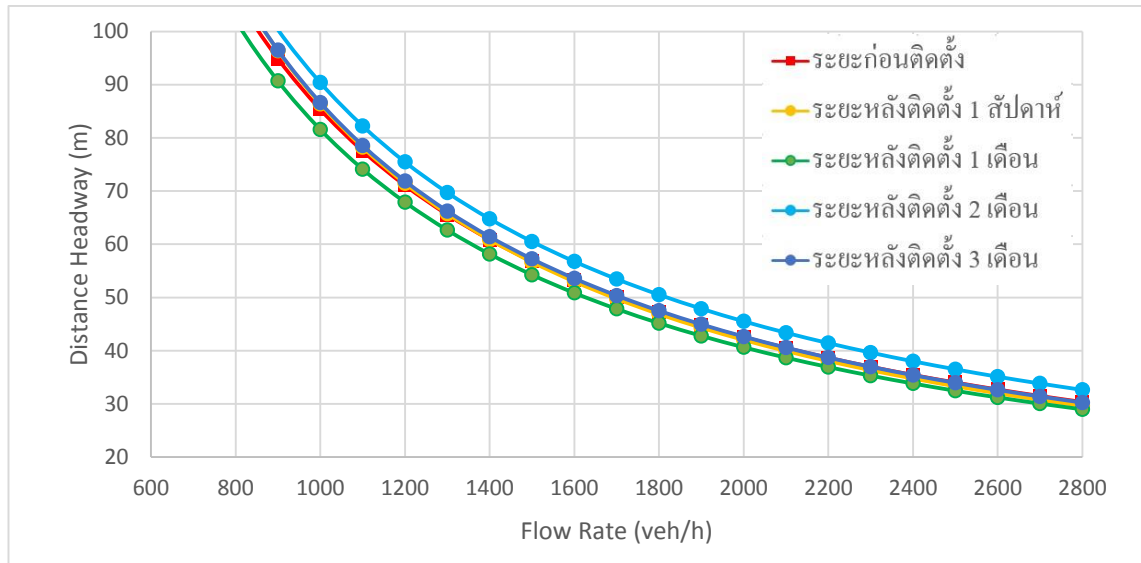


(ค) หลังผ่านช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ไปแล้วประมาณ 3 กม.

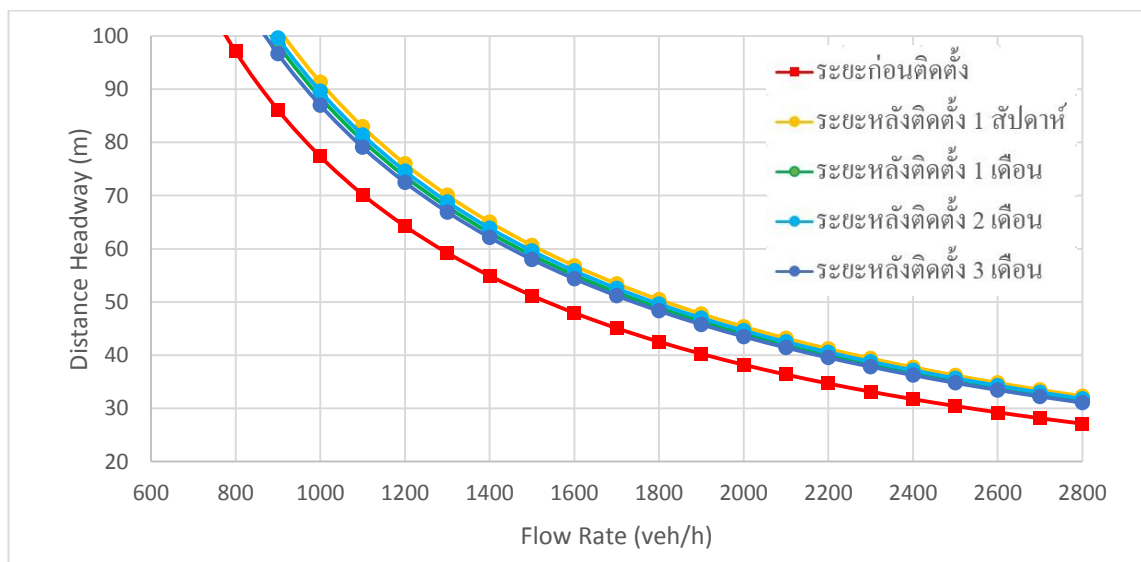


(ง) หลังผ่านช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ไปแล้วประมาณ 10 กม.

รูปที่ 4.101 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างรถยนต์ ระยะก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด (ต่อ)

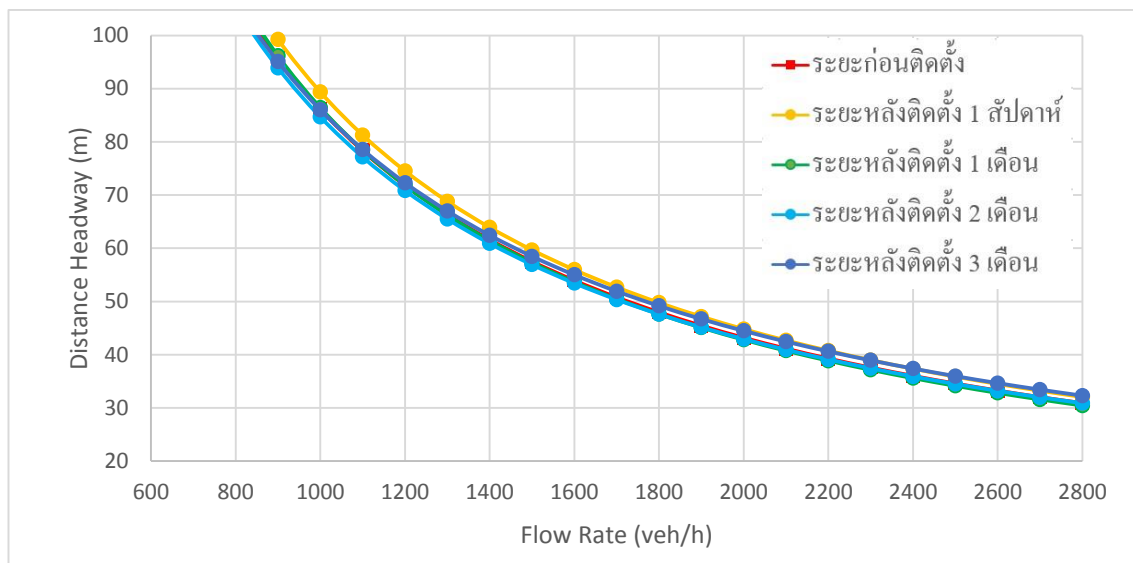


(ก) ก่อนเข้าช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ประมาณ 3 กม.

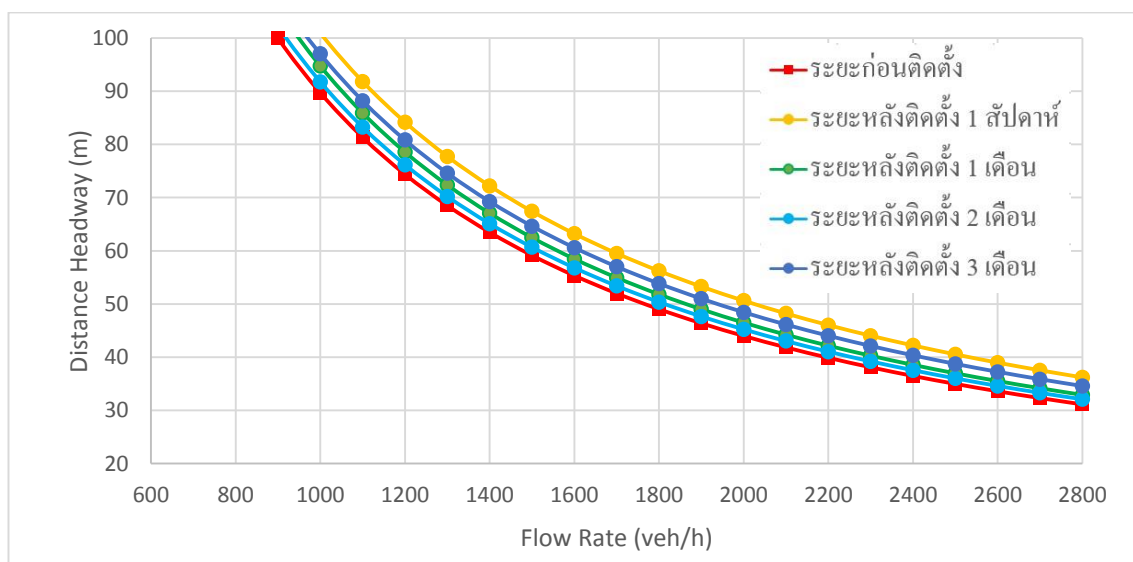


(ข) ภายในช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

รูปที่ 4.102 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างรถยนต์ ระยะก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ขาออก กทม. เลนกลาง

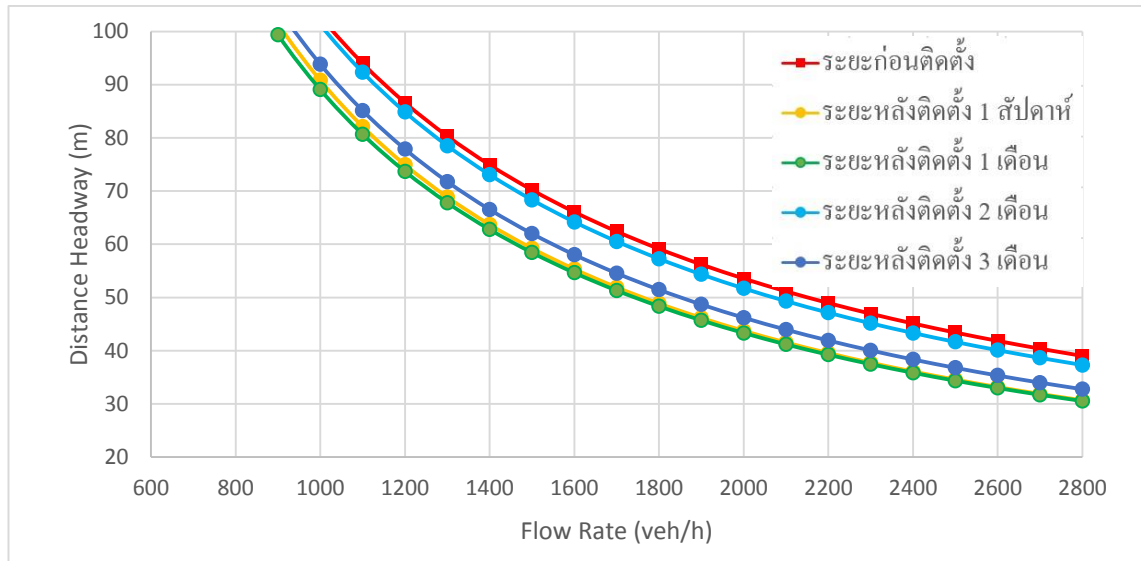


(ค) หลังผ่านช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ไปแล้วประมาณ 3 กม.

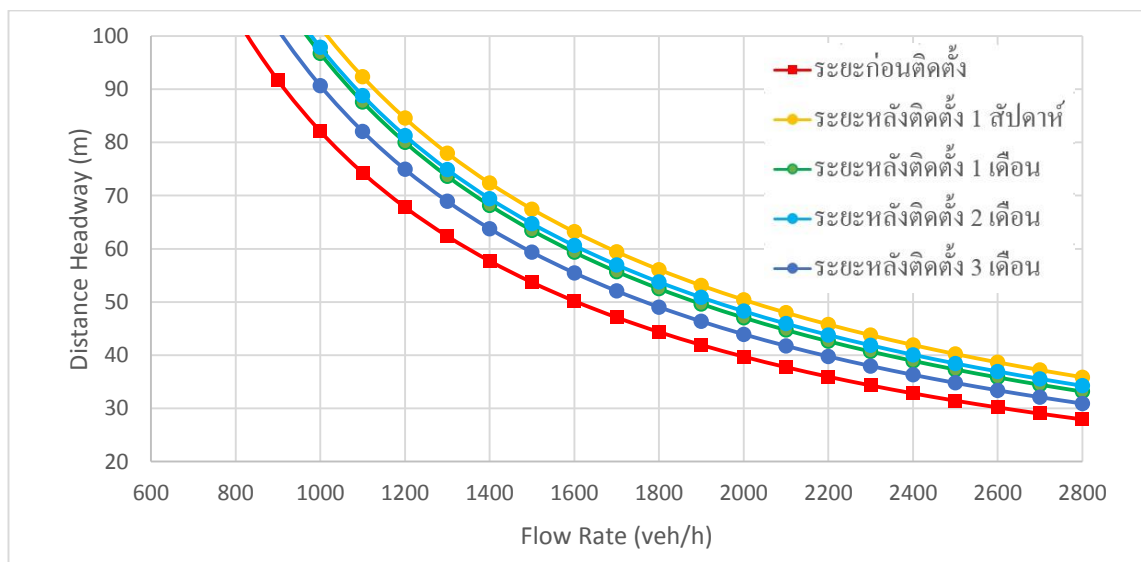


(ง) หลังผ่านช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ไปแล้วประมาณ 10 กม.

รูปที่ 4.102 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างรถยนต์ ระยะก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ขาออก กทม. เลนกลาง (ต่อ)

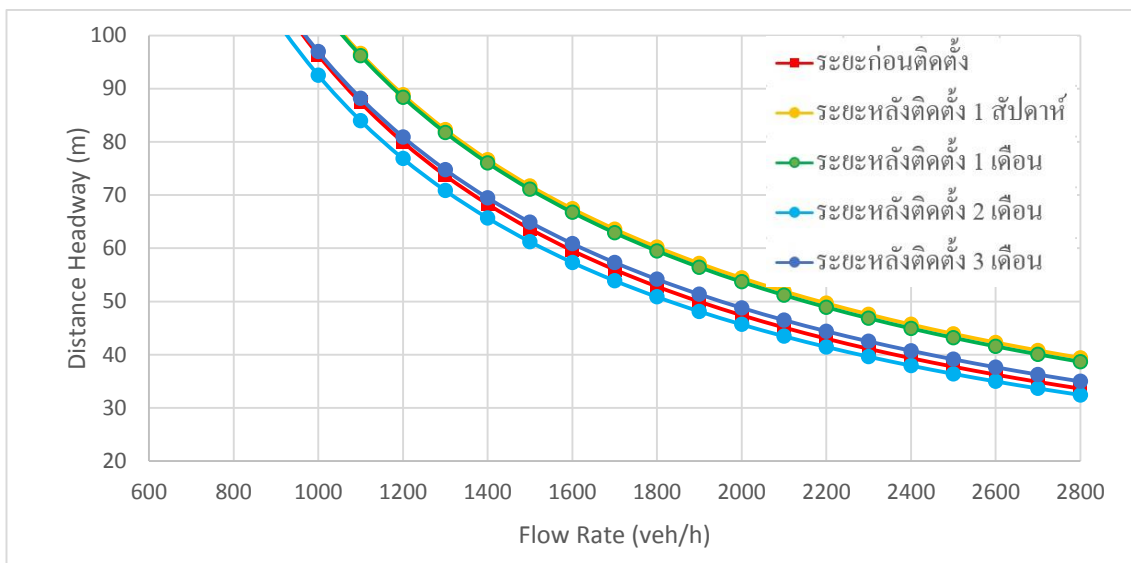


(ก) ก่อนเข้าช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ประมาณ 3 กม.

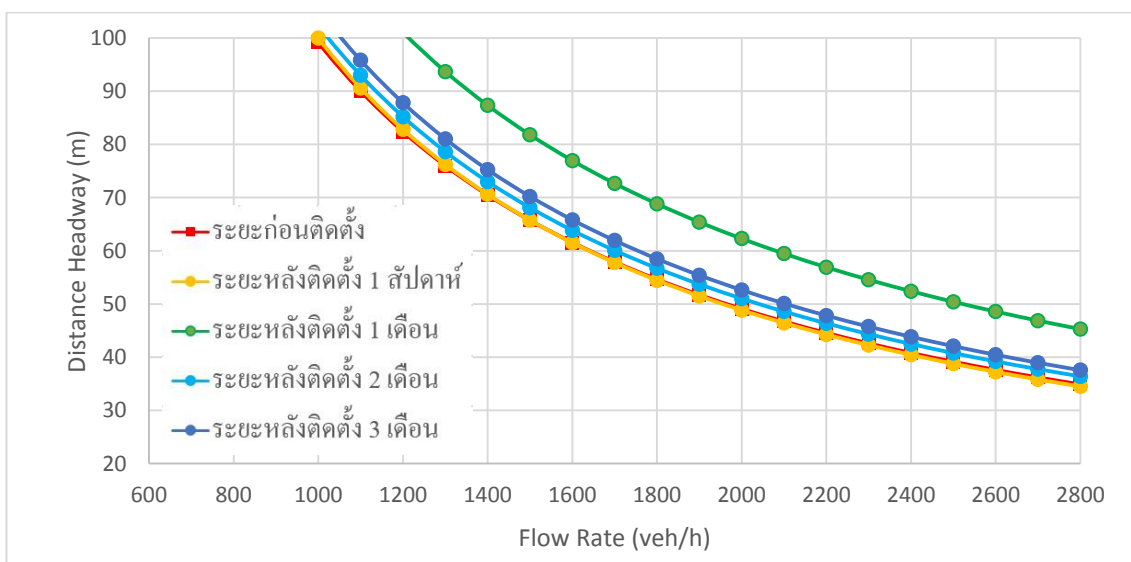


(ข) ภายในช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”

รูปที่ 4.103 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างรถยนต์ ระยะก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ขาออก กทม. เลนขวาสุด



(ก) หลังผ่านช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ไปแล้วประมาณ 3 กม.



(ง) หลังผ่านช่วงถนนที่ติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ไปแล้วประมาณ 10 กม.

รูปที่ 4.103 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างรถยนต์ ระยะก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” ขาออก กทม. เลนขวาสุด (ต่อ)

โดยจากกราฟแสดงให้เห็นว่า ในทิศทางขาเข้า กทม. บริเวณ กม. 31+946 ซึ่งเป็นช่วง 3 กิโลเมตร ก่อนเข้าช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร ในเลนกลาง ระยะห่างระหว่างรถทั้ง 4 ระยะเวลาระยะเวลา 1 เดือนหลังการติดตั้งเท่านั้น ที่มีระยะห่างน้อยกว่าช่วงก่อนการติดตั้งทั้งหมด ส่วนในเลนขวามีเพียงช่วงระยะเวลา 3 เดือนหลังการติดตั้งเท่านั้น ที่มีระยะห่างระหว่างรถใกล้เคียงกับช่วงก่อนติดตั้ง เมื่อถึงช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร คือบริเวณ กม. 25+775 ในเลนกลาง ระยะห่างระหว่างรถในช่วง 3 ระยะแรกหลังการติดตั้ง มีระยะห่างเพิ่มมากขึ้นและมีระยะห่างมากกว่าช่วงก่อนติดตั้ง มีเพียงระยะเวลา 3 เดือนหลังการติดตั้งเท่านั้น ที่มีระยะห่างน้อยกว่าช่วงก่อนการติดตั้ง ส่วนในเลนขวามีเพียงระยะ 1 สัปดาห์และ 2 เดือนหลังการติดตั้งเท่านั้น ที่มีระยะห่างระหว่างรถมากกว่าช่วงก่อนการติดตั้ง และเมื่อผ่านช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรไปแล้วประมาณ 3 กิโลเมตร คือบริเวณ กม. 20+558 ในเลนกลาง ระยะห่างระหว่างรถในช่วงหลังการติดตั้งทั้ง 4 ระยะ มีระยะห่างใกล้เคียงกับช่วงก่อนการติดตั้ง ส่วนในเลนขวา มีเพียงระยะ 1 สัปดาห์และ 3 เดือนหลังการติดตั้งเท่านั้นที่มีระยะห่างระหว่างรถมากกว่าช่วงก่อนการติดตั้ง หลังจากนั้น เมื่อผ่านช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรไปแล้วประมาณ 10 กิโลเมตร คือบริเวณ กม. 14+075 ทั้ง 2 เลน ระยะห่างระหว่างรถในช่วงหลังการติดตั้งทั้ง 4 ระยะ มีระยะห่างน้อยกว่าช่วงก่อนการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรทั้ง หก

ด้านทิศทางขาออก กทม. บริเวณ กม. 20+558 ซึ่งเป็นช่วง 3 กิโลเมตร ก่อนเข้าช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร ในเลนกลาง ระยะห่างระหว่างรถในช่วงหลังการติดตั้งทั้ง 4 ระยะ มีระยะห่างใกล้เคียงกับช่วงก่อนการติดตั้ง ส่วนในเลนขวา ระยะห่างระหว่างรถในช่วงหลังการติดตั้ง มีระยะห่างน้อยกว่าช่วงก่อนการติดตั้งทั้งหมด เมื่อถึงช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจร คือบริเวณ กม. 25+775 ระยะห่างระหว่างรถในช่วงหลังการติดตั้งทั้ง 4 ระยะ มีระยะห่างเพิ่มมากขึ้นและมีระยะห่างมากกว่าช่วงก่อนการติดตั้งอย่างชัดเจนทั้ง 2 เลน และเมื่อผ่านช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรไปแล้วประมาณ 3 กิโลเมตร คือบริเวณ กม. 31+946 ในเลนกลาง ระยะห่างระหว่างรถในช่วงหลังการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรทั้ง 4 ระยะ มีระยะห่างใกล้เคียงกับช่วงก่อนการติดตั้ง ส่วนในเลนขวา มีเพียงระยะ 1 สัปดาห์และ 1 เดือนหลังการติดตั้งเท่านั้น ที่มีระยะห่างระหว่างรถมากกว่าช่วงก่อนการติดตั้งอย่างชัดเจน หลังจากนั้น เมื่อผ่านช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรไปแล้วประมาณ 10 กิโลเมตร คือบริเวณ กม. 36+889 ในเลนกลาง ระยะ 1 สัปดาห์หลังการติดตั้ง ระยะห่างระหว่างรถจะมีระยะห่างมากกว่าช่วงก่อนติดตั้งอย่างชัดเจน ส่วนที่เหลืออีก 3 ระยะหลังการติดตั้ง มีระยะห่างมากกว่าช่วงก่อนการติดตั้งแต่เพียงเล็กน้อย ส่วนในเลนขวามีเพียงระยะ 1 เดือนหลังการติดตั้งเท่านั้น ที่มีระยะห่างระหว่างรถจะมีระยะห่างมากกว่าช่วงก่อนติดตั้งชัดเจน ส่วนที่เหลืออีก 3 ระยะหลังการติดตั้ง มีระยะห่างใกล้เคียงกับช่วงก่อนการติดตั้ง

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

อุบัติเหตุจากการชนท้าย เกิดจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ขับรถตามหลัง เว้นระยะห่างระหว่างรถตนเอง กับรถคันหน้าไม่เพียงพอและเหมาะสม โดยเมื่อรถคันหน้าลดความเร็วลงอย่างกะทันหัน ผู้ขับขี่ที่ขับรถตามหลังมีระยะเบรก หรือ เวลาในการเบรกไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถหยุดรถได้ทัน จึงเกิดอุบัติเหตุ การชนท้ายเกิดขึ้น หรือนอกจากนี้ อาจเกิดจากผู้ขับขี่ที่ขับรถตามหลังเร่งความเร็วมากกว่ารถคันที่อยู่ ด้านหน้า

งานวิจัยในครั้งนี้ จึงมีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้ผู้ขับขี่ที่ขับรถตามหลัง เว้นระยะห่างระหว่างรถ ตนเองกับรถคันหน้าให้เหมาะสม โดยได้นำวิธีการทำเครื่องหมายลงบนผิวจราจร ซึ่งเคยถูกนำเสนอ โดย Latham และ Trombly (2003), Department of Public Safety (2006), Greibe (2007), พล.ต.พล เลิศรวนิจ และคณะ (2550), พล.ต.พล เลิศรวนิจ (2553) และ อนินทิศา ปฏิสังข์ (2553) นำมาบูรณาการเพื่อใช้ในการทดสอบปัญหาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีผลช่วยให้ระยะห่างระหว่างรถ มีระยะห่าง เพิ่มขึ้น และยังส่งผลไปสู่การลดอุบัติเหตุจากการชนท้าย

นอกจากนี้งานวิจัยในครั้งนี้ ยังได้ศึกษาและคำนวณหาระยะห่างที่ปลอดภัยในการขับรถตามกัน บน ทางหลวงหมายเลข 35 สายธนบุรี-ปากท่อ หรือ ถนนพระรามที่ 2 โดยพบว่าควรมีระยะห่างไม่น้อย กว่า 47 เมตร โดยเป็นระยะห่างที่ความเร็ว 97 กม. /ชม. เนื่องจากเป็นความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ของข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจมา และได้ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” จำนวน 3 ชุด ลงในเลนกลางและเลนขวาสุด และติดตั้งป้ายเตือน เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ขับขี่เว้น ระยะห่างระหว่างรถตนเองกับรถคันหน้าให้เหมาะสม ในช่วงระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร ตั้งแต่ บริเวณ กม. 23+200 ถึง กม. 28+309 หลังจากนั้นได้ทำการเก็บข้อมูลทิศทางละ 4 จุด คือ 3 กิโลเมตร ก่อนเข้าช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, ภายในช่วงถนนที่ทำงานวิจัย, 3 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงาน วิจัย และ 10 กิโลเมตรหลังจากช่วงถนนที่ทำงานวิจัย โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูลจราจรทิศทางละ 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างรถของผู้ขับขี่ ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องหมายบน ผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” โดยผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) แบบจำลองการขับรถตามกันของจีเอ็มลำดับที่ 5 (GM5th Car – following model) สามารถ นำมาเปรียบเทียบโดยข้อมูลการจราจรบนถนนพระรามที่ 2 บริเวณ กม. 23+200 ถึง กม. 28+309 เพื่อใช้ ในการศึกษาระยะห่างระหว่างรถที่เหมาะสมของรถที่ขับตามกันได้

(2) วิธี Maximum likelihood สามารถนำมาใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองการขับรถตามกันของ จีเอ็มลำดับที่ 5 (GM5th Car – following model) ได้

(3) เครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” มีส่วนช่วยให้ผู้ขับขี่เว้นระยะห่างระหว่างรถ ตนเองกับรถคันหน้าเพิ่มมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) แม้ว่าการทำเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” จะช่วยให้ผู้ขับขี่เว้นระยะห่าง ระหว่างรถตนเองกับรถคันหน้าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อผ่านช่วงถนนที่ทำการติดตั้งเครื่องหมายบนผิว จราจรไปแล้ว พบว่าพฤติกรรมของผู้ขับขี่ส่วนใหญ่จะกลับมาเว้นระยะห่างระหว่างรถน้อยลง เหมือนเดิม ทำให้มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุชนท้ายขึ้นได้ ดังนั้นหากต้องการลดความเสี่ยงอุบัติเหตุจากการ ชนท้าย ผู้ขับขี่ควรปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการขับขี่

(2) เมื่อผ่านการใช้งานเป็นเวลาสักระยะ เครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” มีความ คมชัดลดลงและสังเกตเห็นได้ยากขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการทำความสะอาดและปรับปรุงเครื่องหมายบน ผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” อยู่เสมอ เพื่อช่วยให้สังเกตเห็นได้ง่าย

(3) การทำเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนา ใช้ ในถนนสถานที่อื่น ๆ ที่ผู้ขับขี่มีพฤติกรรมเว้นระยะห่างไม่เหมาะสมได้ เพื่อช่วยลดปัญหาอุบัติเหตุ จากการชนท้าย

เอกสารอ้างอิง

พลเทพ เลิศวรรณิช, ญัฐสม สงวนวงษ์ และมงคล ทวีชัยทศพล, 2550, รายงานฉบับที่ วพ. 238 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง: ระยะห่างในการขับรถยนต์ตามกันที่ปลอดภัย, กรุงเทพมหานคร.

พลเทพ เลิศวรรณิช, 2553, รายงานฉบับที่ วพ. 281 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง: การศึกษาการลดความเสี่ยงอุบัติเหตุจากการชนท้ายบนทางหลวง, กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2557, รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนพ.ศ. 2557, กรุงเทพมหานคร.

อนินทิตา ปฏิสังข์, 2553, การประยุกต์ใช้เครื่องหมายบนพื้นทางเพื่อรักษาระยะห่างการขับขี่ปลอดภัย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Brackstone, M. and McDonald, M., 1999, Car Following: A Historical Review, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 1, 2, pp.181-196.

Darroch, J.N., and Rothery, R.W., 1973, Car-Following and Spectral Analysis, Proceeding of the 5th International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation, pp.47-56.

Department of Public Safety, 2006, Minnesota Tailgating Pilot Project, USA.

Forbes, T.W., 1963, Human Factor Considerations in Traffic Flow Theory, Highway Research Record 15, pp.60-66.

Gurusinghe, G.S., Nakatsuji, T., Tanaboriboon, Y., and Suzuki, J., 2001, A Car-Following Model Incorporating Excess Critical Speed Concept. Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 4 (2), pp.171-183.

Gazis, D.C., Herman, R., Rothery, R.W., 1961, Nonlinear Follow-the-leader Models of Traffic Flow, Operations Research 9, pp.545-567.

Holland, E.N., 1998, A Generalized Stability Criterion for Motorway Traffic, *Transportation Research Part B: Methodology* 32, pp.141-154.

Kohler, U., 1973, Stability of Vehicle Platoons, *Proceeding of the 5th International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation*, pp.39-55.

Latham, F.E. and Trombly, J.W., 2003, *Low Cost Traffic Engineering Improvements: A Primer*, Report FHWA-OP-03-078, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC.

Laurencas, R., Arturas, K., Saugirdas, P., Jonas, B., Janina, J., Jurga, I., Rolandas, M., 2015, City transport analysis using the General Motors (GM) microscopic model, *Public Transport* 7, pp.159-183.

Pipes, L.A., 1953, An Operational Analysis of Traffic Dynamics, *Journal of Applied Physics*, 24, pp.274-281.

Poul Greibe, 2009, *CHEVRON MARKINGS ON FREEWAYS: EFFECT ON SPEED, GAP AND SAFETY*, Denmark.

Song, M. and Wang, J-H., 2010, Studying the Tailgating Issues and Exploring Potential Treatment, *Journal of the Transportation Research Forum*, Vol.49, No.3, pp.69-86.

Subramanian, H., 1996 *Estimation of Car-Following Models*, M.S. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, MIT.

Sun, D., and Benekohal, R.F., 2005, Analysis of Work Zone Gaps and Rear-End Collision Probability, *U.S. DOT Journal of Transportation and Statistics*, Volume 8, No. 2.

Winsum, W.V., 1999, The Human Element in Car Following Models, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 2, pp.207-221.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model

Flow	Speed	Density
72	87.5717	0.822183
84	92.2798	0.910275
96	81.0285	1.18477
96	99.2357	0.967394
96	87.3948	1.09846
108	95.2277	1.13412
108	92.2118	1.17122
108	98.1677	1.10016
108	92.1921	1.17147
108	93.7958	1.15144
108	98.8048	1.09306
120	82.3379	1.45741
120	90.2475	1.32968
120	92.0892	1.30308
120	96.8983	1.23841
120	103.547	1.15889
120	106.885	1.1227
120	91.7257	1.30825
132	78.5783	1.67985
132	100.403	1.3147
132	95.0066	1.38938
132	90.7733	1.45417
132	95.4738	1.38258
132	96.999	1.36084
132	105.191	1.25486
132	99.375	1.3283
132	93.6417	1.40963
132	90.4678	1.45908

Flow	Speed	Density
132	98.7773	1.33634
144	92.5617	1.55572
144	85.9266	1.67585
144	80.3698	1.79172
144	90.9911	1.58257
144	94.8579	1.51806
144	92.4833	1.55704
144	94.5907	1.52235
144	94.8036	1.51893
144	91.1747	1.57939
144	101.231	1.42249
144	106.35	1.35402
144	96.7741	1.488
144	101.767	1.415
144	92.9495	1.54923
156	86.1391	1.81102
156	82.6721	1.88697
156	83.8295	1.86092
156	91.9652	1.69629
156	94.6813	1.64763
156	92.5951	1.68475
156	78.3792	1.99032
156	95.4252	1.63479
156	94.2102	1.65587
156	97.0698	1.60709
156	93.154	1.67465
156	93.0356	1.67678
156	96.5371	1.61596

Flow	Speed	Density
156	104.116	1.49833
156	100.459	1.55287
156	100.459	1.55287
156	55.6901	2.80122
156	90.1861	1.72976
168	92.4099	1.81799
168	78.7267	2.13396
168	71.3818	2.35354
168	88.6489	1.89512
168	78.7674	2.13286
168	91.0712	1.84471
168	96.3643	1.74338
168	96.5149	1.74066
168	99.3315	1.69131
168	79.9281	2.10189
168	93.5338	1.79614
168	101.598	1.65358
168	83.9148	2.00203
168	84.7386	1.98257
168	65.2503	2.5747
168	86.8187	1.93507
168	84.9995	1.97648
168	97.6097	1.72114
180	90.6759	1.98509
180	82.7394	2.17551
180	90.1824	1.99595
180	77.5075	2.32235
180	84.1396	2.1393

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
180	82.6876	2.17687
180	93.4862	1.92542
180	97.7213	1.84197
180	97.1116	1.85354
180	90.2825	1.99374
180	94.7523	1.89969
180	96.1061	1.87293
180	101.847	1.76736
180	100.321	1.79424
180	93.2573	1.93014
180	69.217	2.60052
180	94.2131	1.91056
180	95.9998	1.875
180	94.1711	1.91141
180	91.9439	1.95771
192	81.1014	2.36741
192	84.3156	2.27716
192	72.0267	2.66568
192	96.3737	1.99224
192	105.854	1.81382
192	87.1953	2.20195
192	92.6361	2.07263
192	91.7137	2.09347
192	101.68	1.88828
192	94.1985	2.03825
192	103.983	1.84645
192	100.046	1.91912
192	83.1055	2.31032

Flow	Speed	Density
192	73.7393	2.60377
192	96.1821	1.99621
192	83.2502	2.3063
192	96.3688	1.99235
192	91.3947	2.10078
192	61.3623	3.12896
204	88.0183	2.3177
204	81.0732	2.51624
204	84.6307	2.41047
204	93.1738	2.18946
204	83.1231	2.45419
204	88.5597	2.30353
204	95.3124	2.14033
204	97.1143	2.10062
204	95.8274	2.12883
204	100.777	2.02426
204	103.006	1.98046
204	93.6243	2.17892
204	96.3489	2.1173
204	94.34	2.16239
216	85.0231	2.54049
216	80.2479	2.69166
216	91.8013	2.35291
216	82.5233	2.61744
216	78.2978	2.7587
216	95.1289	2.2706
216	97.9429	2.20537
216	98.1658	2.20036

Flow	Speed	Density
216	94.5592	2.28428
216	87.7509	2.46151
216	99.6481	2.16763
216	95.9263	2.25173
216	92.8822	2.32553
216	95.7127	2.25675
216	96.7131	2.23341
216	88.678	2.43578
216	96.634	2.23524
216	94.9508	2.27486
228	90.7505	2.51238
228	84.3359	2.70348
228	88.4773	2.57693
228	97.0121	2.35022
228	94.9592	2.40103
228	95.8445	2.37885
228	69.4607	3.28243
228	97.3922	2.34105
228	102.209	2.23073
228	98.0376	2.32564
228	97.6359	2.33521
228	73.2162	3.11407
228	57.8692	3.93992
240	82.1961	2.91985
240	81.6211	2.94042
240	84.7908	2.8305
240	83.6924	2.86764
240	79.6442	3.0134

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
240	89.7459	2.67422
240	85.9186	2.79334
240	84.3541	2.84515
240	94.3727	2.54311
240	98.0794	2.447
240	93.9934	2.55337
240	96.9773	2.4748
240	98.796	2.42925
240	54.895	4.37198
240	56.3269	4.26084
240	89.4095	2.68428
240	97.5184	2.46107
240	59.4136	4.03948
240	95.103	2.52358
252	83.3259	3.02427
252	70.1529	3.59216
252	80.2909	3.13859
252	81.0141	3.11057
252	87.7873	2.87057
252	86.8735	2.90077
252	91.0107	2.76891
252	93.2853	2.70139
252	94.9741	2.65336
252	100.671	2.5032
252	83.0985	3.03254
252	48.6723	5.17748
252	79.6915	3.1622
252	87.0804	2.89388

Flow	Speed	Density
252	58.5801	4.3018
264	88.2473	2.99159
264	83.5917	3.15821
264	84.4236	3.12709
264	82.529	3.19888
264	94.7473	2.78636
264	104.249	2.53241
264	80.9171	3.2626
264	85.9693	3.07086
264	87.7163	3.0097
264	92.1602	2.86458
264	97.1357	2.71785
276	85.3078	3.23534
276	88.9331	3.10346
276	80.5266	3.42744
276	83.4143	3.30879
276	84.7205	3.25777
276	82.0813	3.36252
276	93.2214	2.96069
276	94.1456	2.93163
276	97.2544	2.83792
276	94.5478	2.91916
276	96.4661	2.86111
276	83.3654	3.31073
276	82.0528	3.36369
276	54.6722	5.04827
276	83.1382	3.31977
276	97.6574	2.82621

Flow	Speed	Density
288	87.6082	3.28736
288	74.9337	3.8434
288	66.5496	4.3276
288	91.1145	3.16086
288	98.6585	2.91916
288	100.138	2.87604
288	91.3691	3.15205
288	89.8272	3.20616
288	107.79	2.67186
288	106.791	2.69687
288	85.4821	3.36912
288	84.4593	3.40993
288	53.8205	5.35112
288	70.5668	4.08124
288	95.4497	3.0173
288	94.265	3.05522
288	92.4363	3.11566
288	87.2801	3.29972
300	84.4165	3.55381
300	100.043	2.99872
300	93.2712	3.21643
300	98.6554	3.04089
300	80.2237	3.73954
300	86.0941	3.48456
300	78.8711	3.80368
312	81.4399	3.83104
312	80.6638	3.86791
312	94.6516	3.2963

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
312	94.7978	3.29122
312	94.8592	3.28909
312	104.527	2.98486
312	95.1879	3.27773
312	70.9333	4.3985
312	96.0486	3.24836
312	92.8687	3.35958
324	77.33	4.18984
324	89.0632	3.63786
324	86.405	3.74978
324	91.0832	3.55719
324	96.0524	3.37316
324	98.4039	3.29255
324	100.001	3.23996
324	97.3184	3.32928
324	87.8665	3.68741
324	82.01	3.95074
324	87.4793	3.70373
324	87.1603	3.71729
336	80.5325	4.17223
336	71.149	4.72249
336	82.6261	4.06651
336	85.0077	3.95259
336	82.4572	4.07484
336	91.4758	3.6731
336	98.8175	3.40021
336	102.59	3.27519
336	85.7984	3.91616

Flow	Speed	Density
336	57.0554	5.88901
336	75.3069	4.46174
336	65.7163	5.11289
336	84.5694	3.97307
336	83.0213	4.04715
336	82.4987	4.07279
336	95.372	3.52305
348	87.417	3.98092
348	83.4497	4.17017
348	81.4912	4.2704
348	101.679	3.42254
348	108.621	3.20381
348	82.3564	4.22554
348	78.5022	4.433
348	96.5199	3.60548
360	94.5064	3.80927
360	92.8612	3.87675
360	96.3073	3.73804
360	100.515	3.58157
360	104.23	3.45392
360	82.1635	4.38151
360	75.2247	4.78566
360	81.3953	4.42286
360	84.3437	4.26825
360	85.188	4.22595
360	85.605	4.20536
360	93.6617	3.84362
360	94.714	3.80092

Flow	Speed	Density
360	92.8575	3.87691
372	81.6762	4.55457
372	79.6959	4.66774
372	92.21	4.03427
372	95.1993	3.90759
372	83.4508	4.45772
372	86.2303	4.31403
372	86.8299	4.28424
372	85.2278	4.36477
384	85.3667	4.49824
384	85.3694	4.4981
384	86.6892	4.42962
384	95.011	4.04164
384	92.293	4.16066
396	83.8205	4.72438
396	81.4754	4.86036
396	83.4541	4.74512
396	90.6475	4.36857
396	72.1154	5.4912
396	85.2555	4.64486
396	94.9587	4.17024
396	94.2084	4.20345
408	85.3675	4.77934
408	87.2461	4.67643
408	93.2771	4.37406
408	104.83	3.89203
408	94.3899	4.3225
408	86.9831	4.69057

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
408	88.5466	4.60774
408	64.2403	6.35115
420	86.0214	4.8825
420	93.3894	4.4973
420	90.8968	4.62062
420	96.2691	4.36277
420	96.2612	4.36313
420	83.5967	5.02412
420	85.623	4.90522
420	83.39	5.03657
420	79.8567	5.25942
432	90.3281	4.78256
432	86.1428	5.01493
432	66.5178	6.4945
432	82.6786	5.22506
432	93.4486	4.62286
432	94.8509	4.55452
432	91.8911	4.70122
432	92.4846	4.67105
432	92.13	4.68902
432	95.6812	4.51499
432	84.7437	5.09772
432	86.9444	4.96869
444	92.9378	4.77739
444	93.8509	4.73091
444	80.4956	5.51583
444	84.4789	5.25575
444	94.027	4.72205

Flow	Speed	Density
444	93.2557	4.7611
444	84.4965	5.25465
444	91.8047	4.83635
456	94.0886	4.84649
456	84.2334	5.41353
456	85.4868	5.33416
456	84.6649	5.38594
456	81.1338	5.62035
456	86.0311	5.30041
456	93.4327	4.88052
456	92.3273	4.93895
468	78.3013	5.97691
468	92.0165	5.08604
468	82.0901	5.70105
468	83.7787	5.58615
468	94.7667	4.93844
468	77.8435	6.01207
468	71.9611	6.50351
468	75.8939	6.16651
468	83.5021	5.60465
468	80.7979	5.79223
480	86.9284	5.52178
480	84.4242	5.68557
480	95.3449	5.03435
480	84.8544	5.65675
480	85.9818	5.58258
480	85.3423	5.62441
480	86.5586	5.54538

Flow	Speed	Density
492	80.7968	6.08935
492	86.172	5.70951
492	78.378	6.27727
492	91.301	5.38877
492	96.6501	5.09053
492	100.144	4.91292
492	83.9192	5.86278
492	94.1521	5.22559
492	55.3439	8.88987
492	96.143	5.11738
492	94.4378	5.20978
504	85.7201	5.8796
504	89.2178	5.6491
504	90.1268	5.59212
504	94.75	5.31926
504	81.698	6.16906
504	96.3054	5.23335
504	94.4236	5.33765
504	94.6673	5.32391
516	86.8576	5.94076
516	82.3076	6.26917
516	93.256	5.53316
516	89.6013	5.75885
516	96.0145	5.37419
516	98.2296	5.253
516	98.0587	5.26215
516	94.5883	5.45522
516	97.4894	5.29288

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
516	72.3813	7.12891
528	92.0985	5.73299
528	92.0573	5.73556
528	96.8113	5.45391
528	94.3954	5.5935
528	80.5598	6.55414
528	74.5814	7.07951
528	81.5453	6.47492
540	83.9577	6.43181
540	93.87	5.75264
540	100.715	5.36166
540	104.167	5.18396
540	84.1732	6.41534
540	82.843	6.51835
540	93.9956	5.74495
540	91.4059	5.90771
552	85.7028	6.44086
552	79.9011	6.90854
552	96.3991	5.7262
552	86.8939	6.35257
552	97.5581	5.65817
552	84.3151	6.54687
552	62.0002	8.9032
564	77.9075	7.23935
564	83.8322	6.72773
564	95.8546	5.88391
564	92.4205	6.10254
564	81.2899	6.93813

Flow	Speed	Density
564	85.8881	6.56668
564	91.56	6.15989
576	94.6739	6.08404
576	78.2709	7.35906
576	85.4413	6.74147
576	96.4621	5.97126
576	100.273	5.74432
576	108.393	5.31401
576	83.0673	6.93414
576	75.1028	7.66948
588	80.4665	7.30739
588	82.7727	7.10379
588	92.1531	6.38068
588	95.9858	6.1259
588	70.329	8.3607
588	91.2604	6.4431
600	88.187	6.80372
600	99.3881	6.03694
600	81.4004	7.37097
600	83.1004	7.22018
612	68.9455	8.87658
612	93.8293	6.52249
612	99.1152	6.17463
612	100.345	6.09895
612	85.2002	7.18308
612	81.6477	7.49562
612	68.3836	8.94952
624	85.236	7.32085

Flow	Speed	Density
624	79.5901	7.84017
624	99.6066	6.26465
624	106.906	5.83692
624	74.3536	8.39233
624	80.2229	7.77832
636	91.4743	6.95278
636	82.8853	7.67326
636	86.3803	7.36279
636	77.1371	8.24506
636	94.6903	6.71664
648	82.7516	7.83067
648	78.4598	8.259
648	91.7366	7.0637
648	65.6973	9.86342
648	72.4196	8.94785
660	95.6869	6.89749
660	92.7571	7.11536
660	97.1309	6.79495
660	87.4478	7.54736
660	83.7322	7.88227
660	77.4437	8.52232
660	80.6858	8.17988
660	95.1097	6.93936
672	84.619	7.94148
672	78.6374	8.54555
672	92.7571	7.24473
672	80.2006	8.37899
672	77.2288	8.70142

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
672	81.2135	8.27448
684	90.9672	7.51919
684	100.615	6.79818
684	93.3685	7.32581
684	79.4581	8.60831
684	83.6208	8.17978
684	95.4549	7.16569
684	93.7075	7.29931
696	86.0259	8.09059
696	79.7265	8.72984
696	70.8111	9.82897
696	89.2366	7.79949
696	84.1224	8.27365
696	88.6944	7.84717
696	92.2943	7.5411
708	86.1944	8.21399
708	87.693	8.07362
708	82.9191	8.53845
708	75.2766	9.40532
708	75.2295	9.4112
708	78.6713	8.99947
708	88.8591	7.96767
708	101.477	6.97692
708	96.2466	7.3561
708	81.5482	8.68198
708	86.6331	8.1724
708	91.6473	7.72527
720	91.1325	7.90058

Flow	Speed	Density
720	77.9439	9.23741
720	85.4301	8.42794
720	90.0845	7.9925
720	93.528	7.69823
720	103.291	6.97058
720	81.4057	8.84459
720	88.2599	8.15773
732	87.078	8.40626
732	75.6887	9.67119
732	84.8046	8.63161
732	68.1924	10.7343
732	91.9421	7.96153
732	92.2004	7.93922
732	79.0146	9.26412
732	89.281	8.19883
744	85.8073	8.67059
744	85.3053	8.72162
744	87.9443	8.4599
744	98.8456	7.52689
744	85.6784	8.68363
744	83.4833	8.91196
744	81.7183	9.10445
744	81.0468	9.17989
744	78.4698	9.48135
756	85.7449	8.81686
756	94.2209	8.0237
756	90.395	8.36329
756	90.6893	8.33616

Flow	Speed	Density
756	94.8065	7.97414
768	89.5507	8.57614
768	77.2677	9.93948
768	88.2027	8.70722
768	97.3601	7.88824
768	97.3811	7.88654
768	81.8946	9.37791
768	80.6549	9.52205
768	92.6162	8.29229
768	88.3119	8.69645
780	81.0196	9.6273
780	84.8007	9.19804
780	89.2534	8.73916
780	79.55	9.80516
780	95.1724	8.19566
780	97.4666	8.00275
780	96.5376	8.07975
780	110.041	7.08825
780	105.44	7.39759
780	96.6793	8.06791
780	79.9095	9.76105
780	79.6927	9.7876
792	77.1059	10.2716
792	93.8597	8.43813
792	92.0383	8.60511
792	80.0495	9.89388
792	81.1588	9.75864
792	71.3987	11.0926

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
792	92.5329	8.55912
804	78.0841	10.2966
804	89.0598	9.02764
804	70.7991	11.3561
804	80.5912	9.97628
816	90.3088	9.03567
816	93.0822	8.76645
816	96.9513	8.4166
816	81.1399	10.0567
816	80.0514	10.1935
816	77.1963	10.5704
828	89.6314	9.23783
840	76.9864	10.911
840	96.4097	8.71282
840	94.0334	8.933
840	107.54	7.81104
840	88.3547	9.50713
840	97.6719	8.60022
840	100.531	8.35564
840	92.4529	9.08571
852	93.9534	9.06832
852	90.5313	9.41111
852	103.718	8.21458
852	103.072	8.26604
852	104.799	8.12989
852	88.95	9.57841
852	86.2479	9.8785
852	81.2932	10.4806

Flow	Speed	Density
852	63.243	13.4718
852	91.7827	9.2828
864	87.4257	9.88268
864	81.8388	10.5573
864	92.9808	9.29224
864	93.7339	9.21759
864	101.989	8.47147
864	94.5317	9.13979
864	79.4648	10.8727
876	82.3833	10.6332
876	88.3317	9.91716
876	77.6656	11.2791
888	70.9655	12.5131
888	84.1129	10.5572
888	104.913	8.46413
888	95.6321	9.28559
888	90.5009	9.81205
888	84.3256	10.5306
888	85.821	10.3471
888	79.903	11.1135
888	85.9434	10.3324
888	87.241	10.1787
900	78.15	11.5163
900	96.4843	9.32794
900	87.209	10.32
900	83.8304	10.736
912	71.6199	12.7339
912	92.3302	9.87759

Flow	Speed	Density
912	90.7653	10.0479
912	89.8685	10.1482
924	74.8348	12.3472
924	78.4571	11.7771
924	96.3833	9.58672
924	86.3914	10.6955
924	83.3232	11.0893
924	76.9678	12.005
924	90.5387	10.2056
936	83.7513	11.1759
936	98.4886	9.50363
936	105.038	8.91102
936	106.668	8.77492
936	92.4817	10.1209
936	100.352	9.32717
936	81.7364	11.4514
936	80.9897	11.557
936	90.8306	10.3049
948	88.3097	10.7349
948	85.1909	11.128
948	88.269	10.7399
948	103.364	9.17148
948	104.219	9.09627
948	79.6019	11.9093
948	76.103	12.4568
948	83.4466	11.3606
948	92.064	10.2972
960	90.4498	10.6136

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
960	107.023	8.97004
960	97.0836	9.88839
960	80.3718	11.9445
960	83.0721	11.5562
960	94.3985	10.1697
960	90.1681	10.6468
960	81.0614	11.8429
972	91.3181	10.6441
972	111.124	8.74702
972	84.5157	11.5008
972	70.8794	13.7134
984	88.7554	11.0867
984	89.5662	10.9863
984	94.8726	10.3718
984	96.3617	10.2115
984	43.9841	22.3717
984	87.2259	11.2811
984	106.611	9.22984
984	102.794	9.57252
984	82.4646	11.9324
984	87.3951	11.2592
996	85.1282	11.7
996	71.8357	13.865
996	87.8436	11.3383
996	105.662	9.42632
996	89.7349	11.0994
996	89.2368	11.1613
996	77.5251	12.8475

Flow	Speed	Density
996	86.7643	11.4794
1008	86.8433	11.6071
1008	82.5509	12.2106
1008	80.4915	12.5231
1008	82.3522	12.2401
1008	106.997	9.42085
1008	102.829	9.80264
1008	107.665	9.36235
1008	96.3508	10.4618
1008	88.9109	11.3372
1008	86.6818	11.6287
1020	83.3506	12.2375
1020	80.8985	12.6084
1020	82.6882	12.3355
1020	43.6535	23.3658
1020	93.5485	10.9034
1020	93.8854	10.8643
1020	84.067	12.1332
1020	108.089	9.43671
1020	106.159	9.60819
1020	89.5738	11.3873
1020	82.7717	12.3231
1020	83.853	12.1641
1020	77.9837	13.0797
1032	85.1145	12.1248
1032	88.5398	11.6558
1032	86.1486	11.9793
1032	77.4442	13.3257

Flow	Speed	Density
1032	79.404	12.9968
1032	82.3504	12.5318
1032	80.0463	12.8925
1032	73.9997	13.946
1032	86.8838	11.8779
1032	88.6784	11.6376
1032	106.996	9.64523
1032	103.565	9.96478
1032	106.742	9.66814
1032	92.9158	11.1068
1044	79.8308	13.0777
1044	81.1477	12.8654
1044	92.4927	11.2874
1044	92.1248	11.3325
1044	106.97	9.75979
1044	83.89	12.4449
1044	82.8195	12.6057
1044	91.6495	11.3912
1044	86.8307	12.0234
1056	82.1983	12.847
1056	78.31	13.4849
1056	76.2474	13.8496
1056	43.53	24.2591
1056	82.7362	12.7635
1056	43.7386	24.1434
1056	42.2533	24.9921
1056	93.6879	11.2715
1056	105.55	10.0048

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
1056	100.681	10.4885
1056	86.7351	12.175
1056	92.8852	11.3689
1056	96.334	10.9619
1068	88.013	12.1346
1068	84.2008	12.684
1068	81.1428	13.162
1068	79.051	13.5103
1068	79.1544	13.4926
1068	81.4923	13.1055
1068	77.9097	13.7082
1068	89.8618	11.8849
1068	105.264	10.1459
1068	97.953	10.9032
1068	93.3705	11.4383
1068	90.4746	11.8044
1068	85.0949	12.5507
1080	88.7901	12.1635
1080	70.1489	15.3958
1080	68.939	15.666
1080	77.1611	13.9967
1080	93.6459	11.5328
1080	87.5887	12.3304
1080	106.63	10.1284
1080	60.6713	17.8008
1080	76.981	14.0294
1080	80.8638	13.3558
1080	86.1631	12.5344

Flow	Speed	Density
1080	87.2439	12.3791
1080	88.9739	12.1384
1092	78.433	13.9227
1092	79.8378	13.6777
1092	96.839	11.2765
1092	104.033	10.4966
1092	86.9829	12.5542
1092	61.5463	17.7428
1092	88.3594	12.3586
1092	95.2563	11.4638
1092	93.9072	11.6285
1092	86.551	12.6168
1104	80.3119	13.7464
1104	52.8855	20.8753
1104	75.8565	14.5538
1104	81.3226	13.5756
1104	82.1052	13.4462
1104	106.482	10.368
1104	98.8963	11.1632
1104	102.728	10.7468
1104	100.673	10.9662
1104	86.5135	12.761
1104	87.6121	12.601
1104	80.9042	13.6458
1116	85.9576	12.9832
1116	87.5433	12.748
1116	81.5893	13.6783
1116	54.5587	20.455

Flow	Speed	Density
1116	93.5542	11.9289
1116	90.7066	12.3034
1116	96.6586	11.5458
1116	104.926	10.636
1116	103.741	10.7576
1116	105.636	10.5645
1116	90.892	12.2783
1116	79.6589	14.0097
1116	39.2669	28.4209
1116	90.2022	12.3722
1116	85.3585	13.0743
1116	88.4051	12.6237
1116	85.7231	13.0187
1116	87.6685	12.7298
1128	77.2057	14.6103
1128	89.3926	12.6185
1128	88.7784	12.7058
1128	101.395	11.1248
1128	107.883	10.4557
1128	106.687	10.573
1128	109.634	10.2887
1128	97.4321	11.5773
1128	103.982	10.848
1128	104.18	10.8274
1128	82.8096	13.6216
1140	79.39	14.3595
1140	79.4382	14.3508
1140	51.8486	21.9871

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
1140	41.897	27.2096
1140	83.2468	13.6942
1140	68.7202	16.589
1140	79.7833	14.2887
1140	43.2016	26.3879
1140	75.6242	15.0745
1140	88.062	12.9454
1140	88.8887	12.825
1140	84.6536	13.4667
1140	77.8626	14.6412
1152	69.4003	16.5993
1152	72.0346	15.9923
1152	77.0867	14.9442
1152	92.9038	12.3999
1152	54.7462	21.0426
1152	100.177	11.4996
1152	110.156	10.4579
1152	89.1738	12.9186
1152	72.1371	15.9696
1164	86.9926	13.3804
1164	79.6355	14.6166
1164	41.7069	27.9091
1164	74.8129	15.5588
1164	74.5935	15.6046
1164	98.2431	11.8482
1164	94.2523	12.3498
1164	92.5312	12.5795
1164	78.9127	14.7505

Flow	Speed	Density
1164	87.9608	13.2332
1164	93.6659	12.4272
1176	81.497	14.43
1176	43.9983	26.7283
1176	45.0983	26.0764
1176	44.23	26.5883
1176	79.3467	14.821
1176	44.8244	26.2357
1176	87.7854	13.3963
1176	106.979	10.9928
1176	105.342	11.1637
1176	94.3764	12.4607
1176	75.3467	15.6079
1176	37.5375	31.3287
1176	87.939	13.3729
1188	81.2731	14.6174
1188	43.2509	27.4676
1188	105.24	11.2885
1188	99.2531	11.9694
1188	101.276	11.7304
1188	88.2547	13.461
1188	77.0054	15.4275
1188	88.5694	13.4132
1188	80.6746	14.7258
1188	86.1085	13.7965
1188	82.2854	14.4376
1188	85.3412	13.9206
1188	95.025	12.502

Flow	Speed	Density
1188	86.162	13.788
1200	84.417	14.2151
1200	82.0525	14.6248
1200	77.557	15.4725
1200	46.931	25.5695
1200	91.6659	13.091
1200	89.5434	13.4013
1200	87.489	13.716
1200	89.3524	13.43
1200	102.976	11.6531
1200	104.214	11.5148
1200	99.6131	12.0466
1200	105.473	11.3774
1200	95.6939	12.54
1200	95.4116	12.5771
1200	77.9961	15.3854
1212	81.7097	14.833
1212	80.087	15.1335
1212	75.1309	16.1318
1212	75.8797	15.9726
1212	92.7689	13.0647
1212	96.8915	12.5088
1212	45.5407	26.6136
1212	103.307	11.7321
1212	98.329	12.326
1212	98.4251	12.3139
1212	97.3529	12.4496
1224	46.213	26.486

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
1224	46.2239	26.4798
1224	44.3475	27.6002
1224	44.7069	27.3783
1224	90.9137	13.4633
1224	85.3459	14.3416
1224	92.8023	13.1893
1224	84.6023	14.4677
1224	74.7219	16.3807
1224	82.836	14.7762
1224	80.2028	15.2613
1224	83.0832	14.7322
1224	88.6303	13.8102
1224	85.1375	14.3767
1224	88.2108	13.8758
1236	78.957	15.6541
1236	83.8839	14.7347
1236	80.3467	15.3833
1236	73.0864	16.9115
1236	69.8672	17.6907
1236	95.2376	12.9781
1236	76.476	16.1619
1236	47.6429	25.943
1236	108.79	11.3613
1236	103.045	11.9948
1236	101.072	12.2289
1236	99.3859	12.4364
1236	89.0139	13.8855
1236	81.062	15.2476

Flow	Speed	Density
1236	34.4714	35.8558
1236	78.0384	15.8384
1236	75.6077	16.3475
1236	90.8835	13.5998
1236	93.2426	13.2557
1236	37.1861	33.2382
1248	78.6893	15.8598
1248	72.2516	17.273
1248	76.8099	16.2479
1248	52.1416	23.9348
1248	43.7963	28.4955
1248	44.2318	28.215
1248	89.4474	13.9523
1248	88.7474	14.0624
1248	97.4021	12.8129
1248	107.36	11.6244
1248	99.9393	12.4876
1248	41.402	30.1434
1248	44.6768	27.934
1260	73.7842	17.0768
1260	74.7878	16.8477
1260	79.0915	15.9309
1260	43.8855	28.7111
1260	50.8771	24.7656
1260	44.8249	28.1094
1260	104.411	12.0677
1260	96.8136	13.0147
1260	96.7544	13.0227

Flow	Speed	Density
1260	97.2571	12.9554
1260	82.882	15.2023
1260	89.3429	14.103
1260	39.5256	31.8781
1260	84.9258	14.8365
1272	77.3578	16.4431
1272	42.846	29.6877
1272	44.8936	28.3337
1272	84.2322	15.1011
1272	84.9545	14.9727
1272	85.2798	14.9156
1272	107.753	11.8048
1272	96.0514	13.2429
1272	83.3848	15.2546
1272	74.699	17.0283
1272	87.214	14.5848
1284	73.931	17.3675
1284	44.091	29.1216
1284	74.8319	17.1585
1284	43.5272	29.4988
1284	43.3771	29.6009
1284	91.8737	13.9757
1284	85.8213	14.9613
1284	79.8941	16.0713
1284	39.537	32.4759
1284	41.4779	30.9562
1284	45.4066	28.2779
1296	77.919	16.6326

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
1296	74.584	17.3764
1296	43.3656	29.8854
1296	76.9093	16.851
1296	44.8504	28.896
1296	44.0489	29.4218
1296	87.9448	14.7365
1296	105.053	12.3367
1296	95.8242	13.5248
1296	96.6393	13.4107
1296	94.8372	13.6655
1296	87.4433	14.821
1296	37.2278	34.8127
1296	78.6132	16.4858
1296	82.8078	15.6507
1296	87.0122	14.8945
1308	95.1077	13.7528
1308	54.1195	24.1687
1308	44.7737	29.2136
1308	44.5835	29.3382
1308	44.8885	29.1389
1308	95.538	13.6909
1308	82.3137	15.8904
1308	82.364	15.8807
1308	75.2143	17.3903
1308	41.8489	31.2553
1308	44.6861	29.2708
1320	72.4852	18.2106
1320	86.8947	15.1908

Flow	Speed	Density
1320	110.461	11.9499
1320	98.9407	13.3413
1320	91.107	14.4885
1320	81.8558	16.1259
1320	91.9596	14.3541
1320	90.1031	14.6499
1332	44.4174	29.9882
1332	86.6871	15.3656
1332	83.9639	15.864
1332	94.9612	14.0268
1332	86.9557	15.3181
1332	35.4564	37.5673
1332	79.7507	16.702
1332	81.5776	16.328
1332	89.8702	14.8214
1332	94.1879	14.1419
1332	49.0224	27.1713
1344	45.5243	29.5227
1344	73.3207	18.3304
1344	81.1789	16.556
1344	95.8909	14.0159
1344	88.2856	15.2233
1344	44.623	30.119
1344	86.8721	15.471
1344	83.7923	16.0397
1344	40.0734	33.5385
1344	47.2765	28.4285
1344	40.4163	33.2539

Flow	Speed	Density
1344	42.6774	31.4921
1344	37.864	35.4954
1344	46.3103	29.0216
1356	64.751	20.9417
1356	71.9633	18.843
1356	43.8412	30.9298
1356	86.5834	15.6612
1356	97.1497	13.9578
1356	99.1601	13.6749
1356	100.075	13.5498
1356	84.3453	16.0768
1356	86.4937	15.6774
1356	45.9063	29.5385
1356	94.6659	14.3241
1368	67.2057	20.3554
1368	44.0011	31.0901
1368	98.9861	13.8201
1368	81.7685	16.7302
1368	72.3036	18.9202
1368	79.8897	17.1236
1368	79.0563	17.3041
1368	44.5606	30.6998
1368	43.8299	31.2115
1368	43.6439	31.3446
1368	93.2935	14.6634
1368	85.7103	15.9607
1380	80.8941	17.0593
1380	71.6543	19.2591

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
1380	95.9601	14.381
1380	98.7464	13.9752
1380	37.0474	37.2496
1380	42.7516	32.2795
1380	92.5677	14.908
1392	76.6322	18.1647
1392	45.0356	30.9089
1392	51.0134	27.2869
1392	101.252	13.7479
1392	94.3809	14.7487
1392	96.031	14.4953
1392	103.285	13.4773
1392	40.7487	34.1606
1392	44.1402	31.5359
1392	79.0148	17.617
1392	92.0655	15.1197
1392	49.9365	27.8754
1392	55.507	25.0779
1404	88.2373	15.9116
1404	45.7618	30.6806
1404	99.9768	14.0433
1404	102.65	13.6776
1404	94.6032	14.8409
1404	101.785	13.7938
1404	101.088	13.8889
1404	93.6658	14.9895
1404	82.9421	16.9275
1404	77.6588	18.0791

Flow	Speed	Density
1404	74.7466	18.7835
1404	82.6827	16.9806
1416	78.2006	18.1073
1416	72.1206	19.6338
1416	86.467	16.3762
1416	66.0754	21.4301
1416	95.1039	14.889
1416	107.547	13.1663
1416	96.3055	14.7032
1416	108.69	13.0278
1416	97.0176	14.5953
1416	87.9294	16.1038
1416	83.5738	16.9431
1416	84.4104	16.7752
1416	44.8924	31.5421
1416	47.0858	30.0727
1416	42.7508	33.1222
1416	40.1524	35.2656
1416	38.7378	36.5535
1416	48.0982	29.4398
1416	43.016	32.918
1428	68.6986	20.7865
1428	58.9381	24.2288
1428	87.5914	16.303
1428	102.374	13.9488
1428	41.434	34.4644
1428	44.5612	32.0458
1428	47.0183	30.3711

Flow	Speed	Density
1428	77.3452	18.4627
1428	42.3552	33.7149
1428	90.2298	15.8263
1440	89.5109	16.0874
1440	83.7559	17.1928
1440	74.228	19.3997
1440	44.0057	32.7231
1440	77.3507	18.6165
1440	42.7417	33.6908
1440	82.0511	17.55
1440	95.6713	15.0515
1452	91.7549	15.8248
1452	100.067	14.5102
1452	90.2687	16.0853
1452	80.7468	17.9821
1452	85.197	17.0429
1452	45.3538	32.015
1452	45.3503	32.0174
1452	45.0379	32.2395
1452	42.4222	34.2274
1464	87.6756	16.6979
1464	89.0691	16.4367
1464	87.3143	16.767
1464	59.3132	24.6825
1464	106.43	13.7556
1464	88.4305	16.5554
1464	78.7196	18.5976
1464	42.8473	34.1679

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
1476	45.9459	32.1247
1476	89.8775	16.4224
1476	82.6968	17.8483
1476	99.1082	14.8928
1476	43.2989	34.0886
1476	41.7052	35.3913
1476	55.7678	26.4669
1476	44.2876	33.3276
1476	64.4648	22.8962
1476	44.1472	33.4336
1476	80.2092	18.4019
1476	47.1521	31.3029
1476	41.7235	35.3758
1476	42.2387	34.9442
1488	66.1596	22.4911
1488	77.611	19.1726
1488	44.5772	33.3803
1488	93.2602	15.9554
1488	89.2025	16.6811
1488	87.014	17.1007
1488	98.5825	15.094
1488	98.997	15.0308
1488	84.9423	17.5178
1488	52.516	28.3342
1488	87.861	16.9359
1488	93.8109	15.8617
1500	60.4539	24.8123
1500	62.5514	23.9803

Flow	Speed	Density
1500	92.6075	16.1974
1500	86.2147	17.3984
1500	81.5349	18.397
1500	86.8346	17.2742
1500	89.925	16.6806
1500	46.0859	32.5479
1500	43.1855	34.7339
1500	88.5023	16.9487
1500	93.1452	16.1039
1500	96.5809	15.531
1512	94.653	15.9741
1512	91.3799	16.5463
1512	87.4389	17.2921
1512	44.6237	33.8833
1512	45.8729	32.9607
1512	93.1702	16.2284
1524	88.2845	17.2624
1524	87.3471	17.4476
1524	88.9103	17.1409
1524	89.2726	17.0713
1524	79.6146	19.1422
1524	54.8811	27.7691
1524	41.7125	36.5358
1524	78.8457	19.3289
1524	49.2287	30.9576
1524	83.0822	18.3433
1524	41.7148	36.5338
1524	44.4855	34.2583

Flow	Speed	Density
1524	47.6244	32.0004
1524	54.3986	28.0154
1524	86.9248	17.5324
1536	88.3077	17.3937
1536	86.871	17.6814
1536	85.3243	18.0019
1536	97.6243	15.7338
1536	95.8193	16.0302
1536	92.2646	16.6478
1536	85.4017	17.9856
1536	61.1052	25.137
1536	74.7717	20.5425
1548	68.801	22.4997
1548	88.7598	17.4403
1548	79.892	19.3762
1548	85.0176	18.208
1548	99.2102	15.6032
1548	98.3823	15.7345
1548	84.5215	18.3149
1548	93.4747	16.5606
1548	89.9761	17.2046
1560	71.0261	21.9638
1560	88.681	17.5911
1560	85.6381	18.2162
1560	96.6825	16.1353
1560	91.0732	17.1291
1560	54.0285	28.8736
1560	44.8639	34.7718

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
1560	55.3615	28.1784
1572	84.5507	18.5924
1572	75.1924	20.9064
1572	95.211	16.5107
1572	74.4628	21.1112
1572	74.0567	21.227
1572	41.4132	37.9589
1572	92.3395	17.0241
1572	43.2273	36.3659
1572	46.3624	33.9068
1572	50.1595	31.34
1572	88.444	17.774
1584	92.8324	17.063
1584	92.813	17.0666
1584	88.2969	17.9395
1584	76.1543	20.7999
1584	80.5218	19.6717
1584	46.5573	34.0226
1584	86.4203	18.329
1584	82.5619	19.1856
1596	76.284	20.9218
1596	101.291	15.7566
1596	72.5348	22.0032
1596	41.2476	38.6932
1596	47.7712	33.4092
1596	53.3205	29.9322
1596	80.9164	19.7241
1596	79.2762	20.1321

Flow	Speed	Density
1596	95.0333	16.7941
1608	93.6525	17.1699
1608	93.2196	17.2496
1608	85.5787	18.7897
1608	84.1113	19.1175
1608	69.0652	23.2823
1608	73.4191	21.9017
1608	42.893	37.4886
1608	50.5277	31.8241
1608	54.8077	29.3389
1608	95.3188	16.8697
1608	80.5838	19.9544
1620	88.6499	18.2741
1620	99.4514	16.2894
1620	82.2226	19.7026
1620	88.4458	18.3163
1620	90.309	17.9384
1620	82.3407	19.6744
1632	77.0334	21.1856
1632	93.5893	17.4379
1632	77.7005	21.0037
1644	89.171	18.4365
1644	91.3	18.0066
1644	87.7478	18.7355
1644	86.0926	19.0957
1644	79.4874	20.6825
1644	78.8924	20.8385
1644	51.4896	31.9288

Flow	Speed	Density
1644	91.6792	17.9321
1656	87.9934	18.8196
1656	84.3733	19.6271
1656	69.6733	23.7681
1656	83.2158	19.9001
1656	79.3196	20.8776
1656	63.997	25.8762
1656	92.8592	17.8334
1656	88.0522	18.807
1656	70.0966	23.6245
1656	97.0426	17.0647
1656	53.7174	30.828
1656	85.5204	19.3638
1656	93.0741	17.7923
1656	90.2248	18.3541
1668	79.3561	21.0192
1680	83.2677	20.1759
1680	78.3127	21.4525
1680	88.2188	19.0436
1680	75.1819	22.3458
1680	73.1951	22.9523
1680	55.97	30.0161
1680	84.9212	19.783
1680	70.4368	23.8512
1680	91.9211	18.2765
1680	86.5654	19.4073
1680	85.7815	19.5846
1692	84.9024	19.9288

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

Flow	Speed	Density
1692	87.5314	19.3302
1692	86.5328	19.5533
1692	58.2079	29.0682
1692	57.5295	29.411
1692	54.4289	31.0864
1704	91.7452	18.5732
1704	88.2823	19.3017
1716	81.3423	21.096
1716	92.9092	18.4696
1716	100.541	17.0676
1716	88.9864	19.2838
1716	82.9862	20.6781
1716	49.7791	34.4723
1716	89.9765	19.0717
1728	92.7825	18.6242
1728	96.0299	17.9944
1728	68.2093	25.3338
1728	76.3686	22.6271
1728	73.4871	23.5143
1728	89.8192	19.2386
1740	84.4309	20.6086
1740	74.386	23.3915
1740	89.649	19.409
1740	88.076	19.7557
1740	92.8627	18.7373
1752	78.4465	22.3337
1764	91.02	19.3804
1764	72.5284	24.3215

Flow	Speed	Density
1764	94.1992	18.7263
1764	94.3119	18.7039
1764	87.8336	20.0834
1776	77.8146	22.8235
1776	80.2942	22.1186
1776	86.4033	20.5548
1776	86.9034	20.4365
1788	86.1203	20.7617
1788	85.2741	20.9677
1788	92.0335	19.4277
1800	79.1151	22.7517
1800	76.1744	23.63
1800	82.4006	21.8445
1812	67.7789	26.734
1824	75.2608	24.2357
1824	94.4007	19.3219
1824	87.7289	20.7913
1836	82.357	22.2932
1836	81.1767	22.6173
1836	74.5577	24.6252
1848	75.9323	24.3375
1848	80.6918	22.902
1848	89.4528	20.6589
1860	93.1207	19.9741
1872	78.3155	23.9033
1872	84.8972	22.0502
1872	88.33	21.1932
1884	87.5618	21.5162

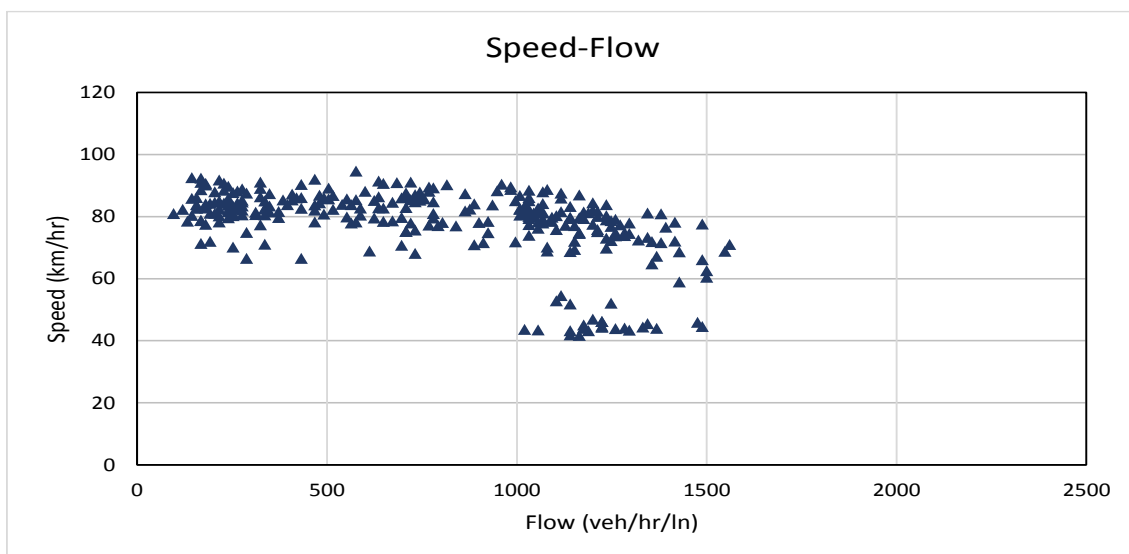
Flow	Speed	Density
1884	82.6849	22.7853
1884	90.4194	20.8362
1884	71.7881	26.2439
1884	83.8165	22.4777
1896	86.2958	21.9709
1896	75.2606	25.1925
1908	83.2664	22.9144
1908	76.1867	25.0437
1908	95.1161	20.0597
1908	87.9271	21.6998
1920	90.2724	21.269
1920	75.8697	25.3065
1920	81.6301	23.5207
1932	80.2476	24.0755
1932	82.4796	23.424
1944	85.2418	22.8057
1944	91.4955	21.247
1944	86.5716	22.4554
1944	87.5264	22.2105
1956	80.7997	24.208
1968	89.6475	21.9526
1980	86.4759	22.8966
1980	83.7495	23.6419
1980	90.9345	21.7739
1992	84.2776	23.6362
2004	82.7818	24.2082
2028	91.1751	22.2429
2040	91.915	22.1944

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง GM5th Car-following model (ต่อ)

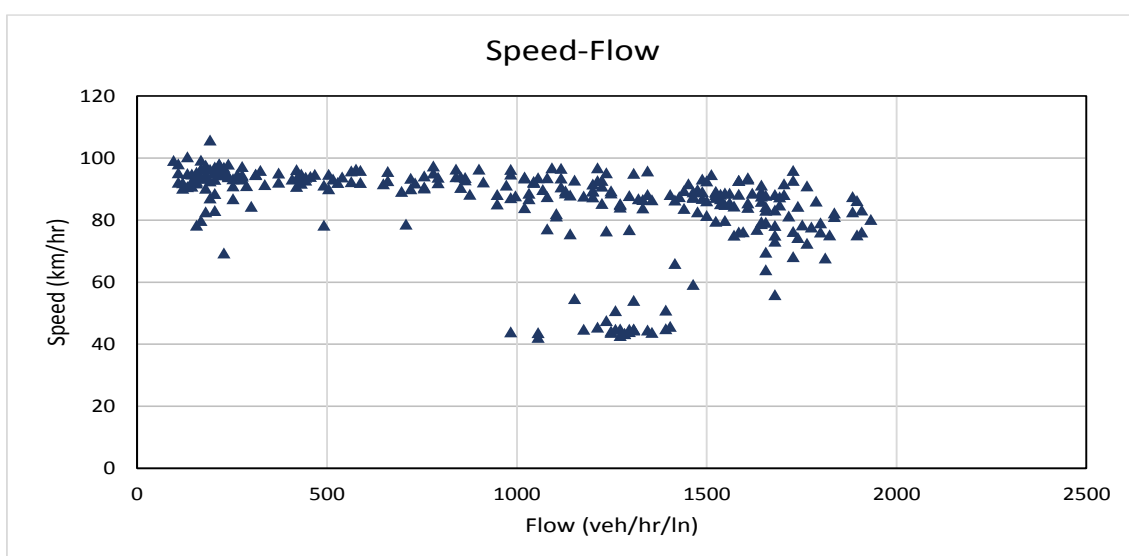
Flow	Speed	Density
2040	90.3965	22.5672
2040	74.8403	27.258
2052	90.436	22.6901
2052	77.5148	26.4724
2064	81.2145	25.4142
2064	86.8999	23.7515
2064	76.5397	26.9664
2088	79.2468	26.3481
2124	74.8663	28.3706
2124	94.1361	22.5631
2160	89.9822	24.0047
2268	80.0098	28.3465

ภาคผนวก ข

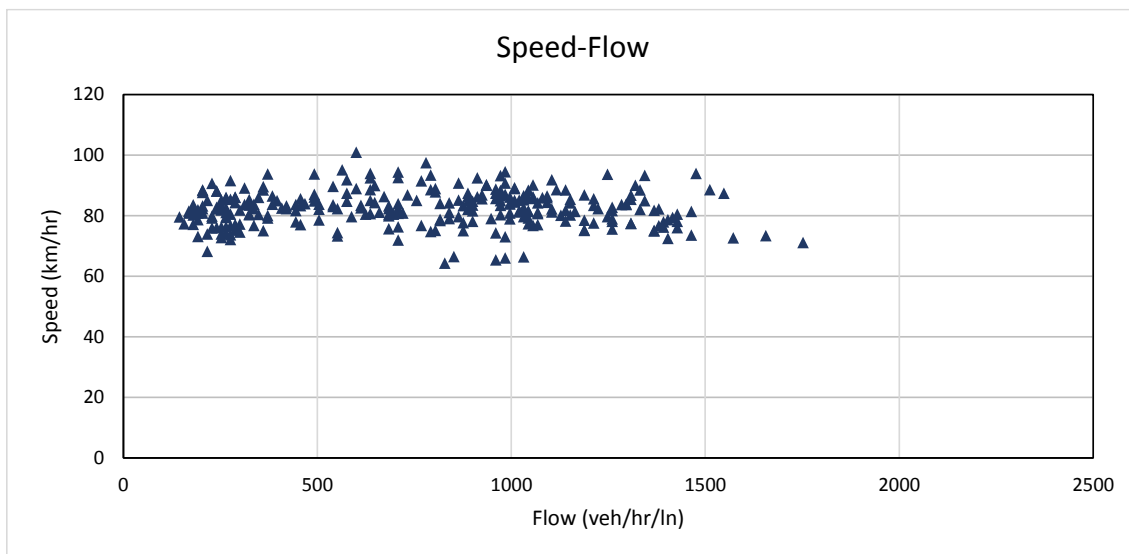
ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น
ในระยะก่อนติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar”



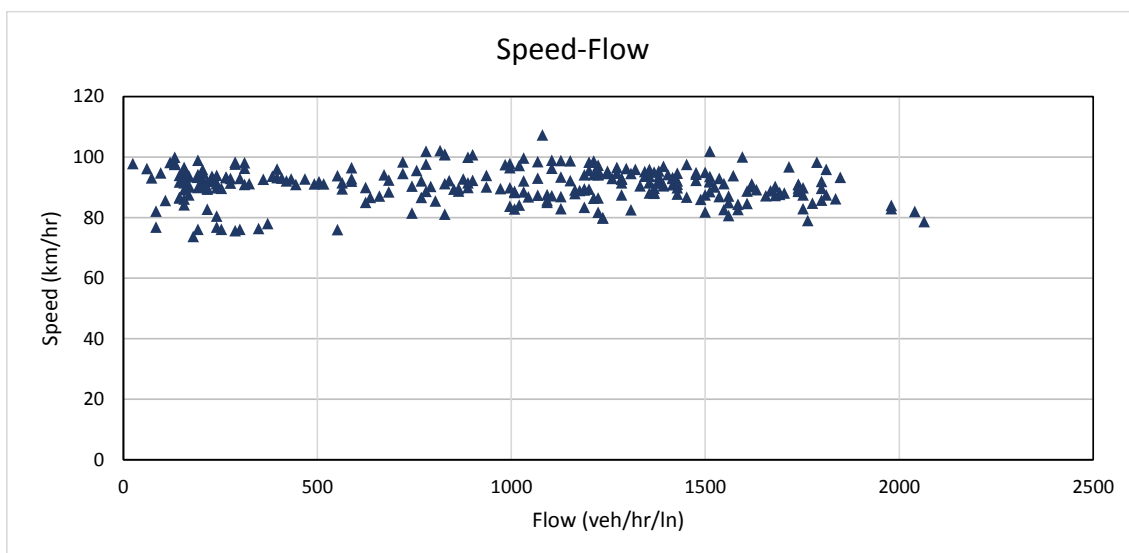
รูปที่ ข.1 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



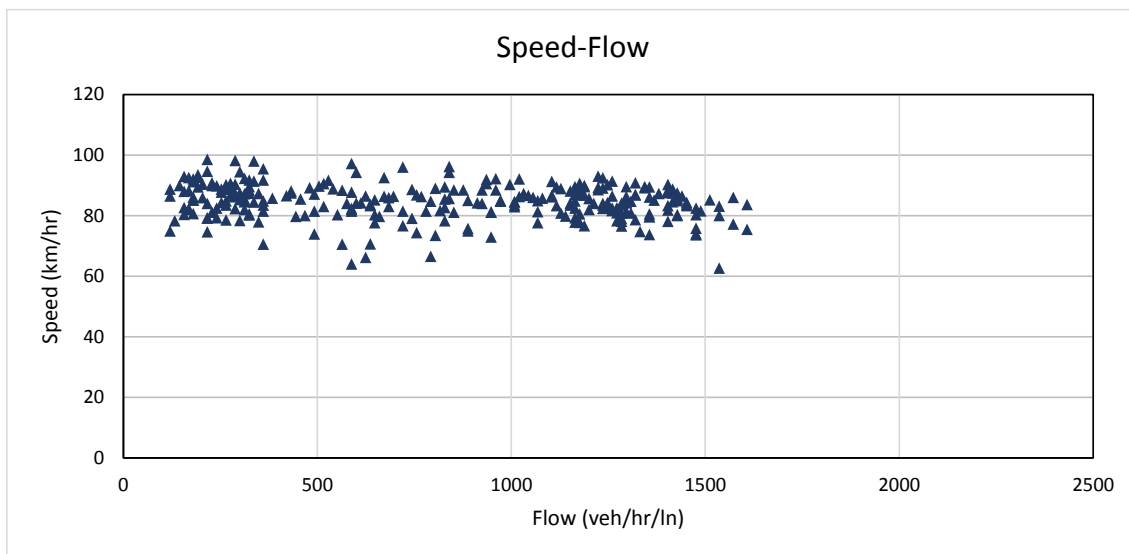
รูปที่ ข.2 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



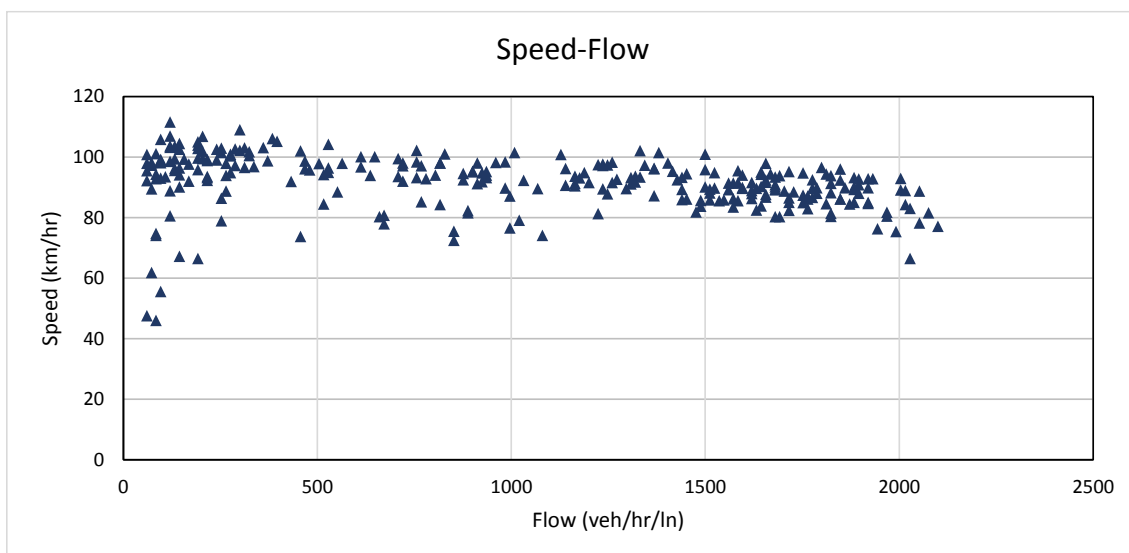
รูปที่ ข.3 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



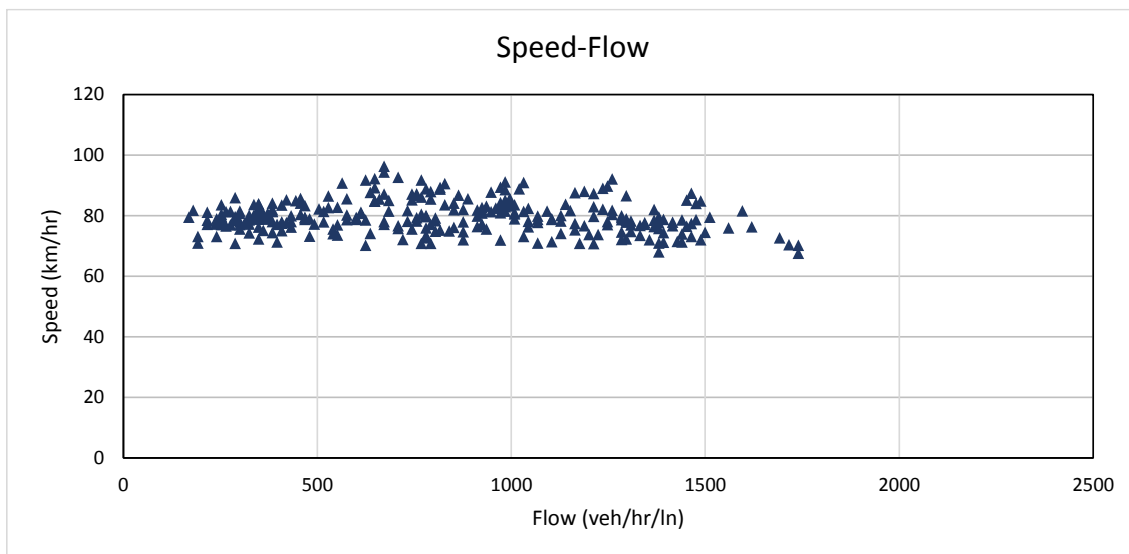
รูปที่ ข.4 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



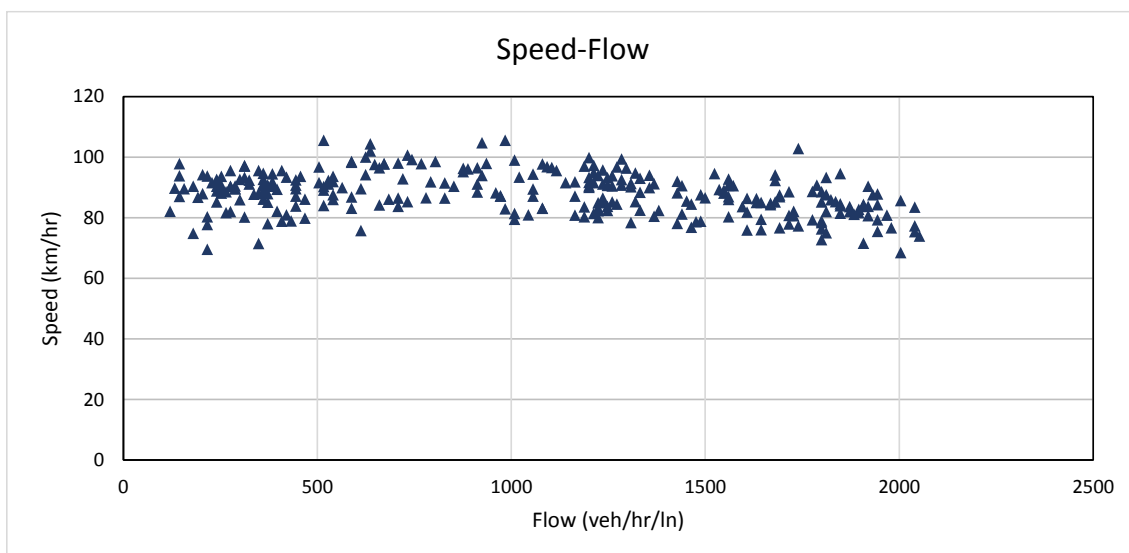
รูปที่ ข.5 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



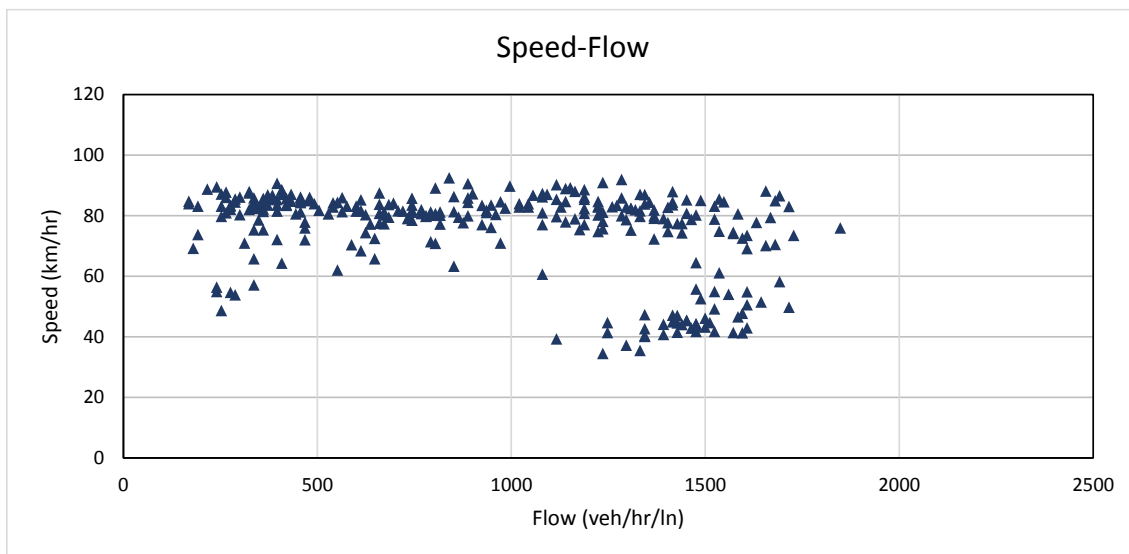
รูปที่ ข.6 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



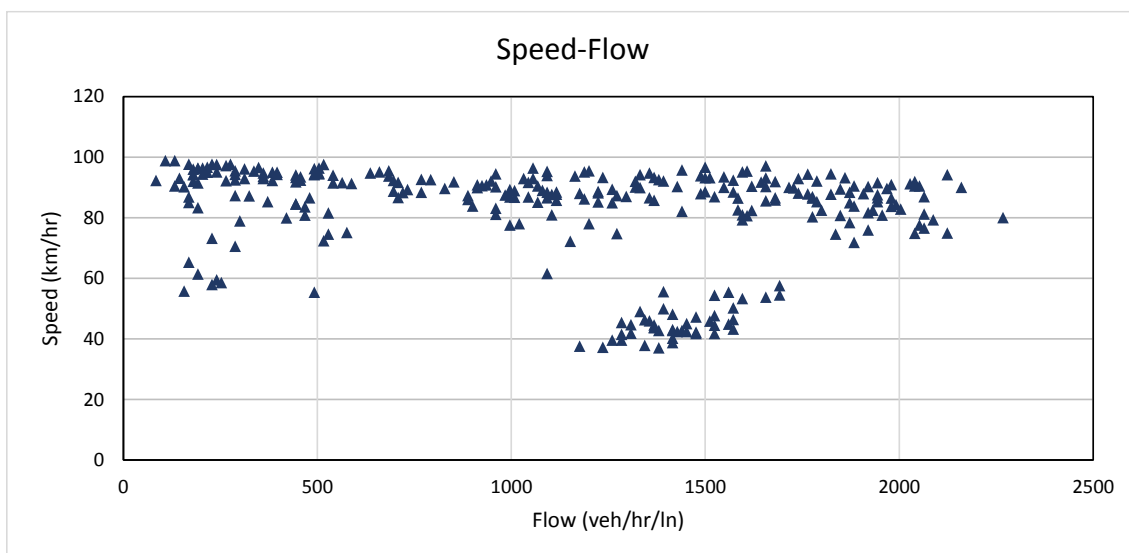
รูปที่ ข.7 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



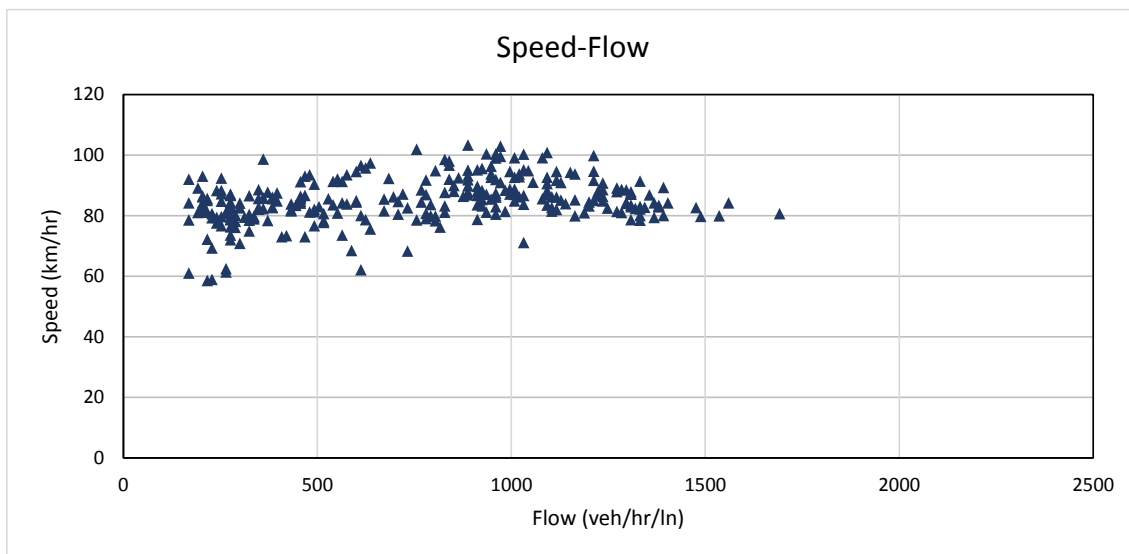
รูปที่ ข.8 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



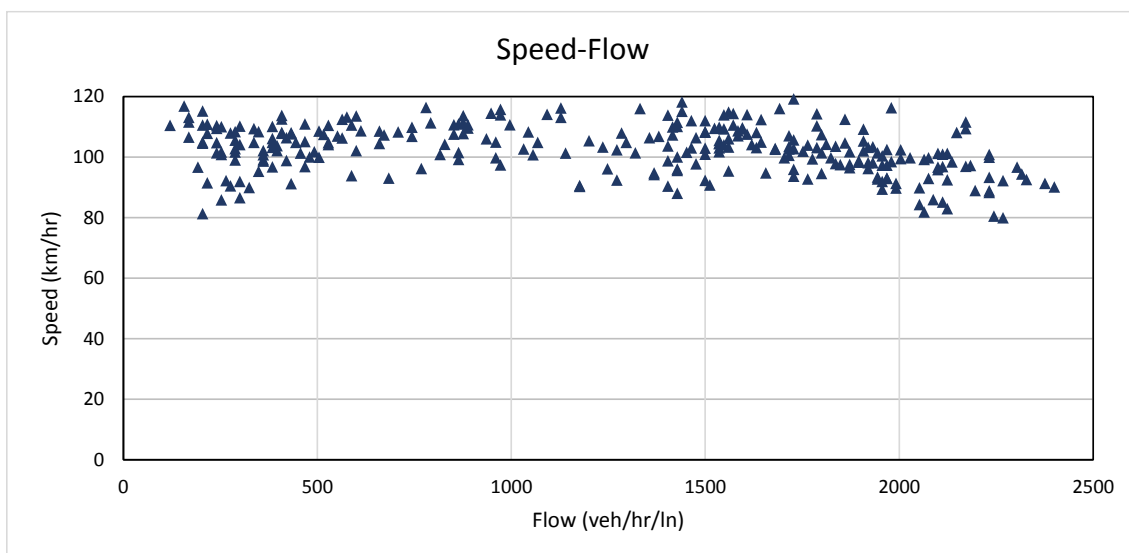
รูปที่ ข.9 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



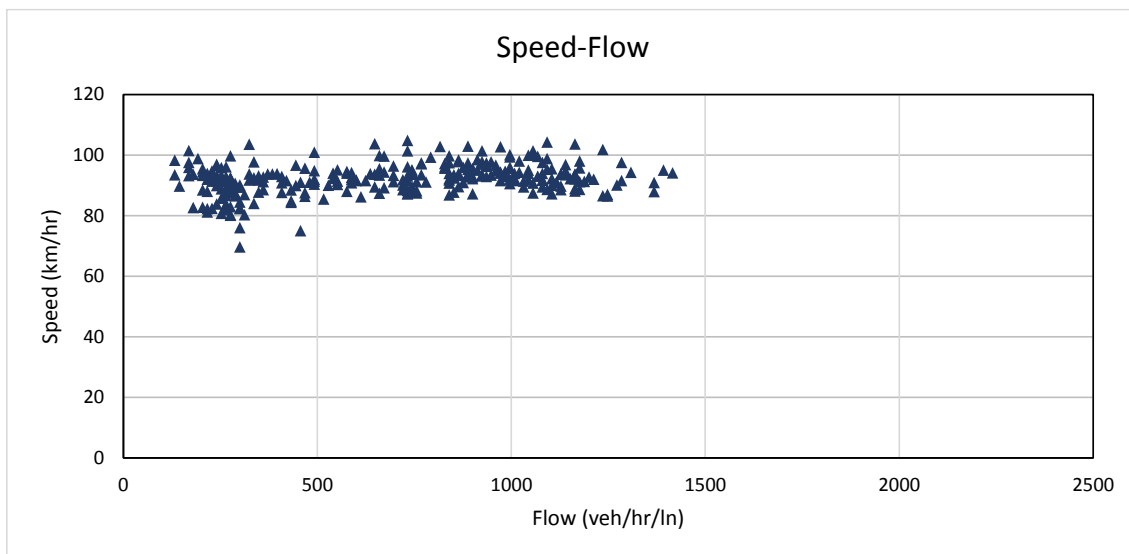
รูปที่ ข.10 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวา



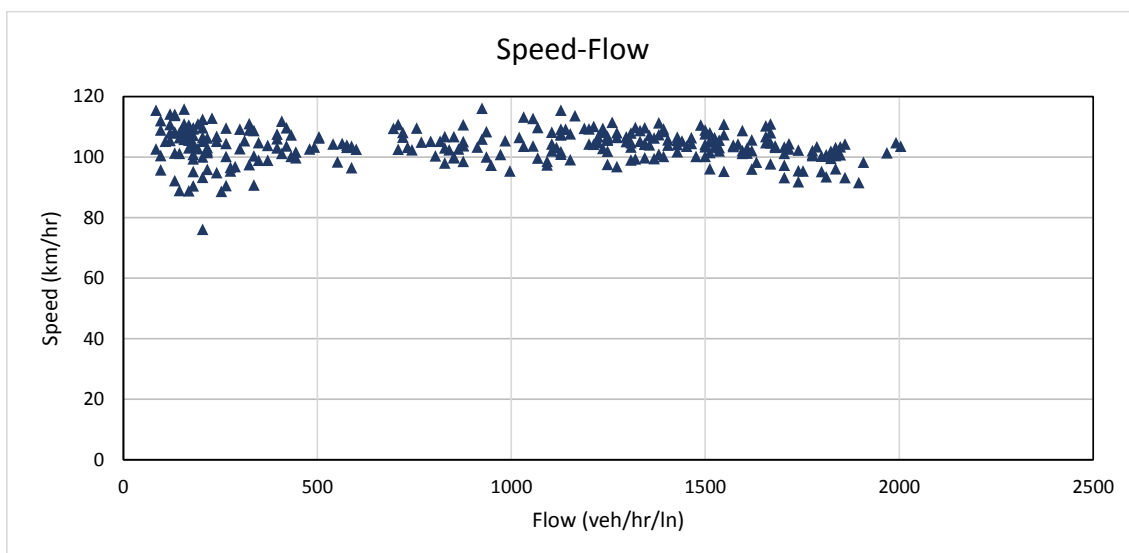
รูปที่ ข.11 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



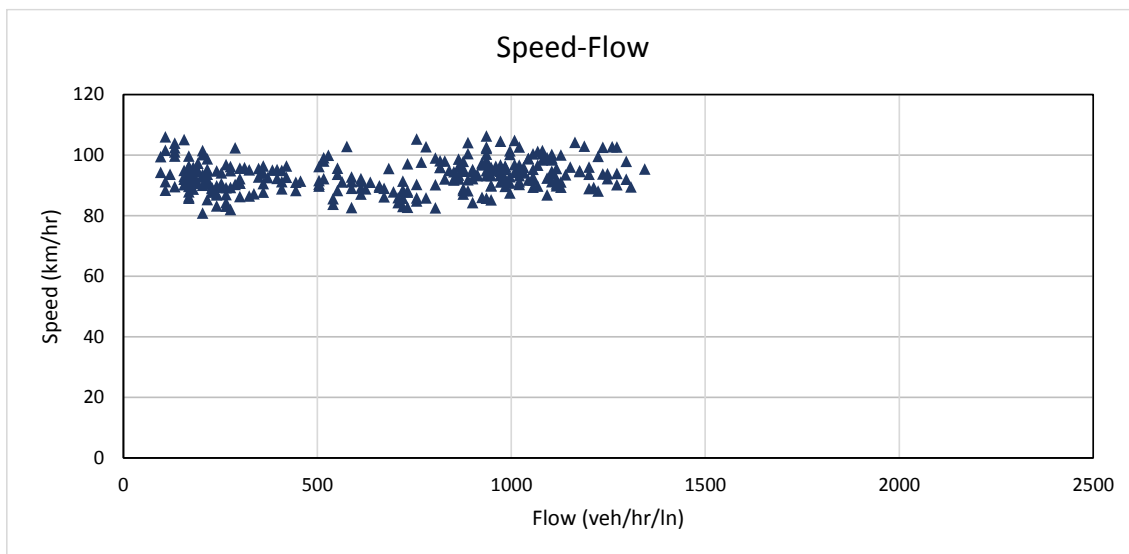
รูปที่ ข.12 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



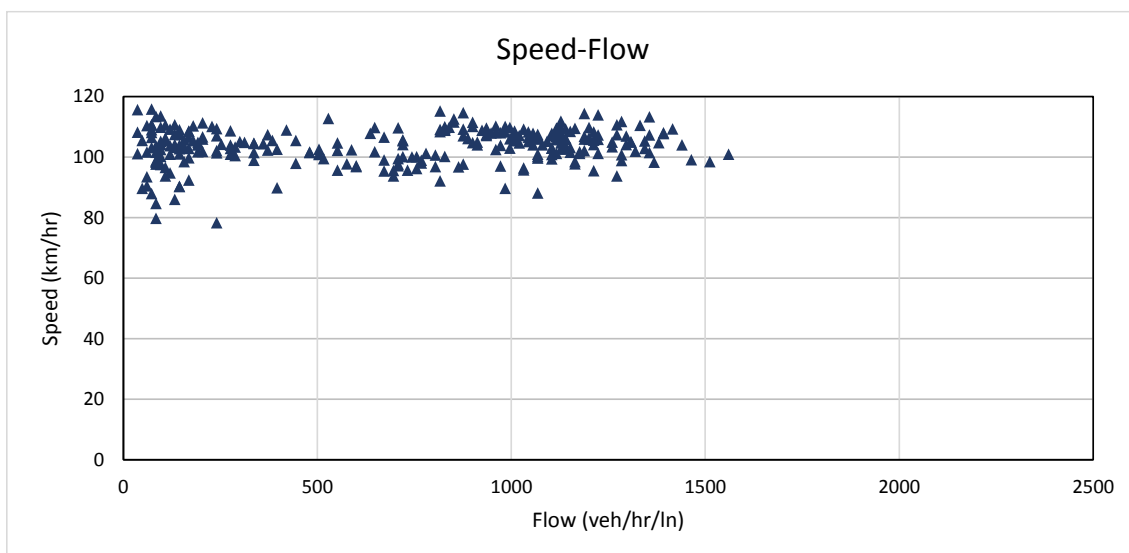
รูปที่ ข.13 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



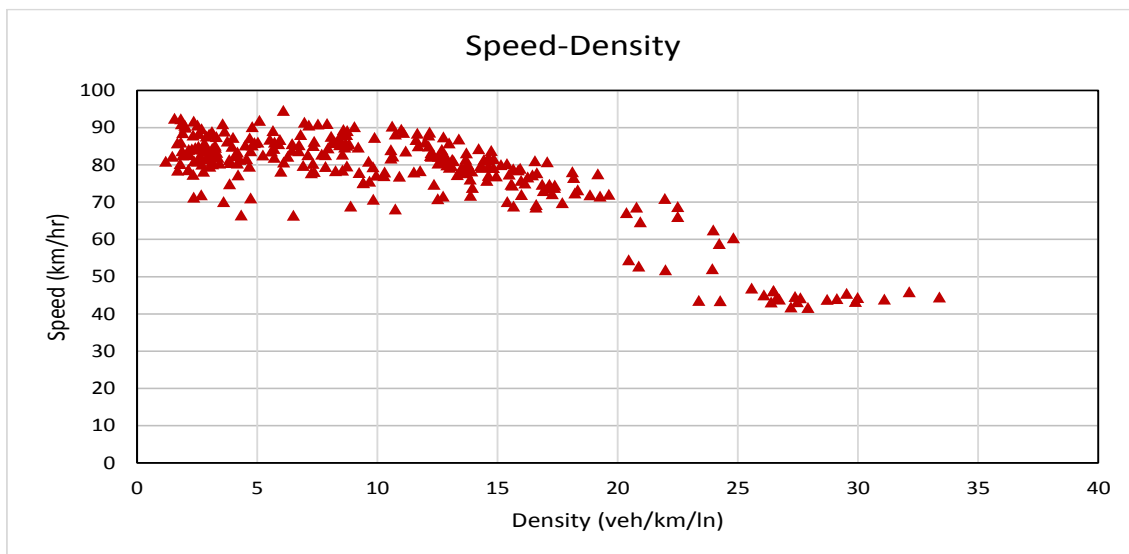
รูปที่ ข.14 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



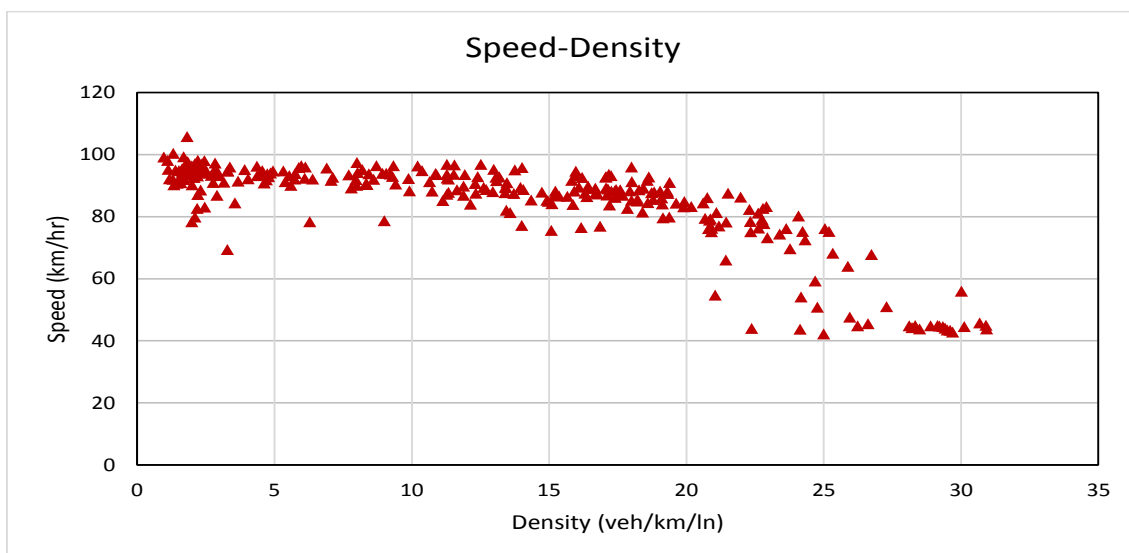
รูปที่ ข.15 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



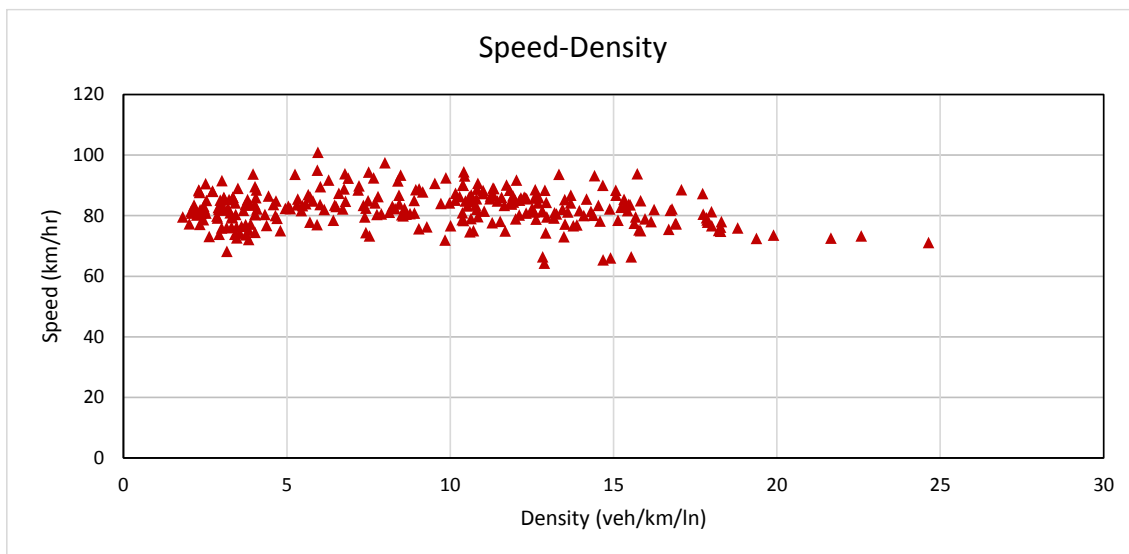
รูปที่ ข.16 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



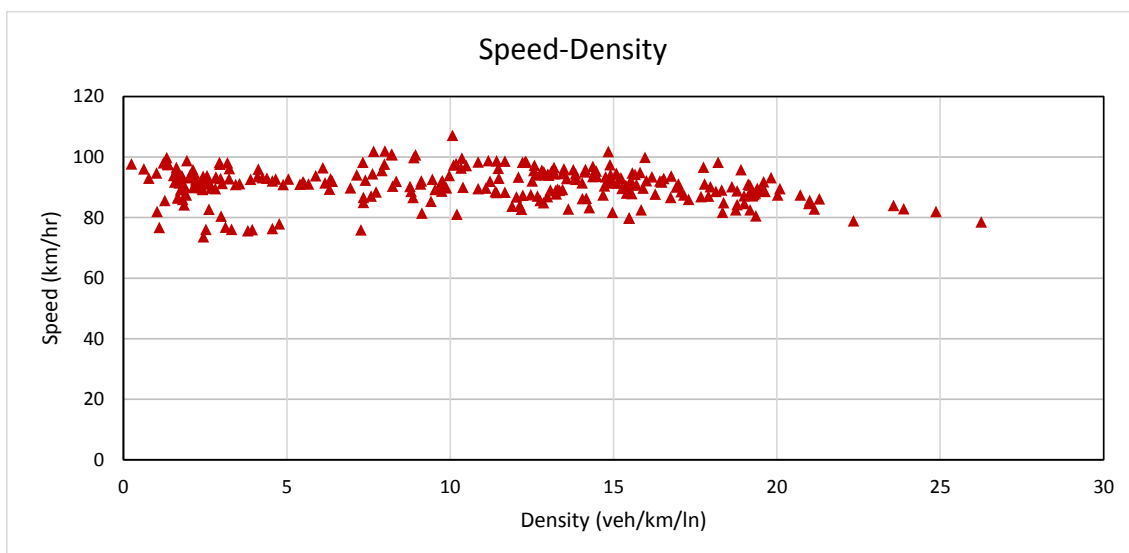
รูปที่ ข.17 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



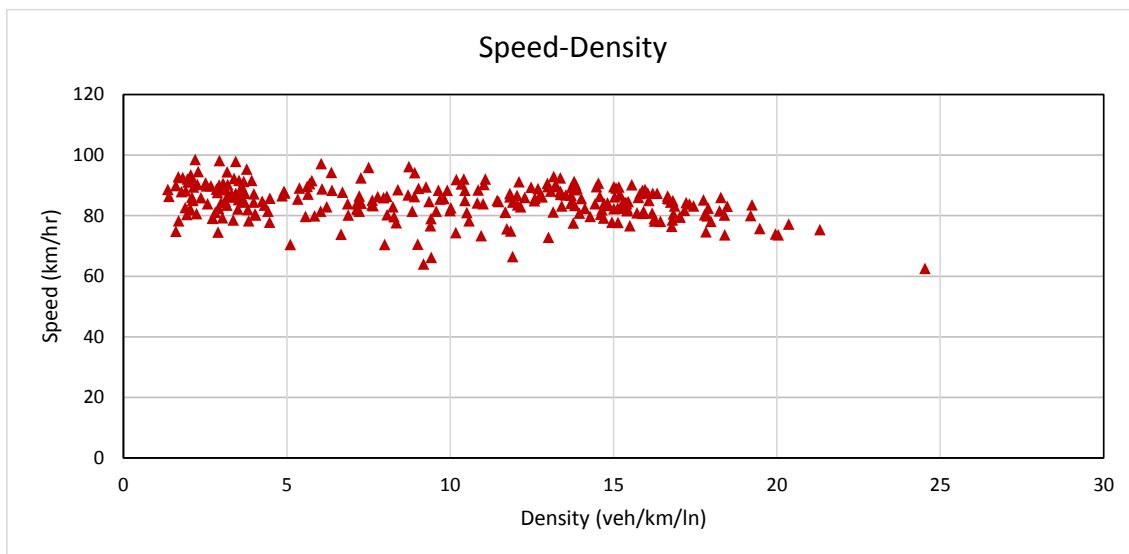
รูปที่ ข.18 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



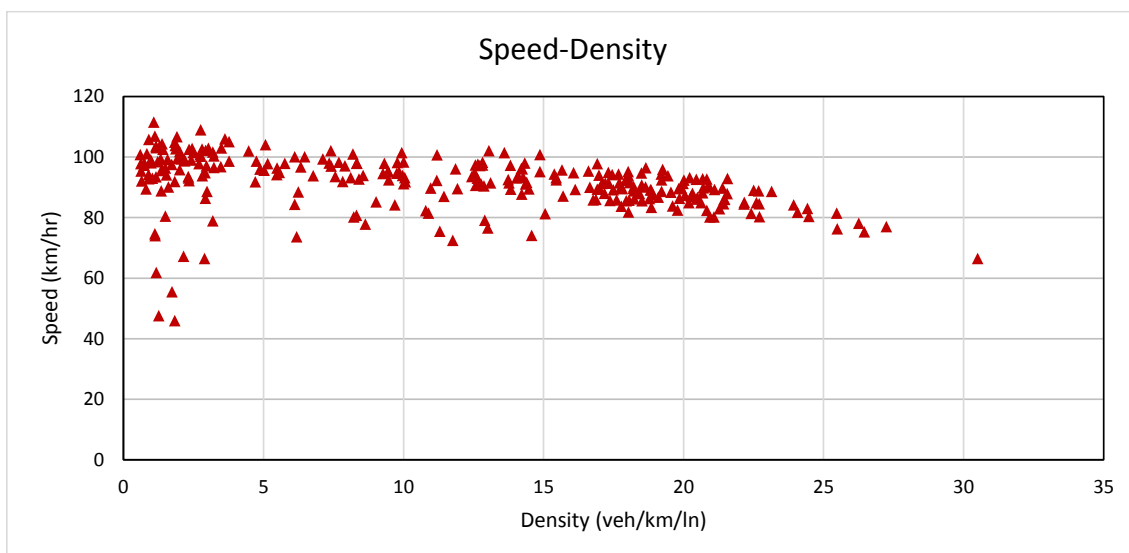
รูปที่ ข.19 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



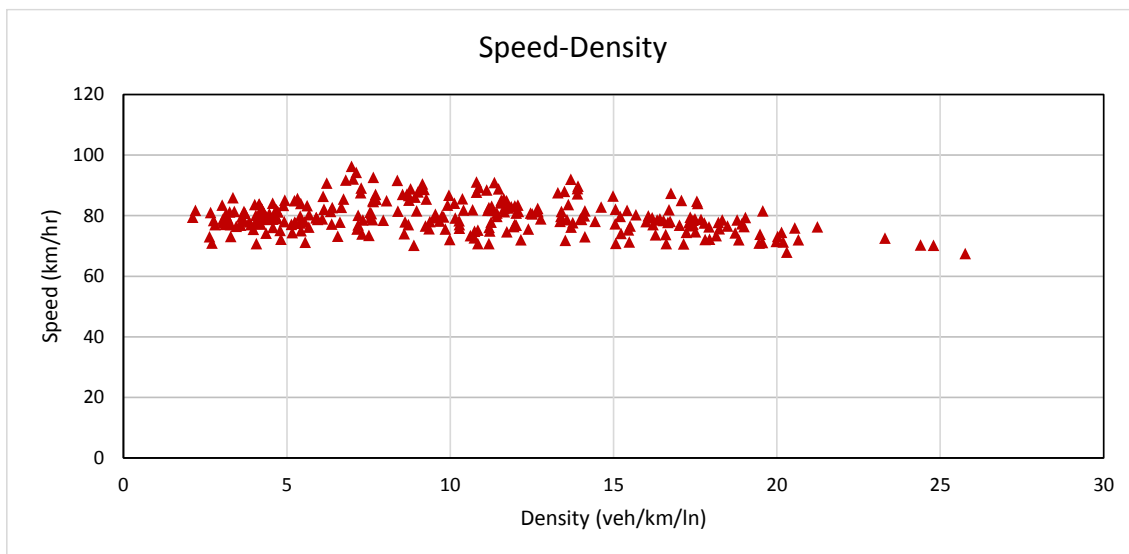
รูปที่ ข.20 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



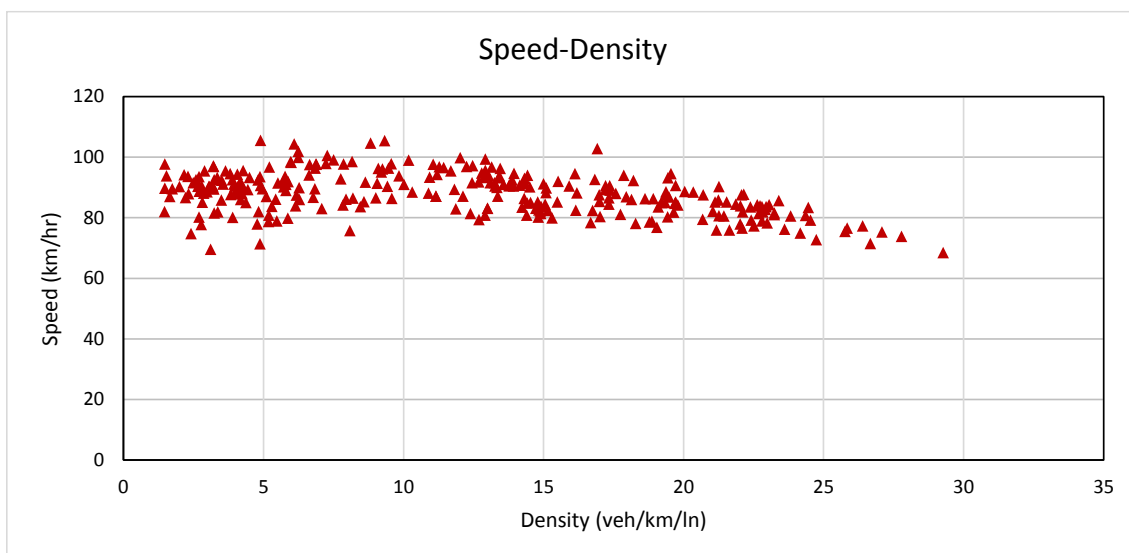
รูปที่ ข.21 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



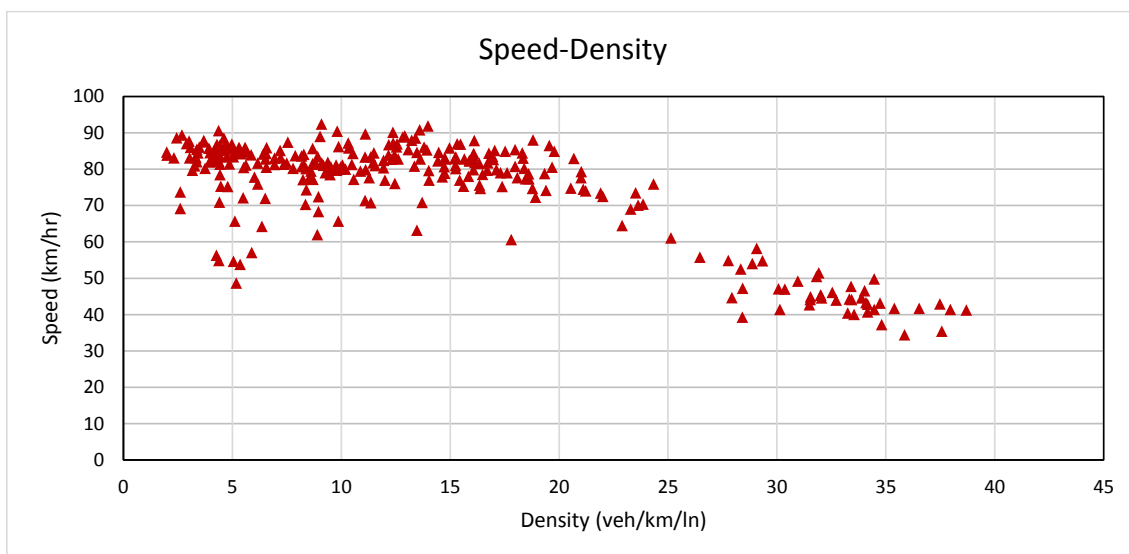
รูปที่ ข.22 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



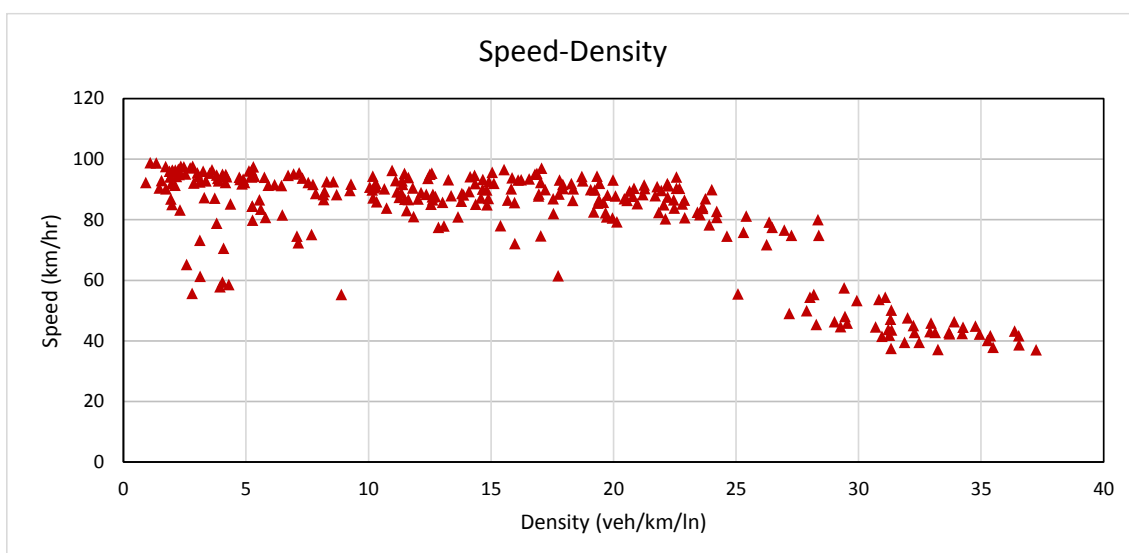
รูปที่ ข.23 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



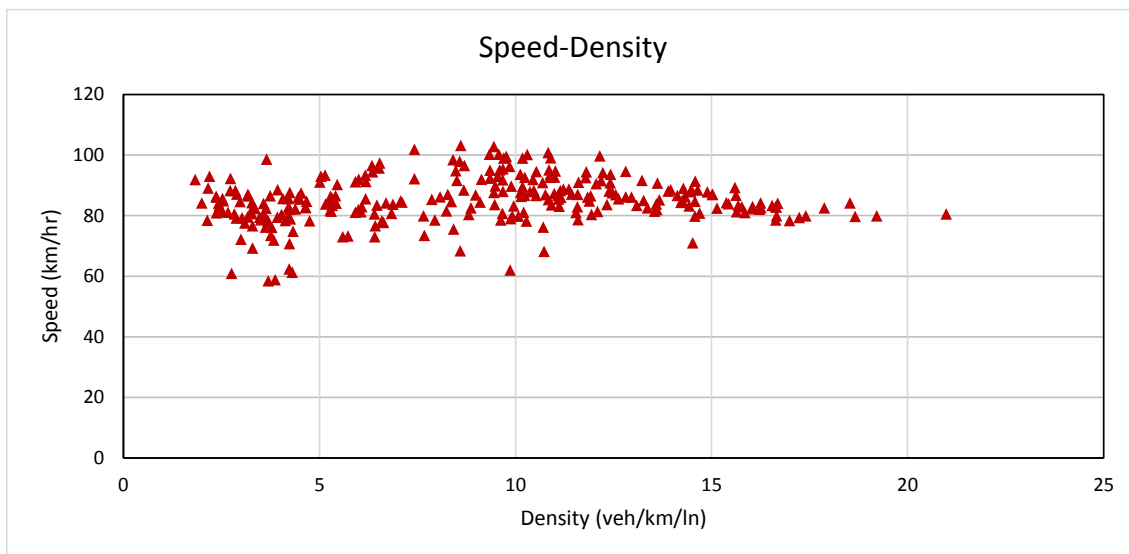
รูปที่ ข.24 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



รูปที่ ข.25 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



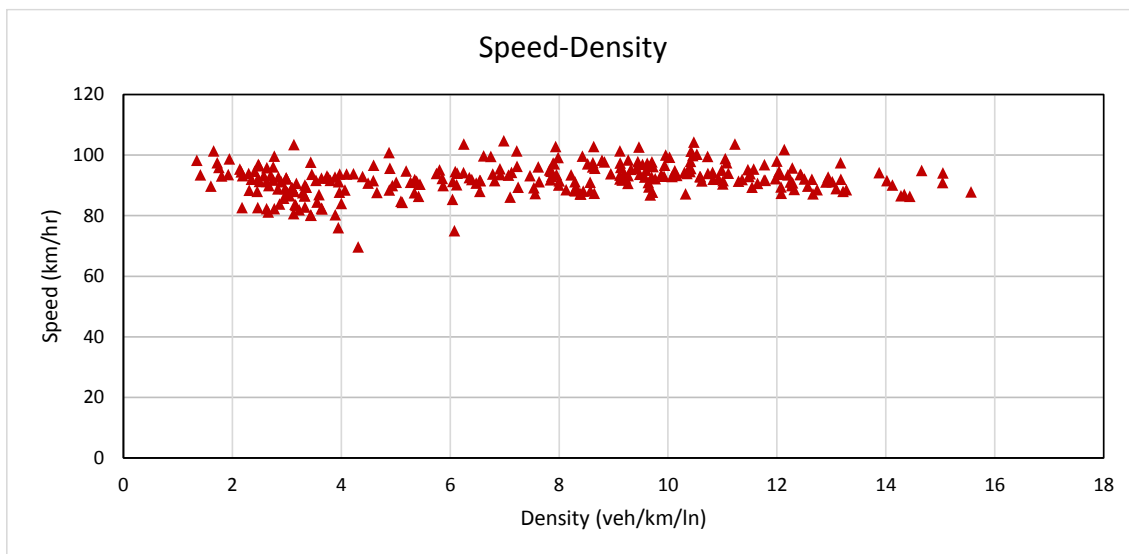
รูปที่ ข.26 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



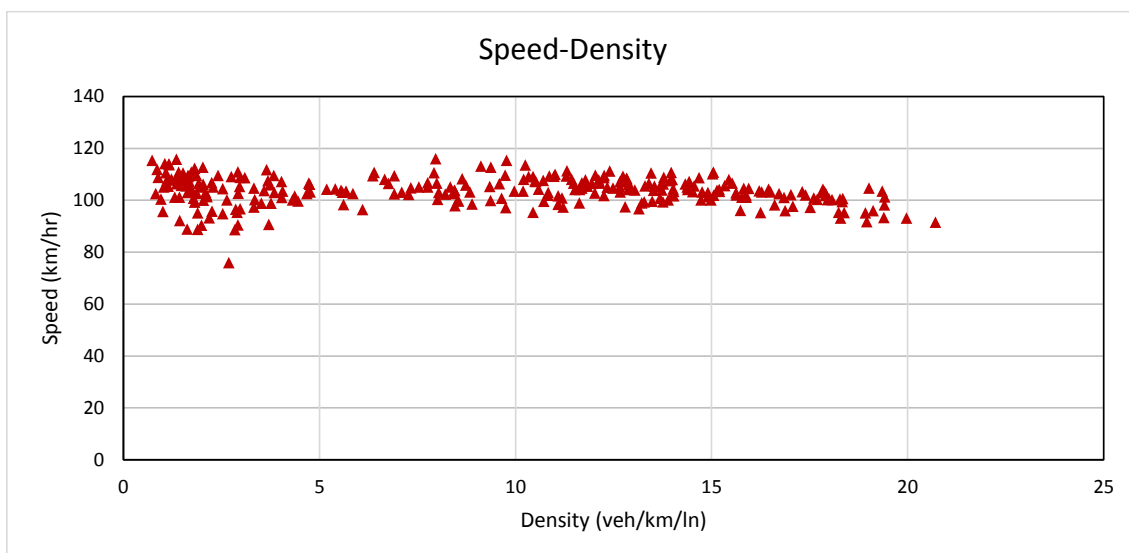
รูปที่ ข.27 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



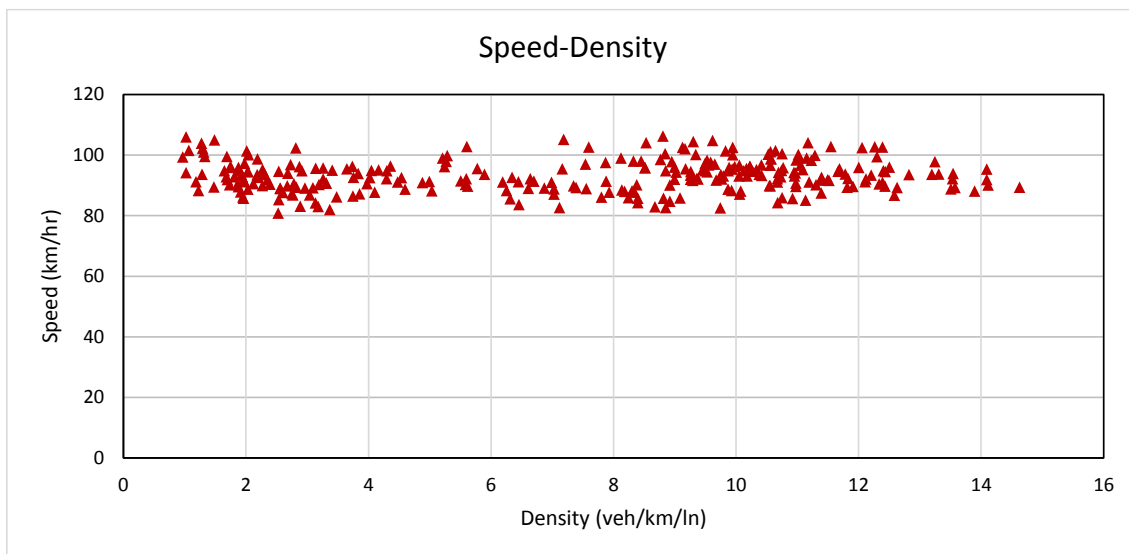
รูปที่ ข.28 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



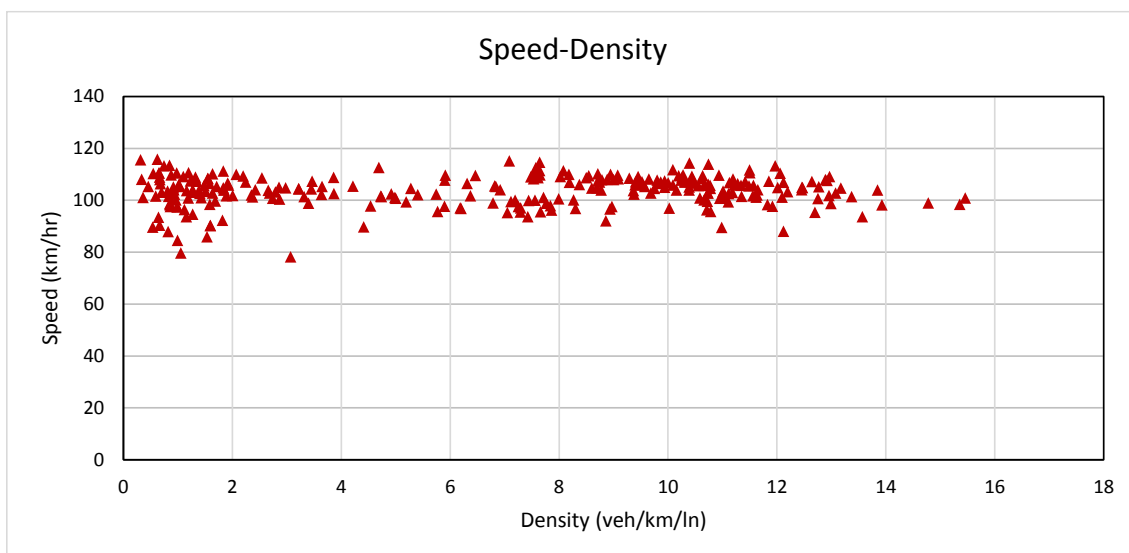
รูปที่ ข.29 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ ข.30 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



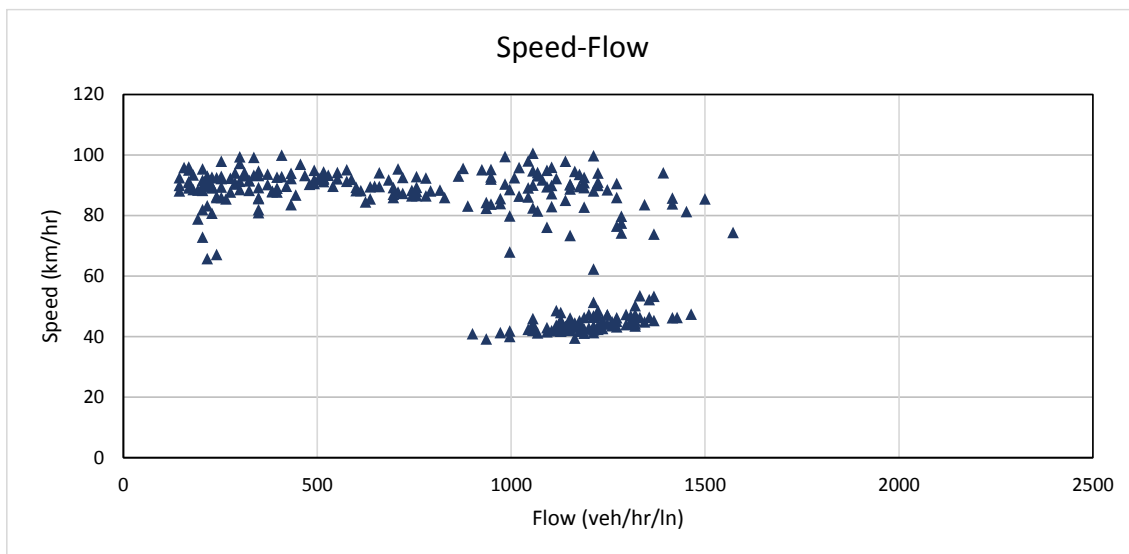
รูปที่ ข.31 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



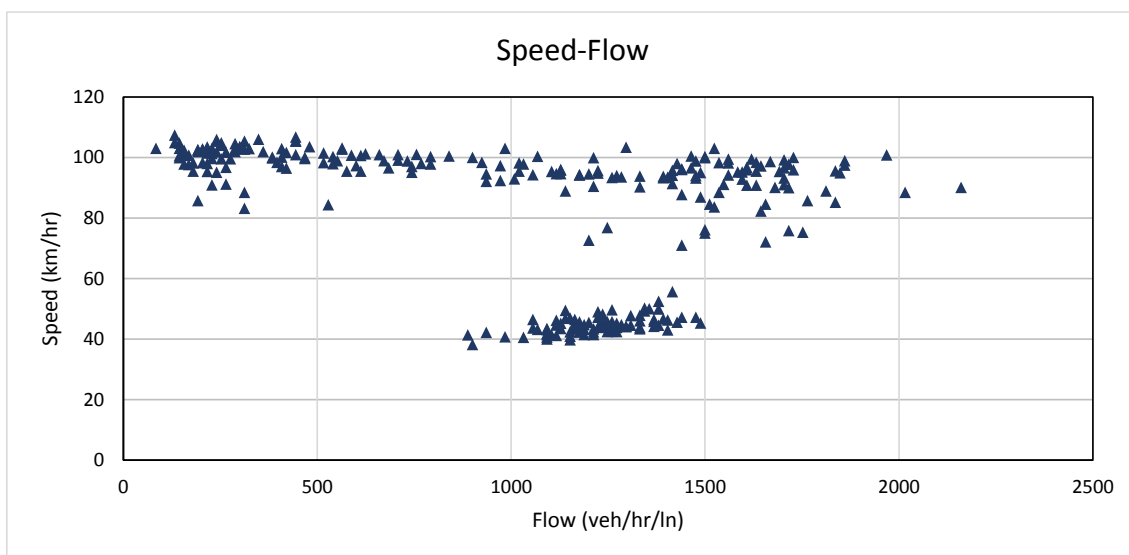
รูปที่ ข.32 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ภาคผนวก ค

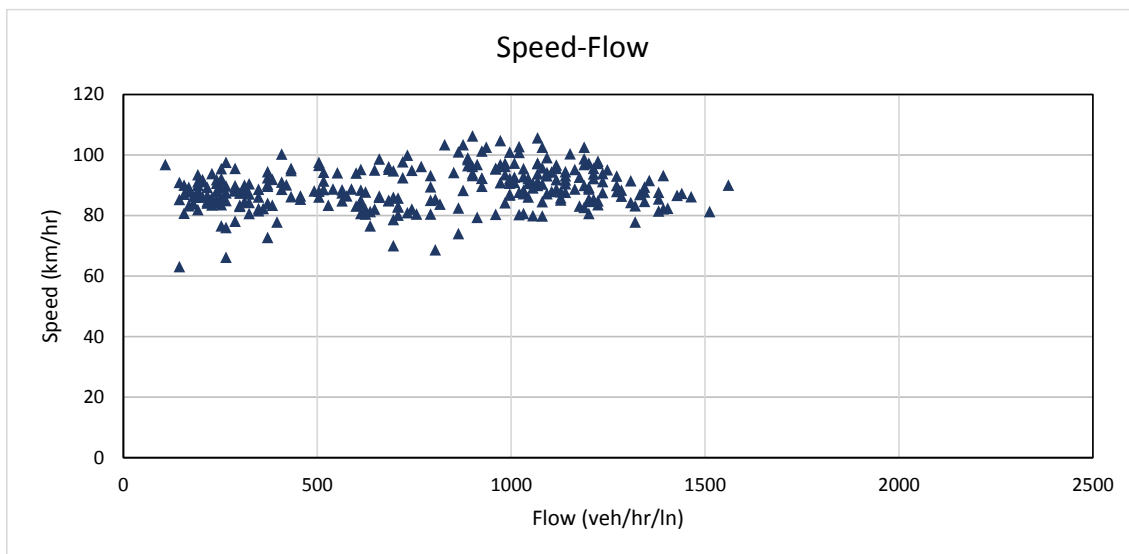
ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น
ในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” 1 สัปดาห์



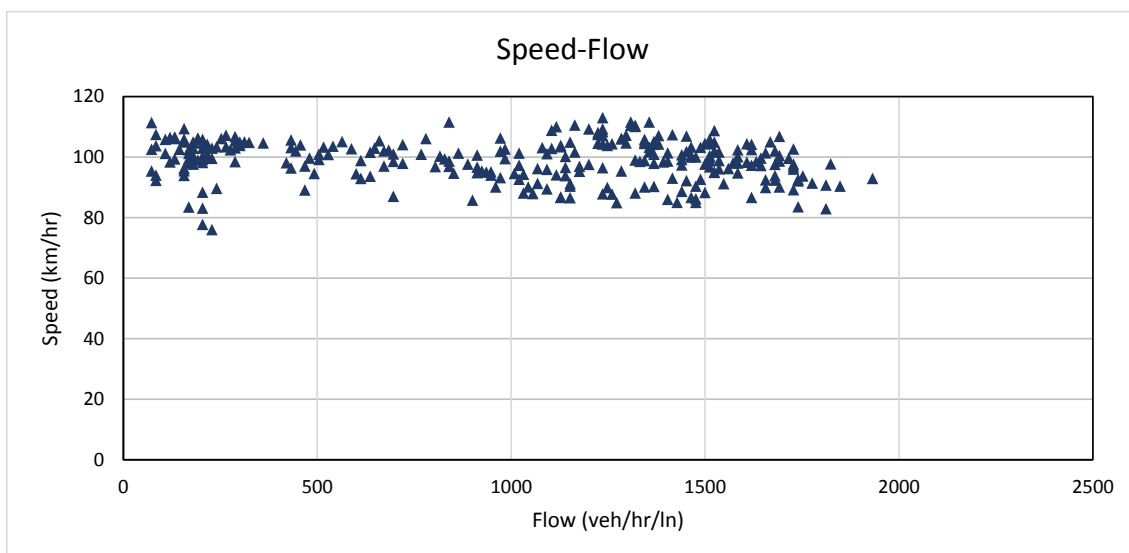
รูปที่ ค.1 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



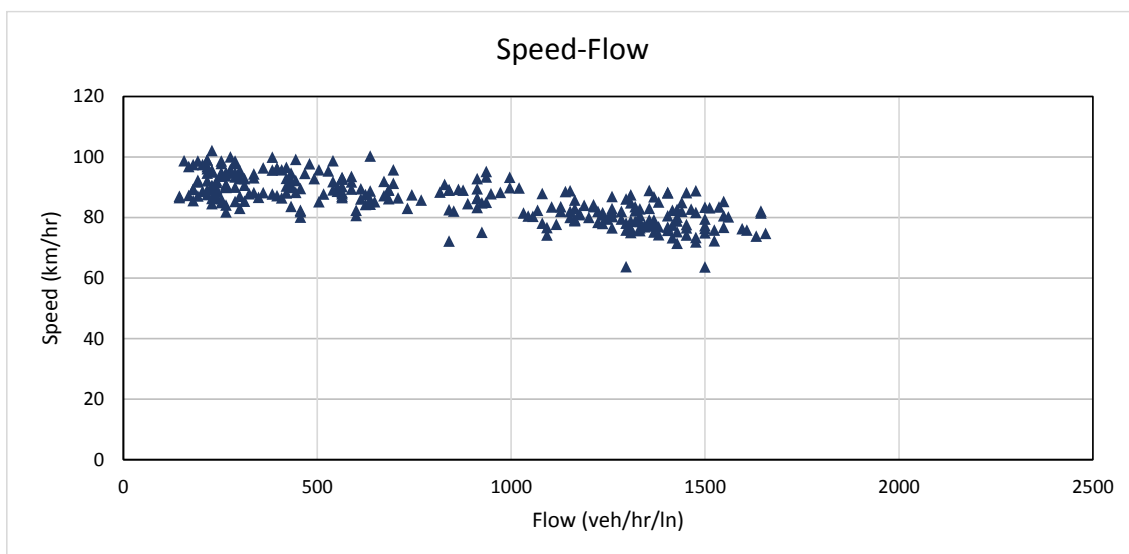
รูปที่ ค.2 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



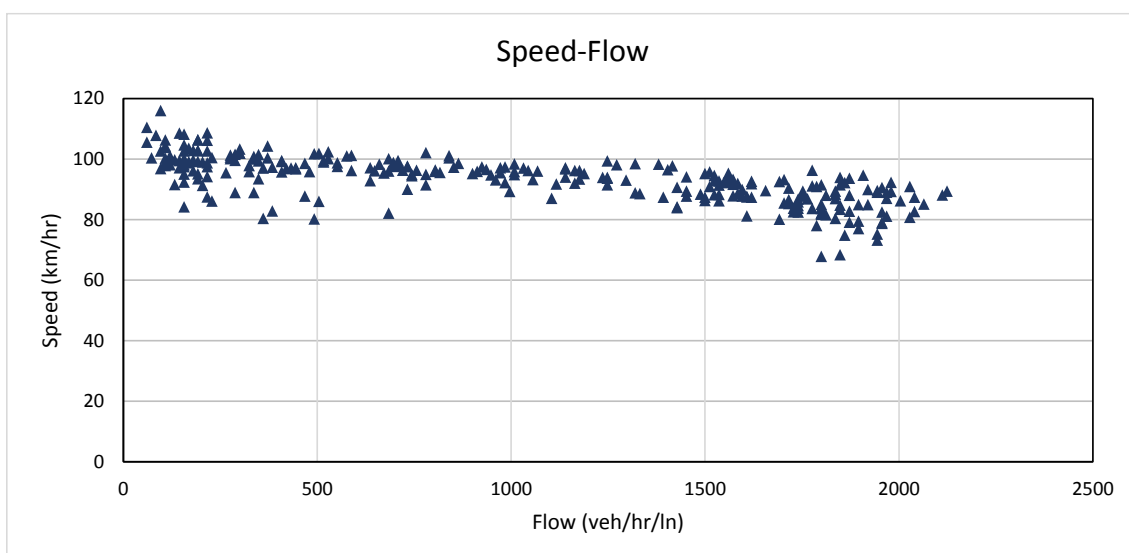
รูปที่ ค.3 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



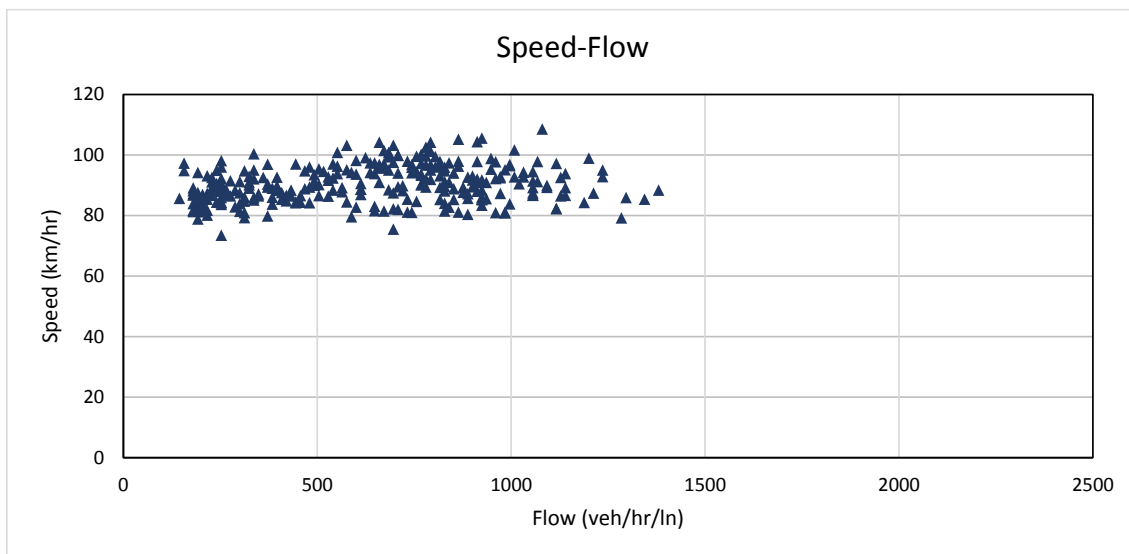
รูปที่ ค.4 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



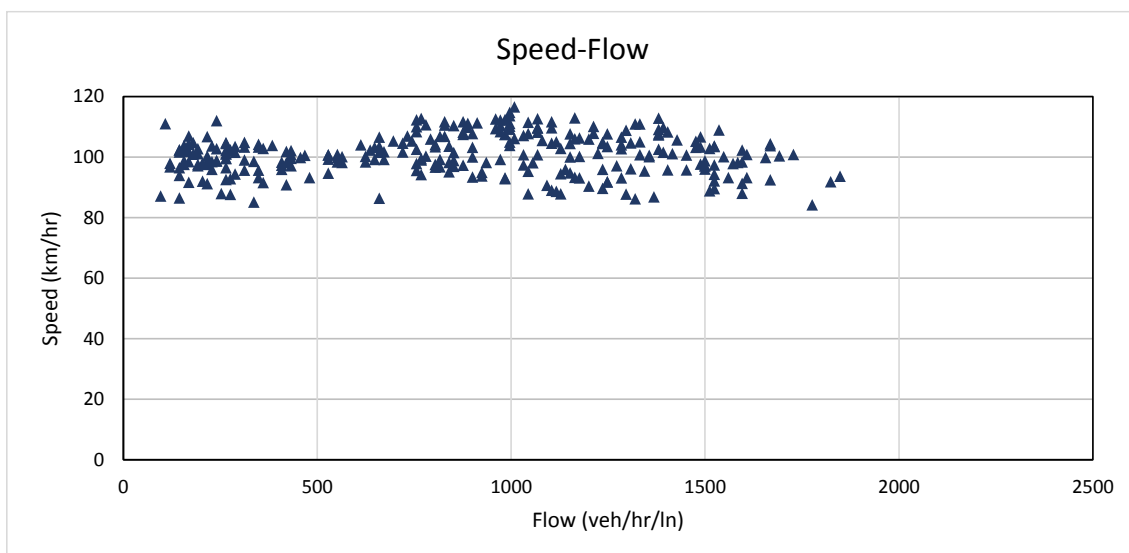
รูปที่ ค.5 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



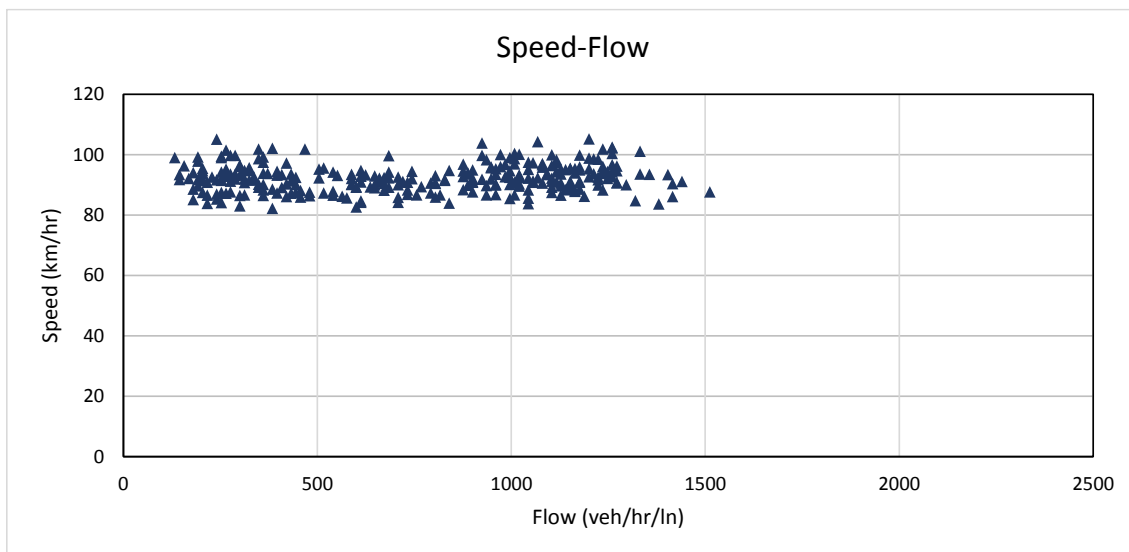
รูปที่ ค.6 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



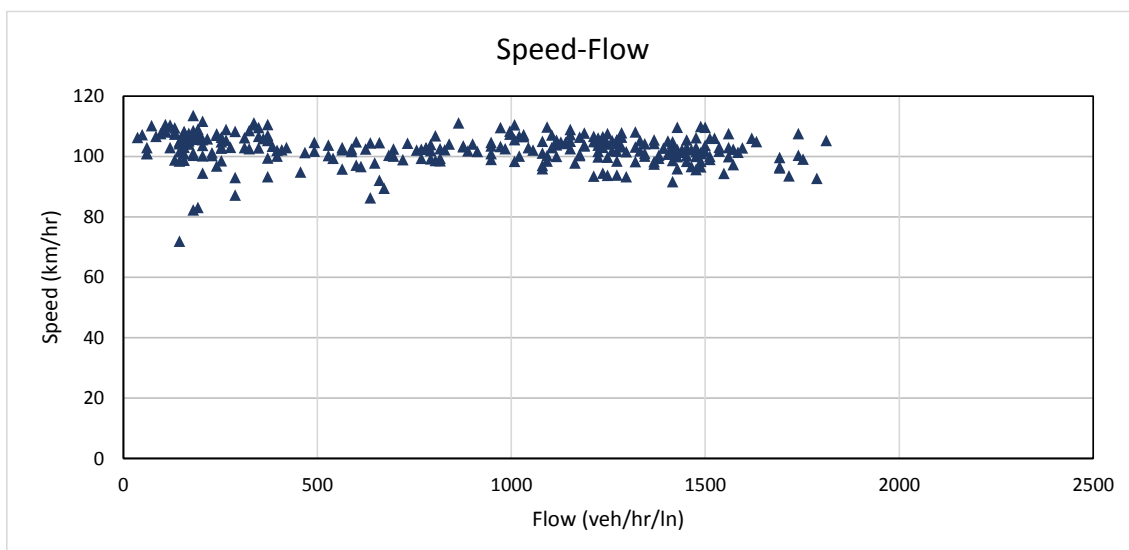
รูปที่ ค.7 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



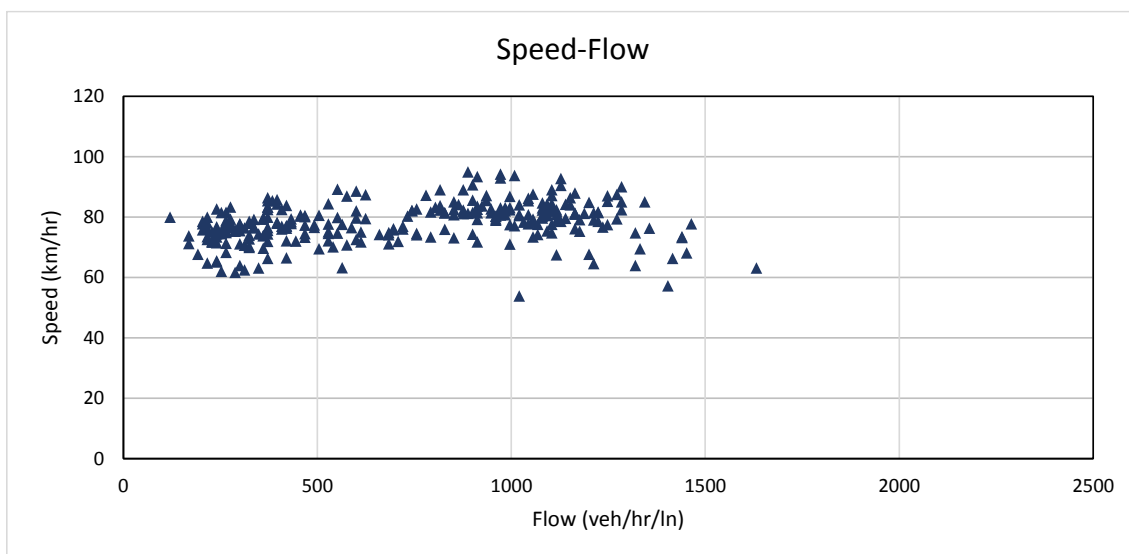
รูปที่ ค.8 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



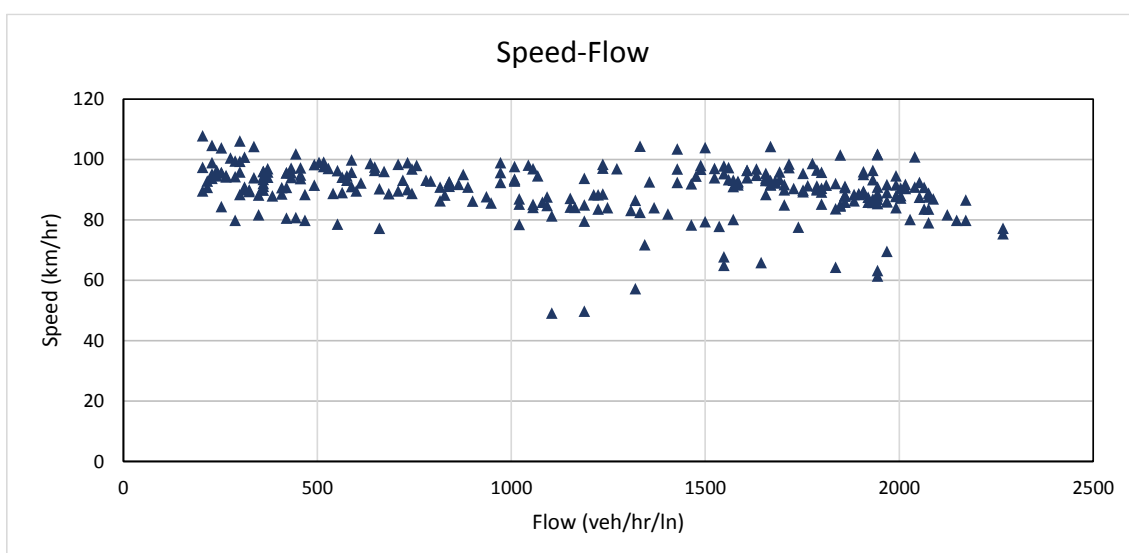
รูปที่ ค.9 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



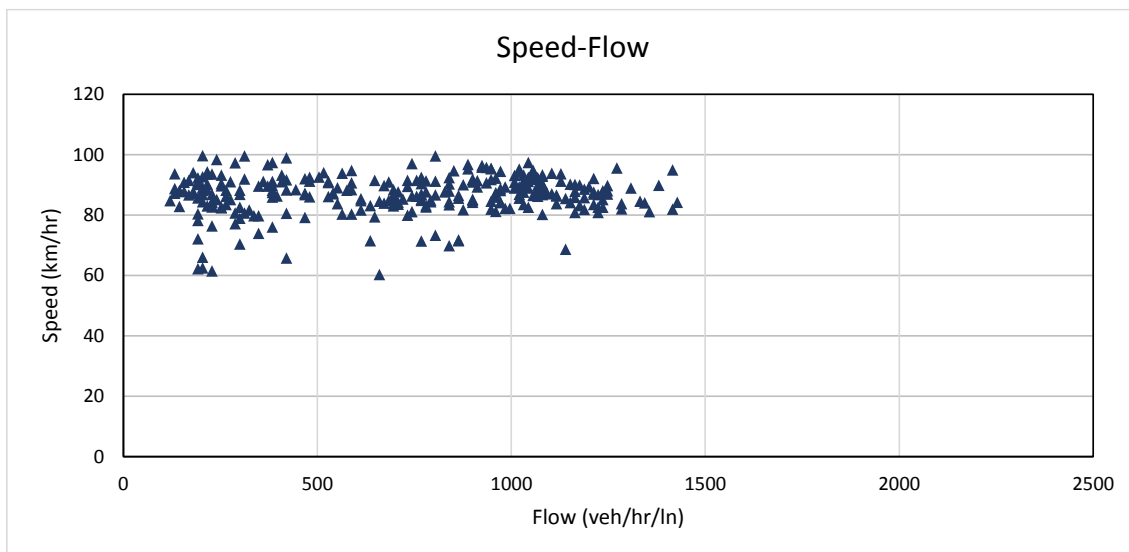
รูปที่ ค.10 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



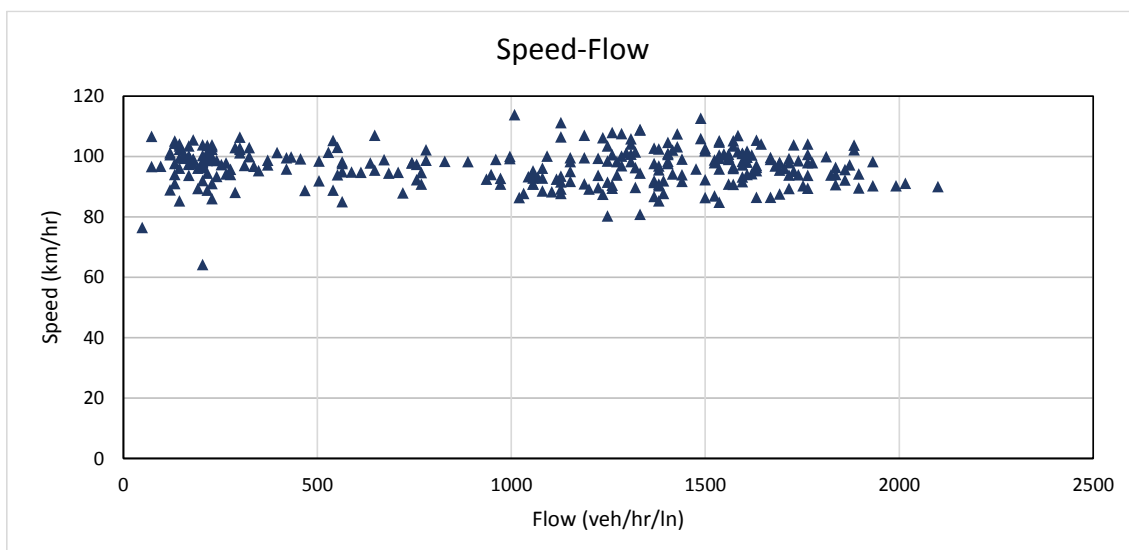
รูปที่ ค.11 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



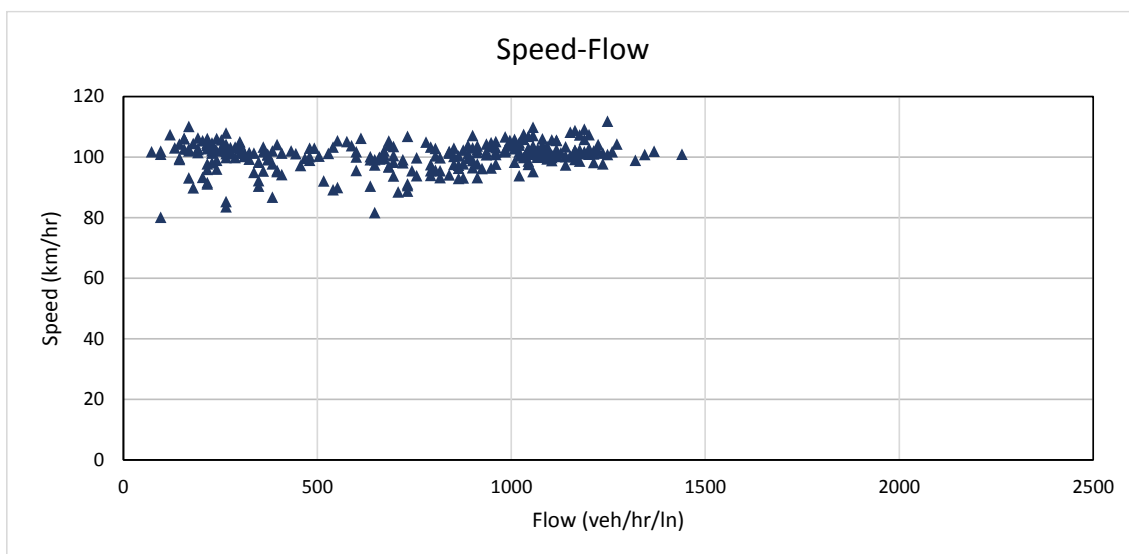
รูปที่ ค.12 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



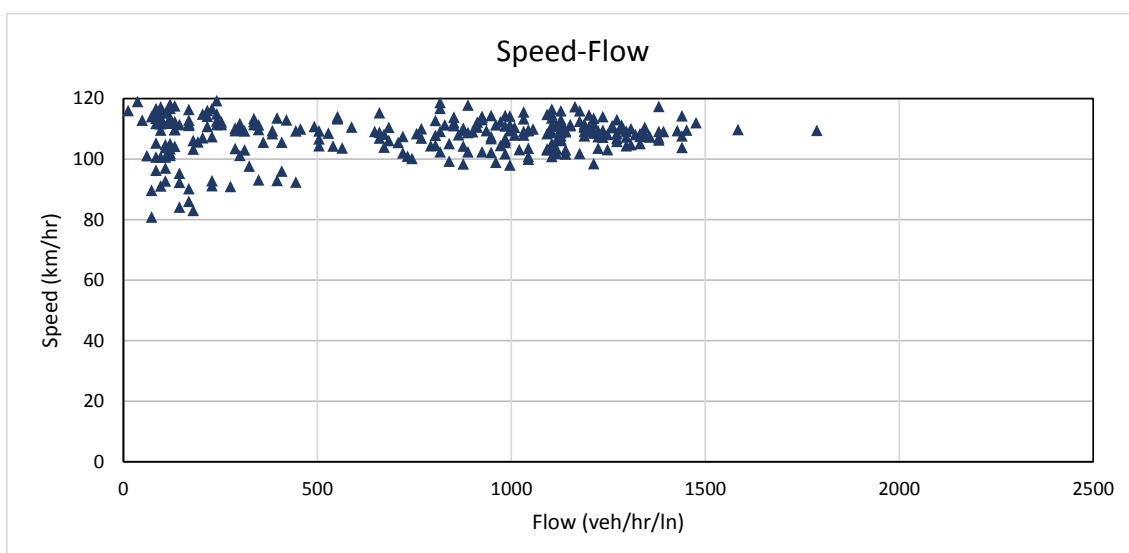
รูปที่ ค.13 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



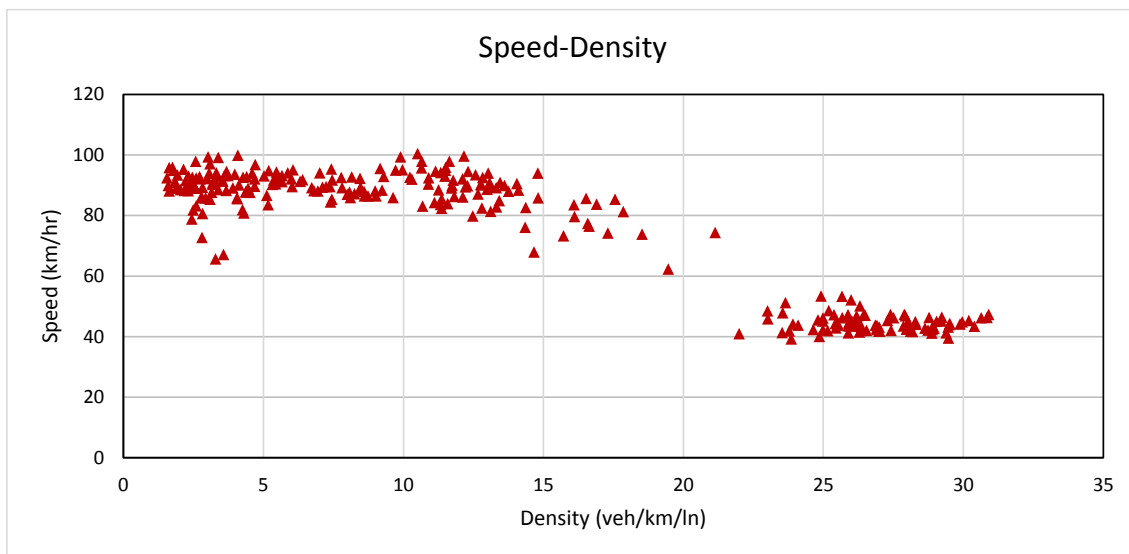
รูปที่ ค.14 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



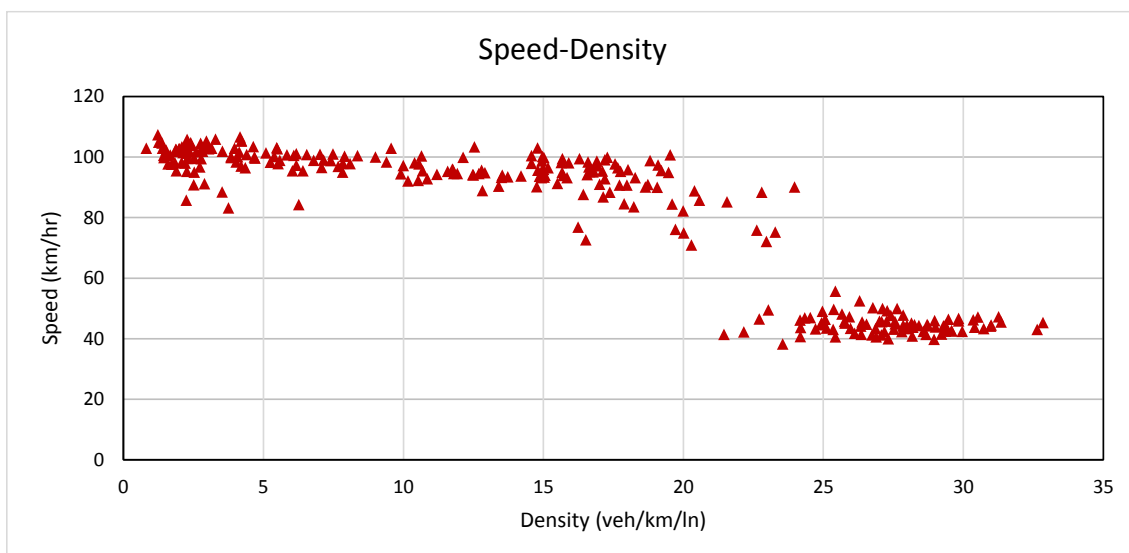
รูปที่ ค.15 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



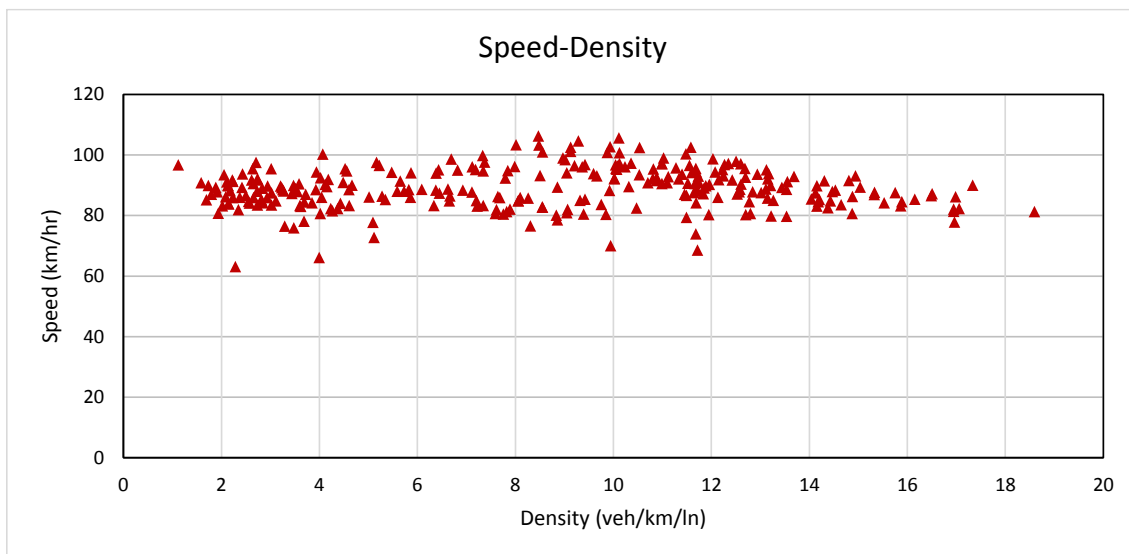
รูปที่ ค.16 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



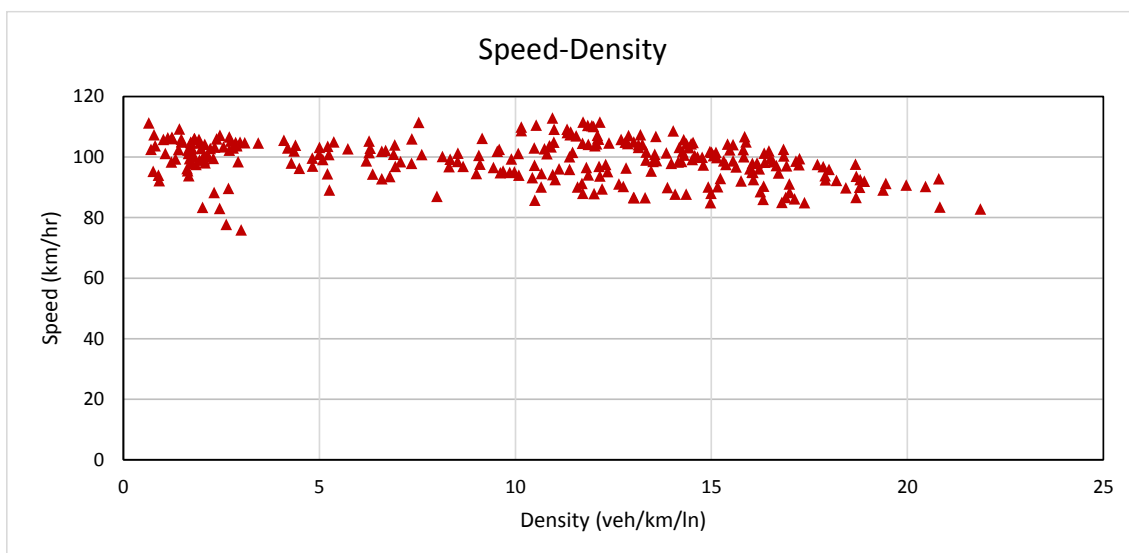
รูปที่ ค.17 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



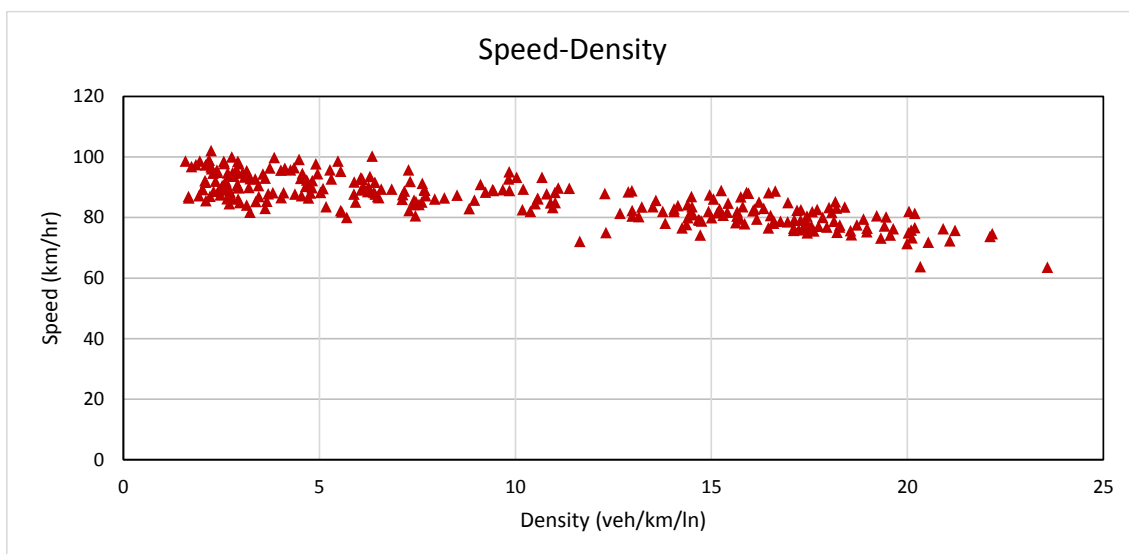
รูปที่ ค.18 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



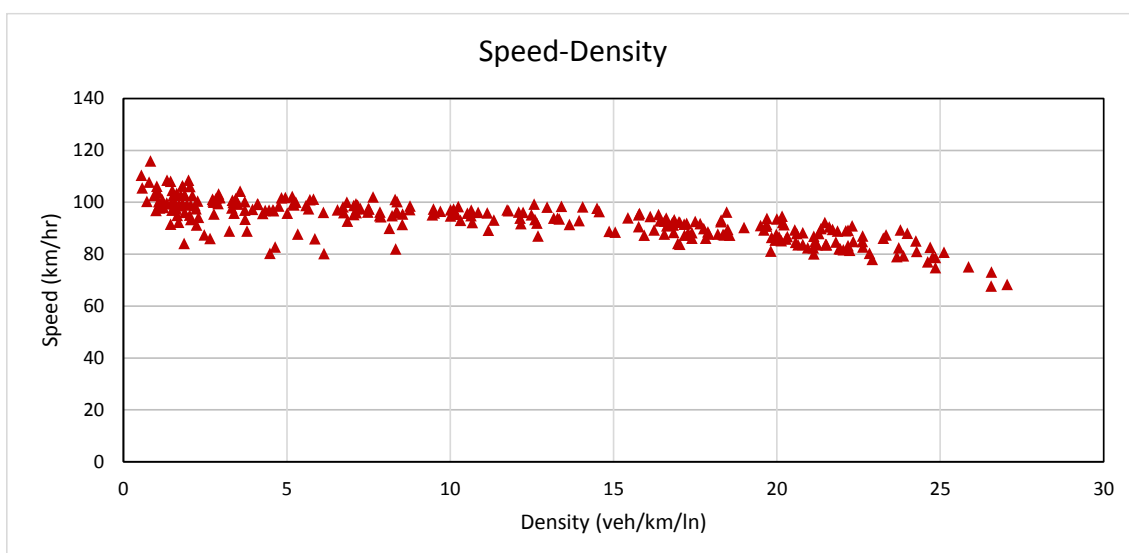
รูปที่ ค.19 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



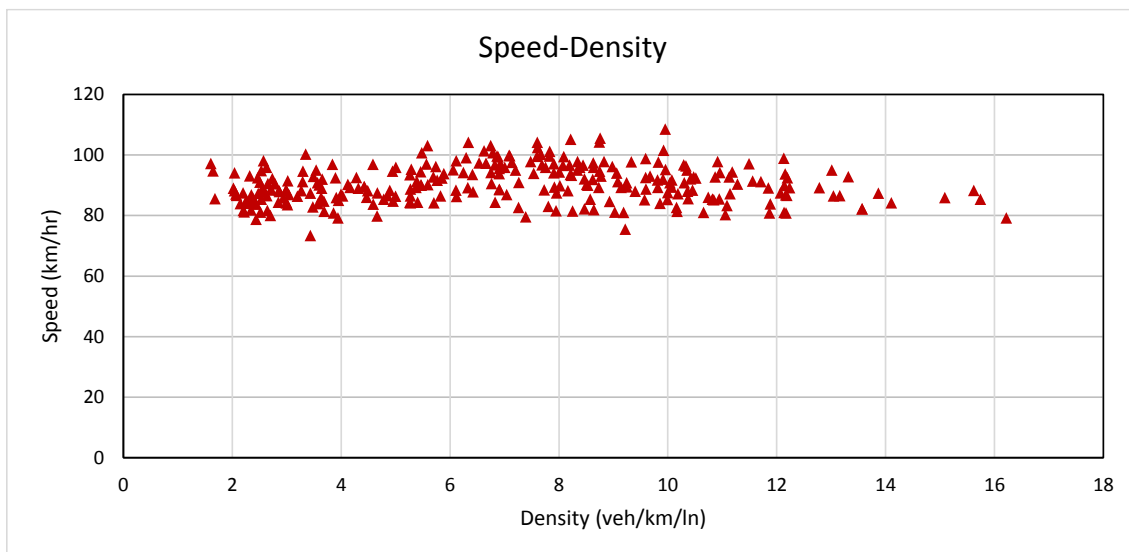
รูปที่ ค.20 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



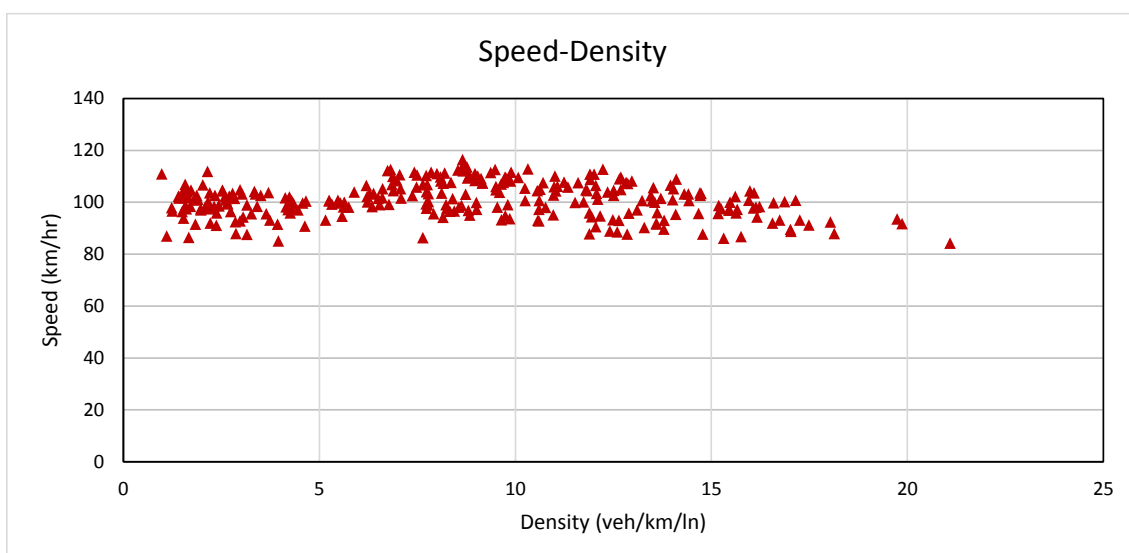
รูปที่ ค.21 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



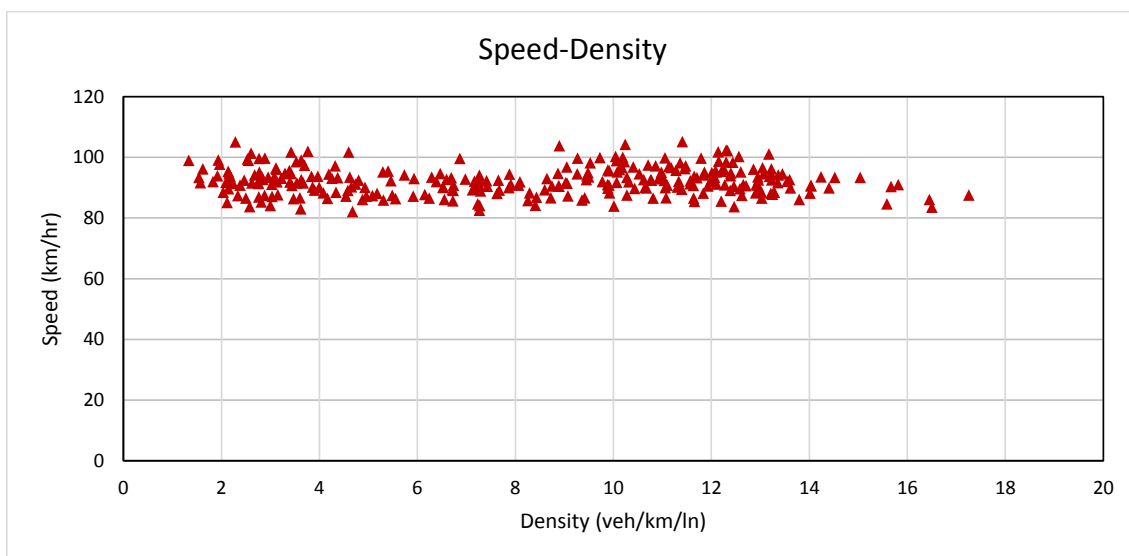
รูปที่ ค.22 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



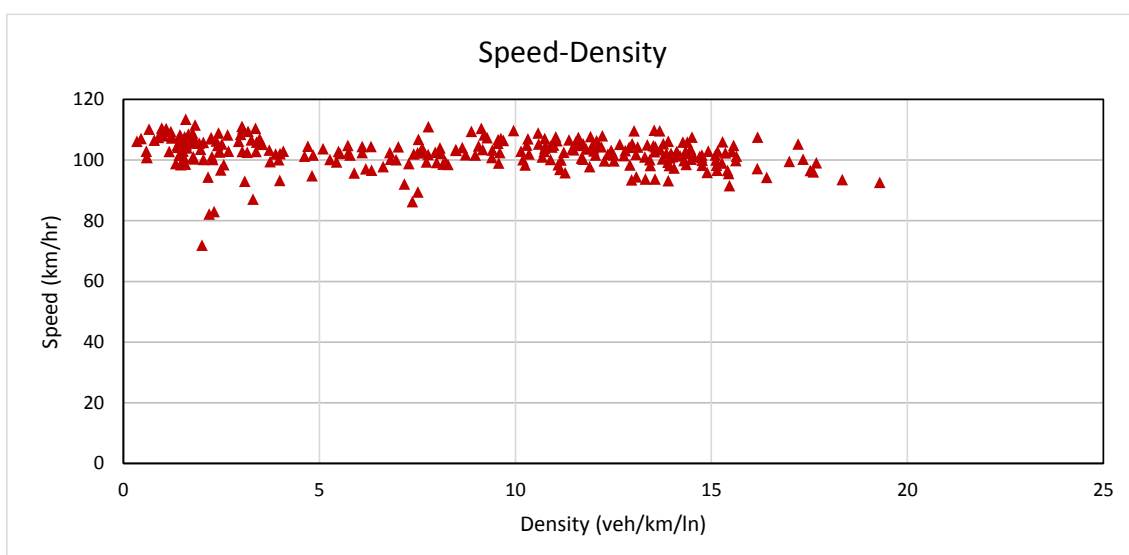
รูปที่ ค.23 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



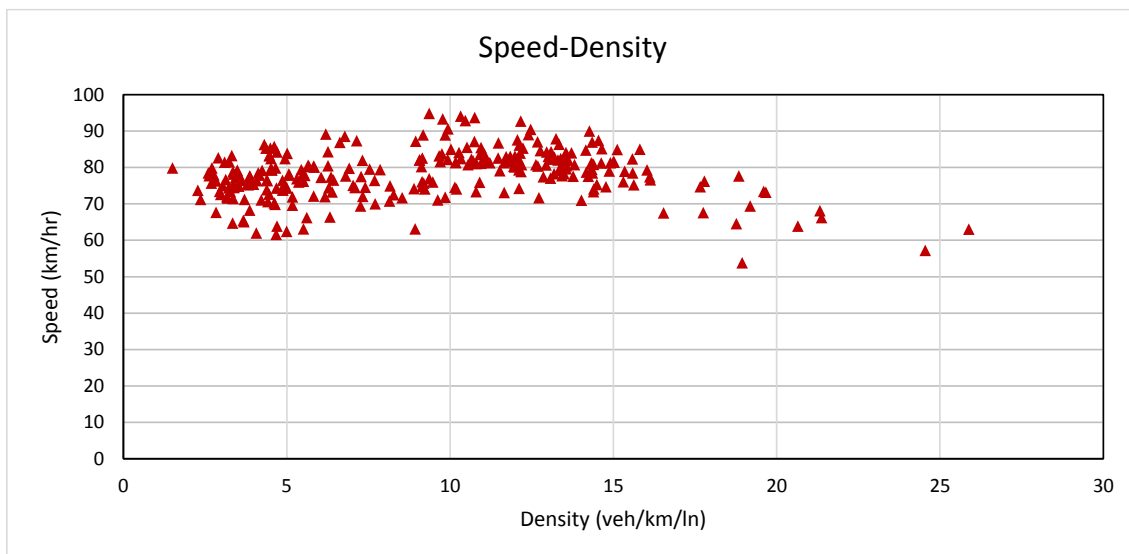
รูปที่ ค.24 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



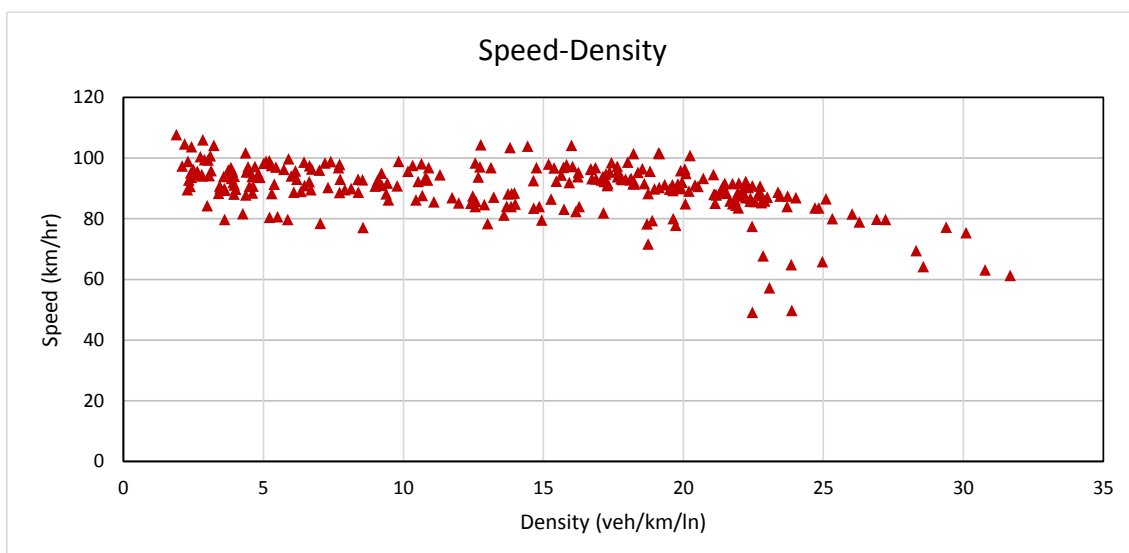
รูปที่ ค.25 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



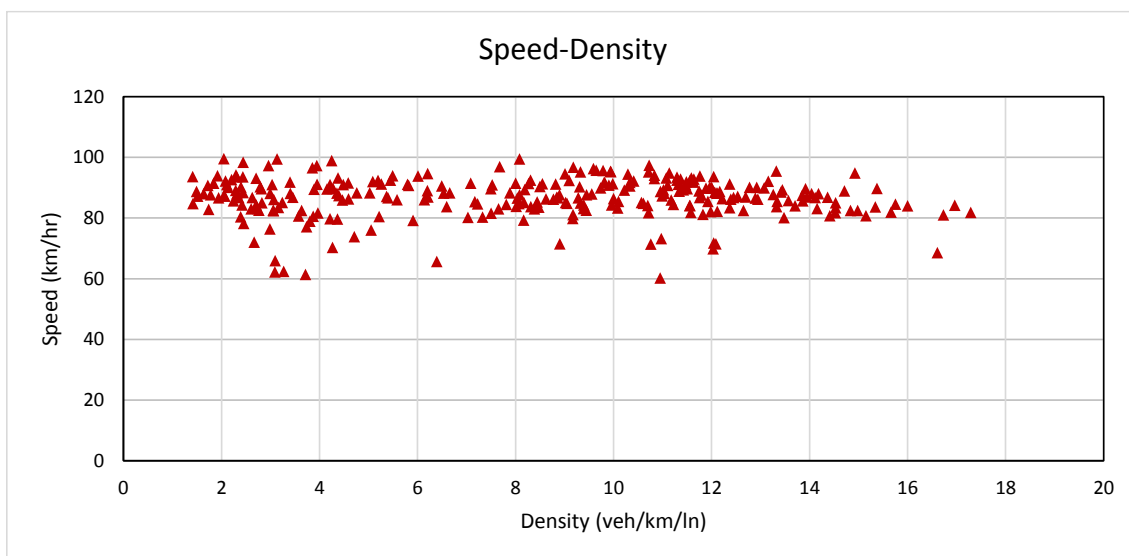
รูปที่ ค.26 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



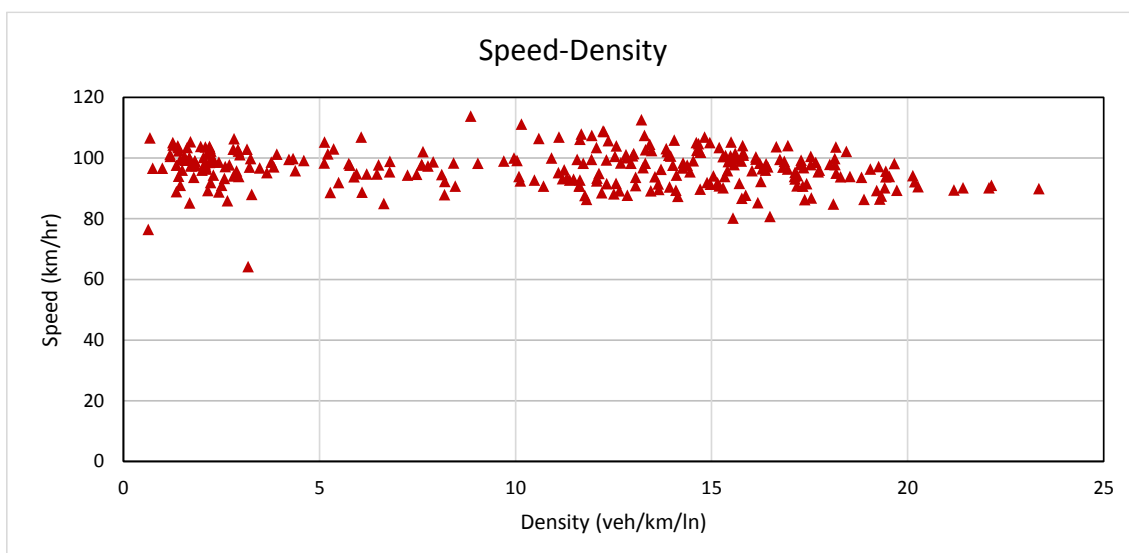
รูปที่ ค.27 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



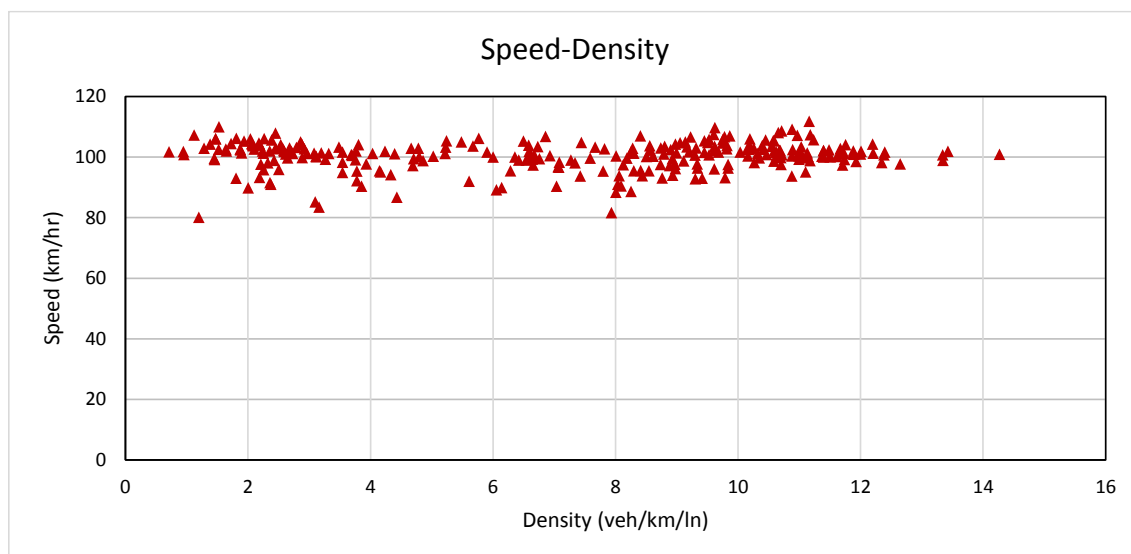
รูปที่ ค.28 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



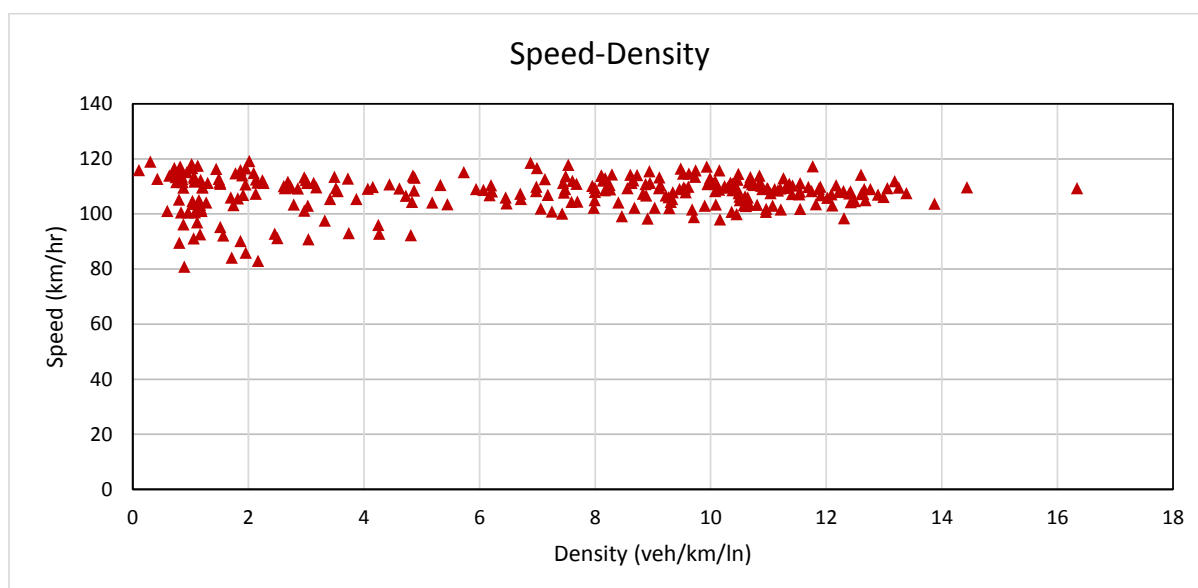
รูปที่ ค.29 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ ค.30 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



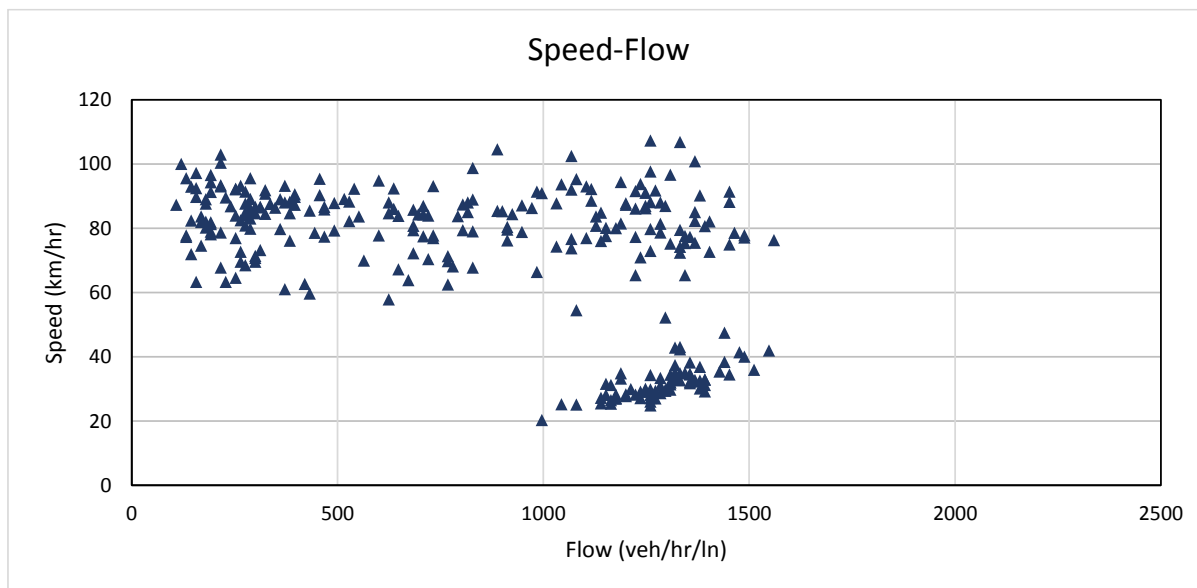
รูปที่ ค.31 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



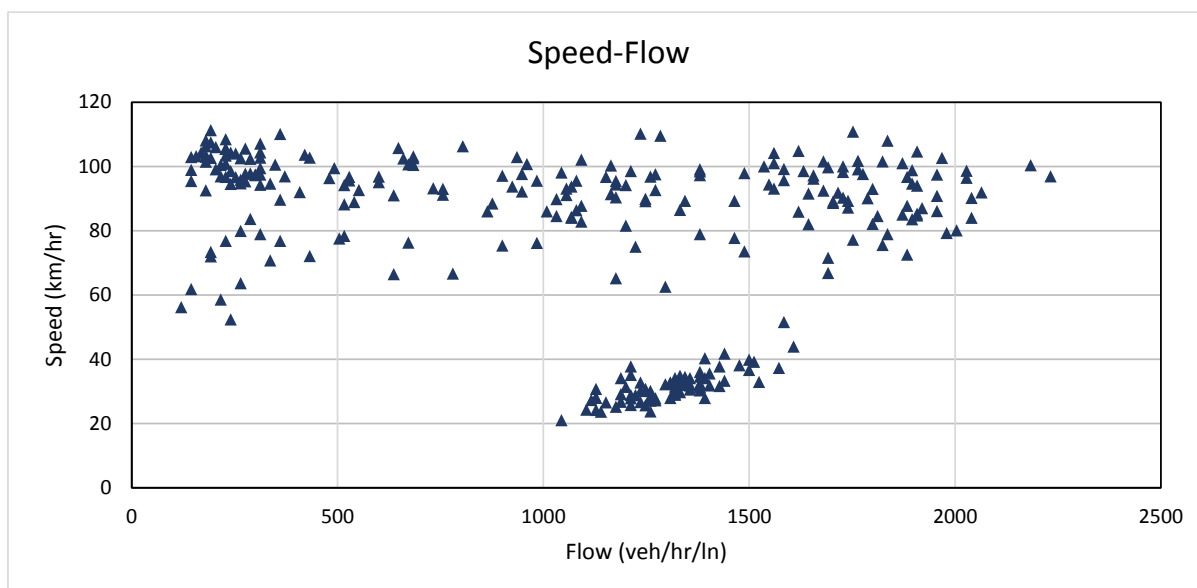
รูปที่ ค.32 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ภาคผนวก ง

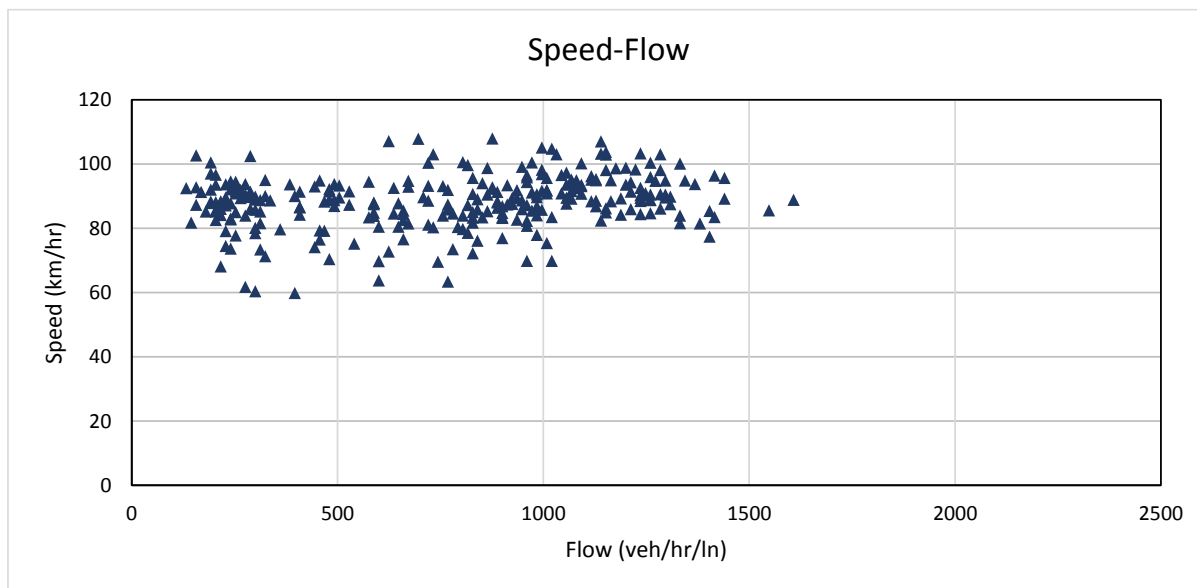
ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น
ในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” 1 เดือน



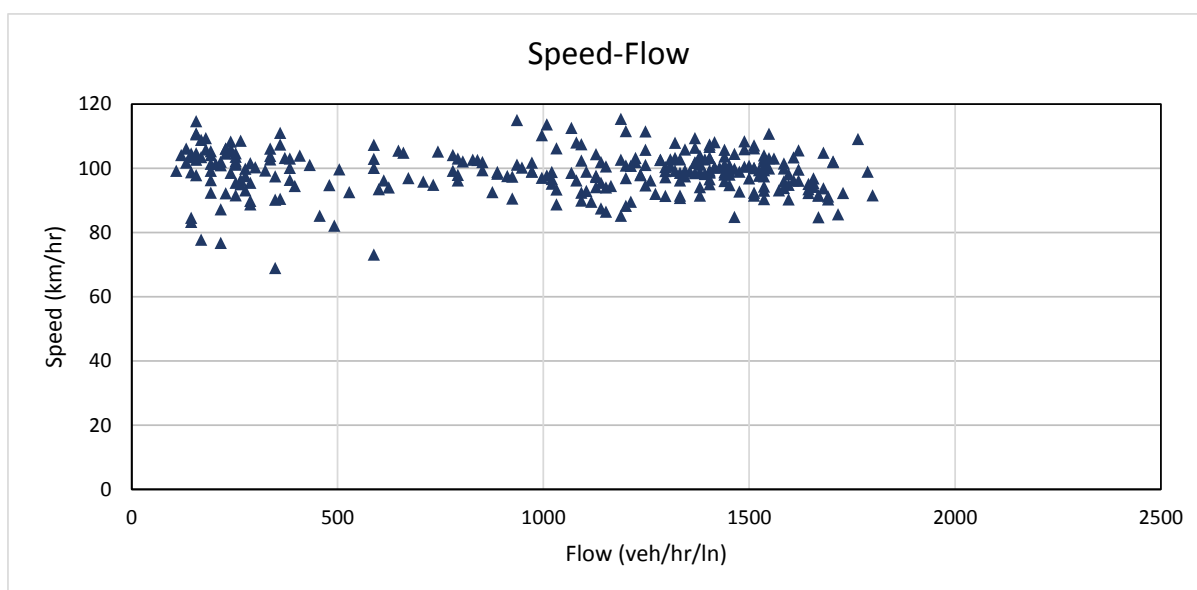
รูปที่ ง.1 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



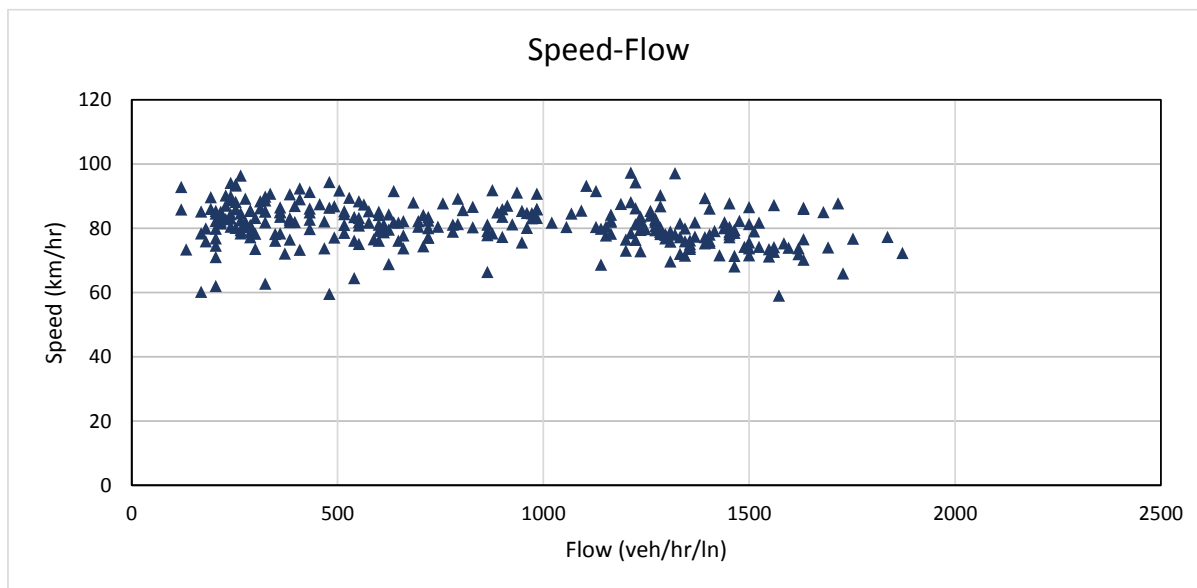
รูปที่ ง.2 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



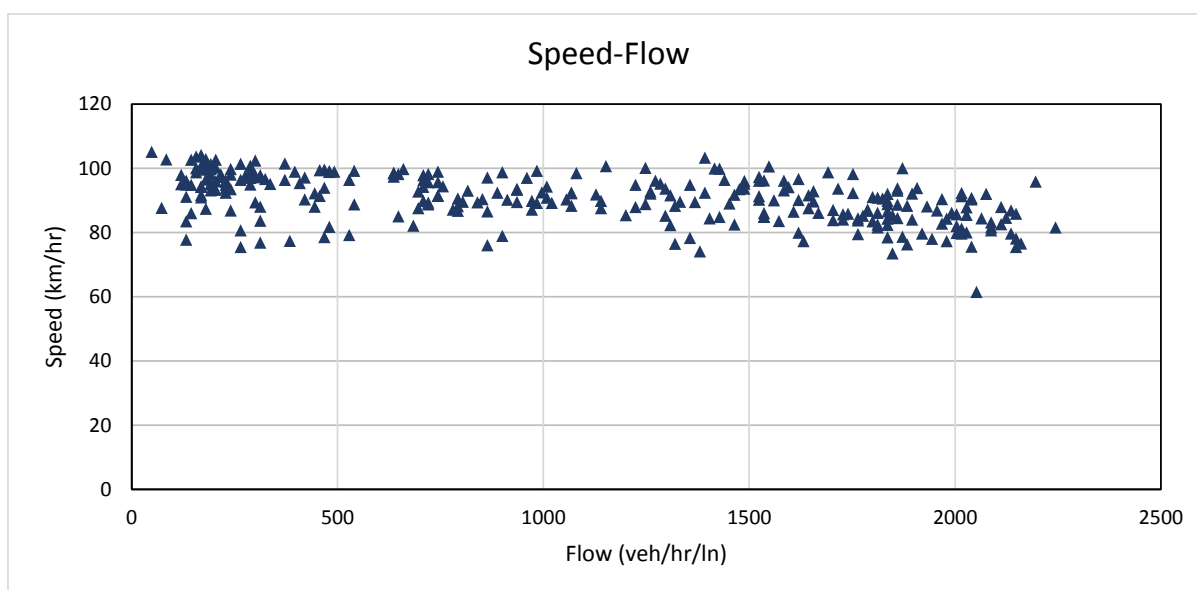
รูปที่ ง.3 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



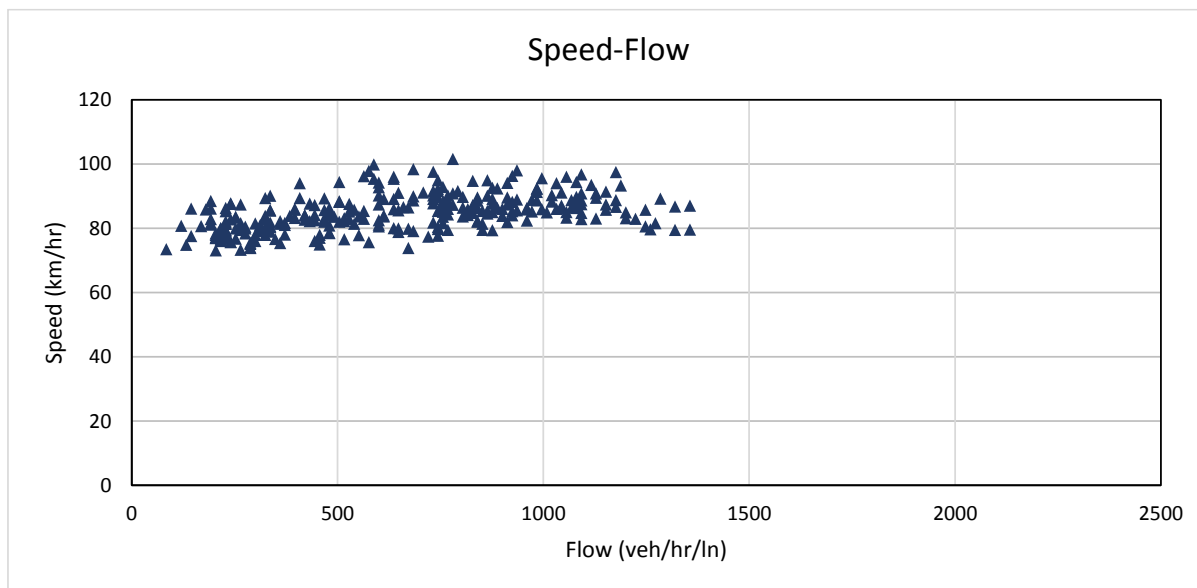
รูปที่ ง.4 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



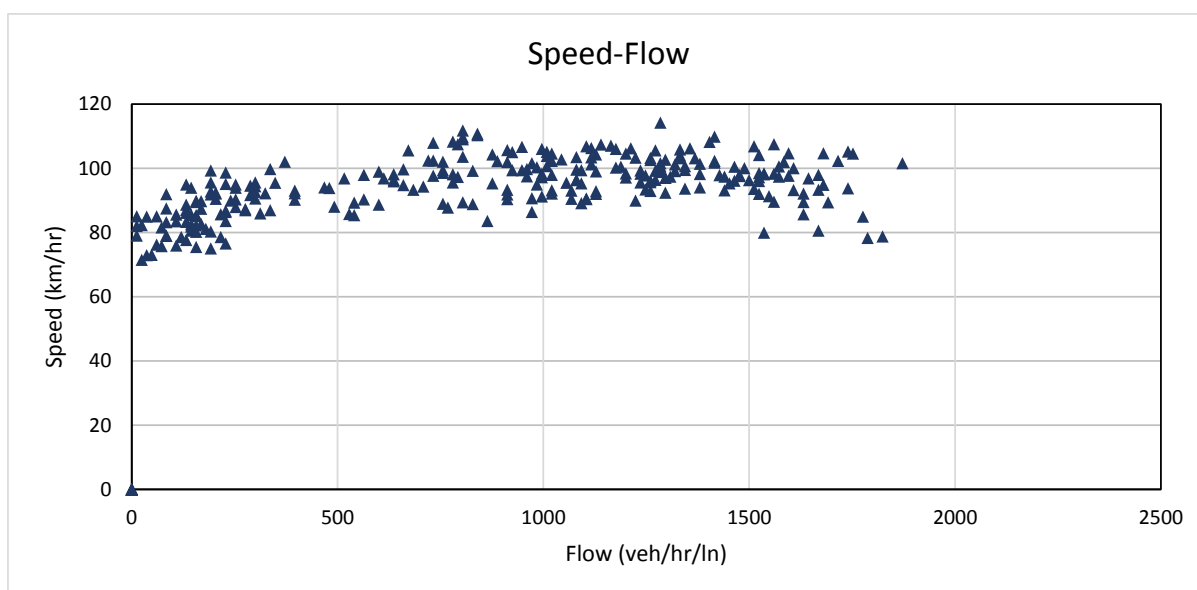
รูปที่ ๓.๕ กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



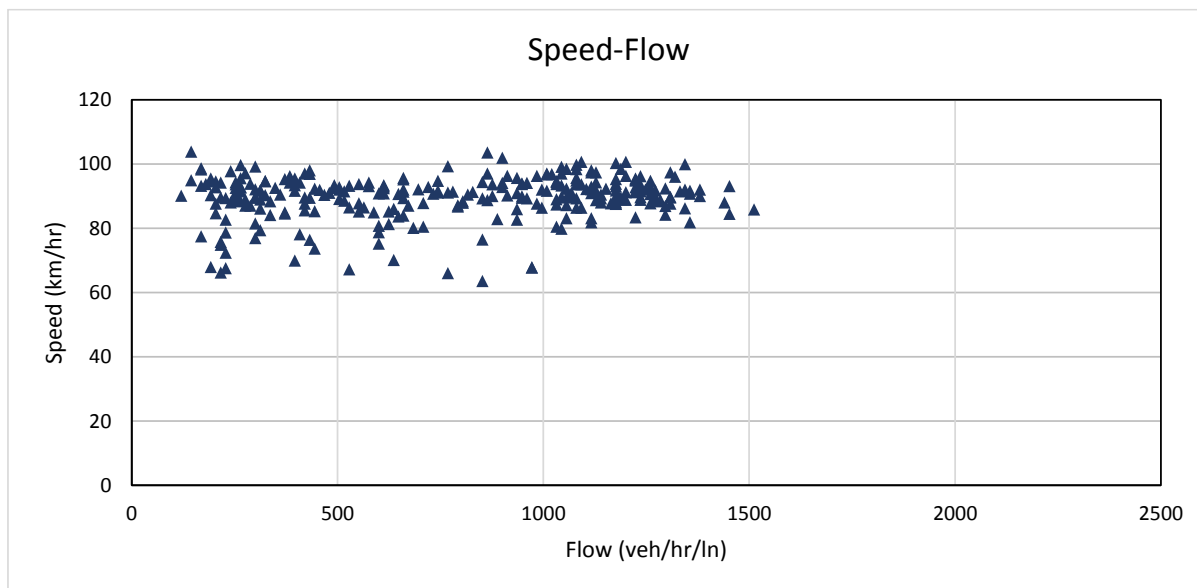
รูปที่ ๓.๖ กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



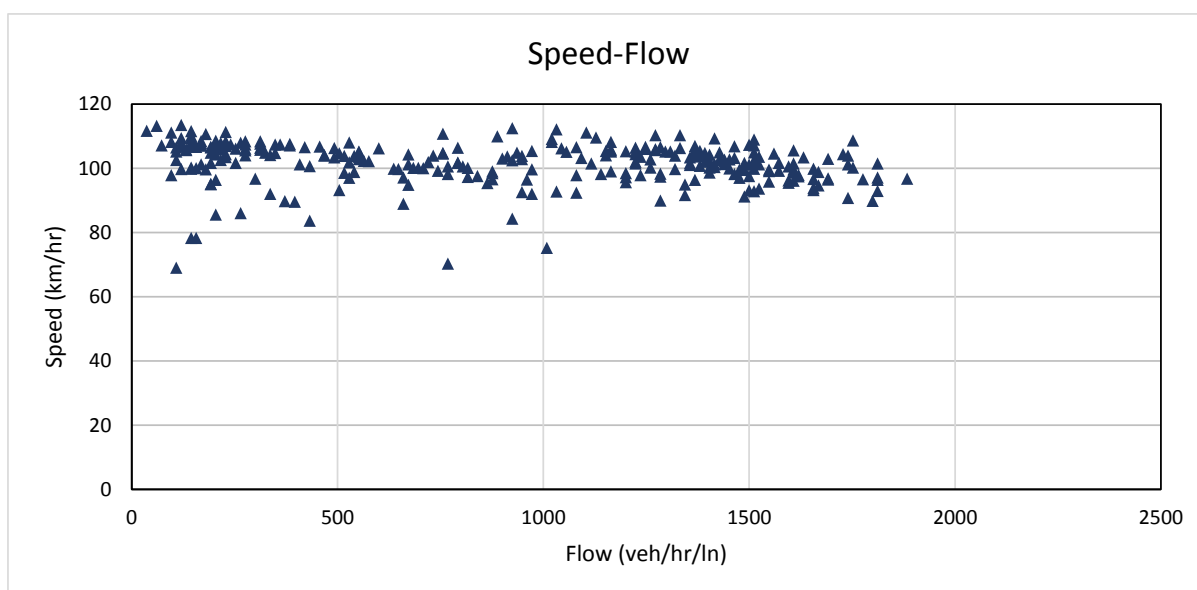
รูปที่ ง.7 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



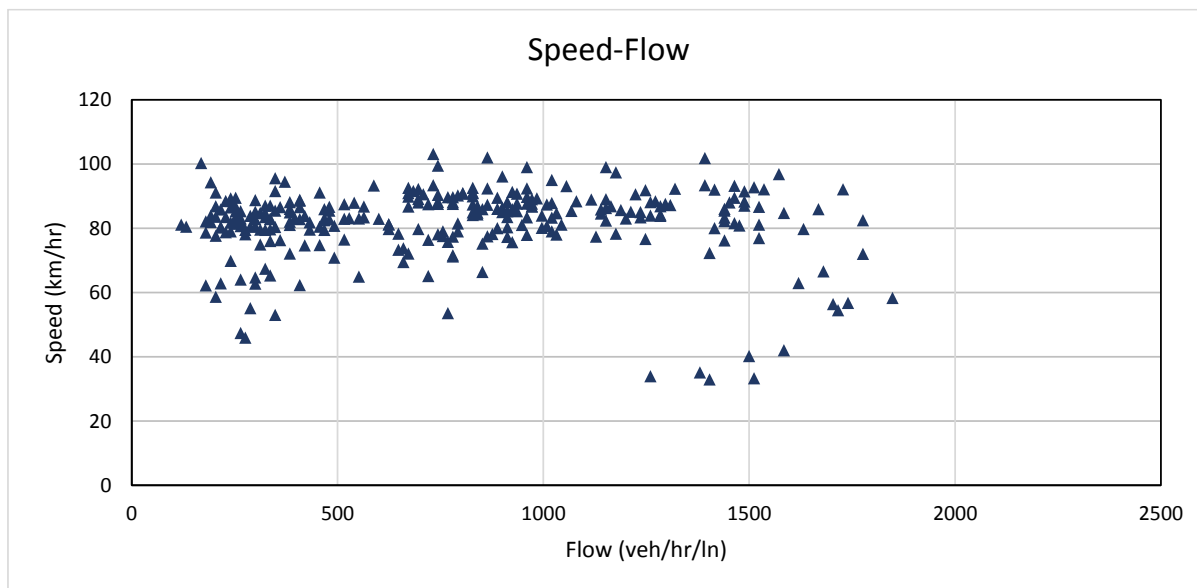
รูปที่ ง.8 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



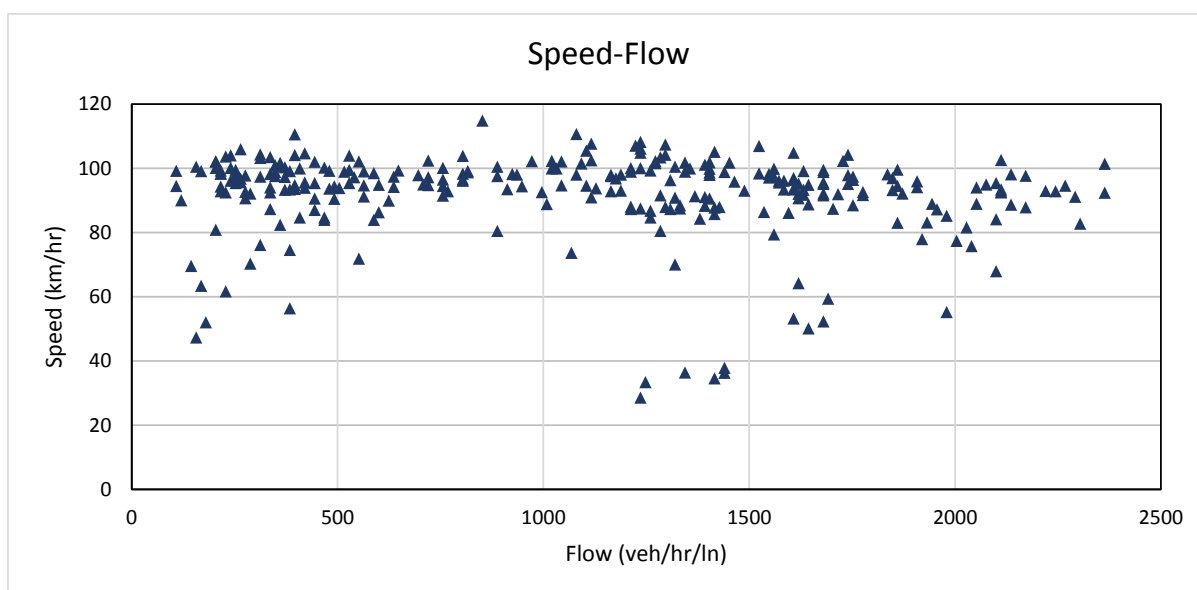
รูปที่ ง.9 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



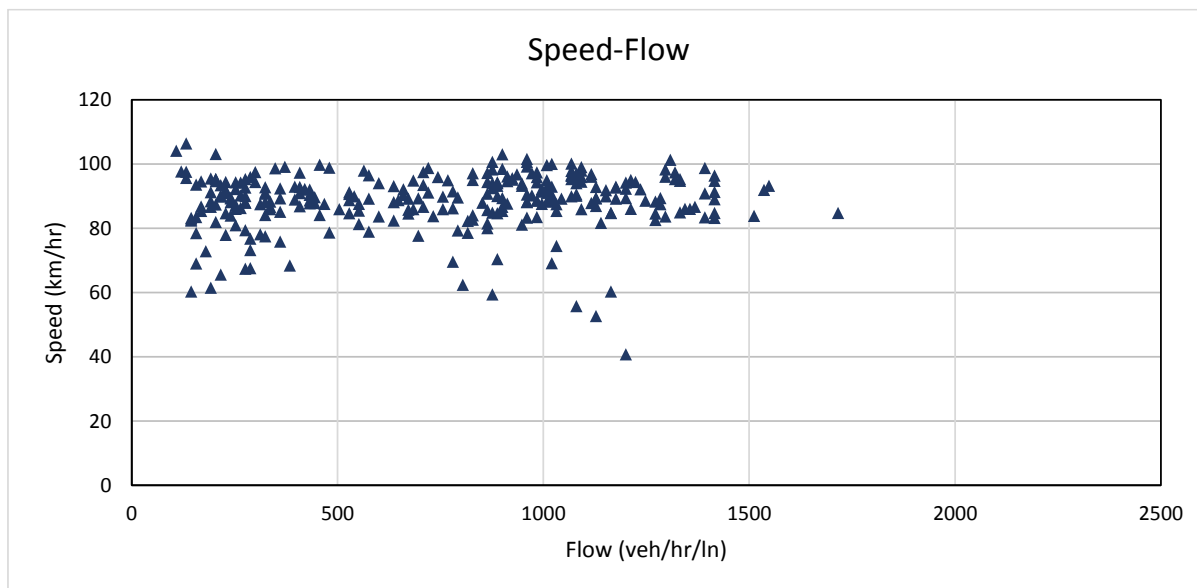
รูปที่ ง.10 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



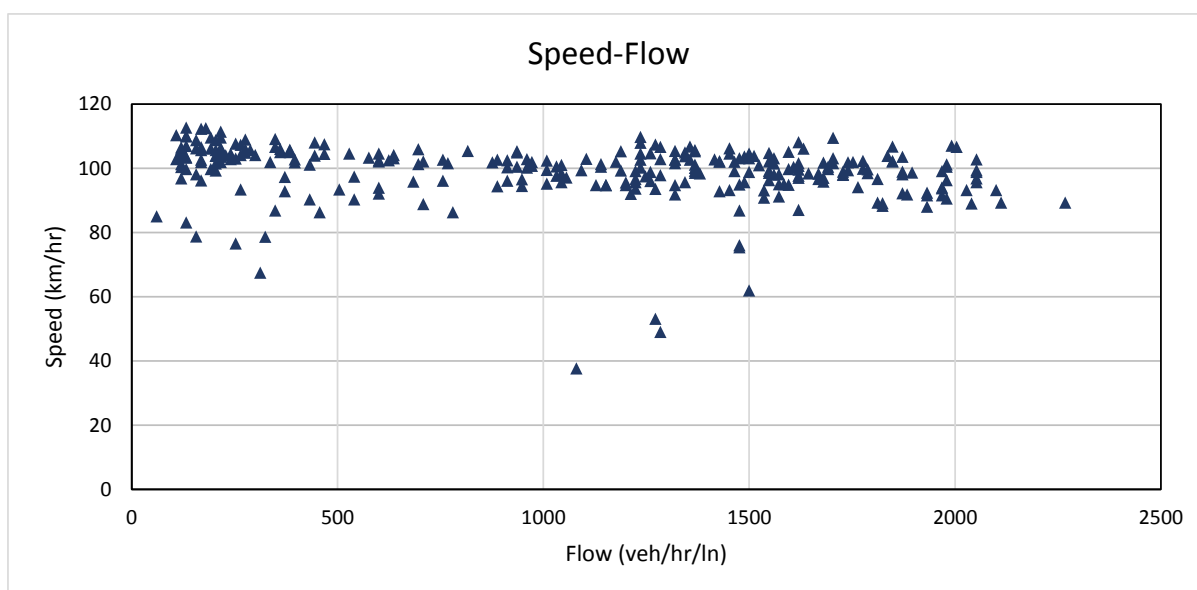
รูปที่ ง.11 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



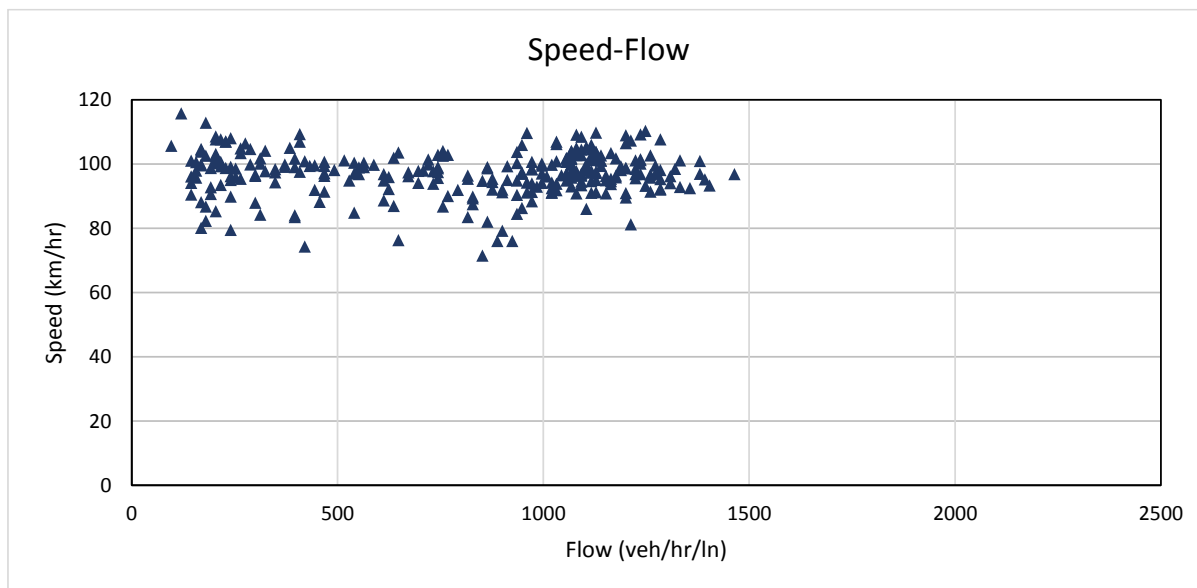
รูปที่ ง.12 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



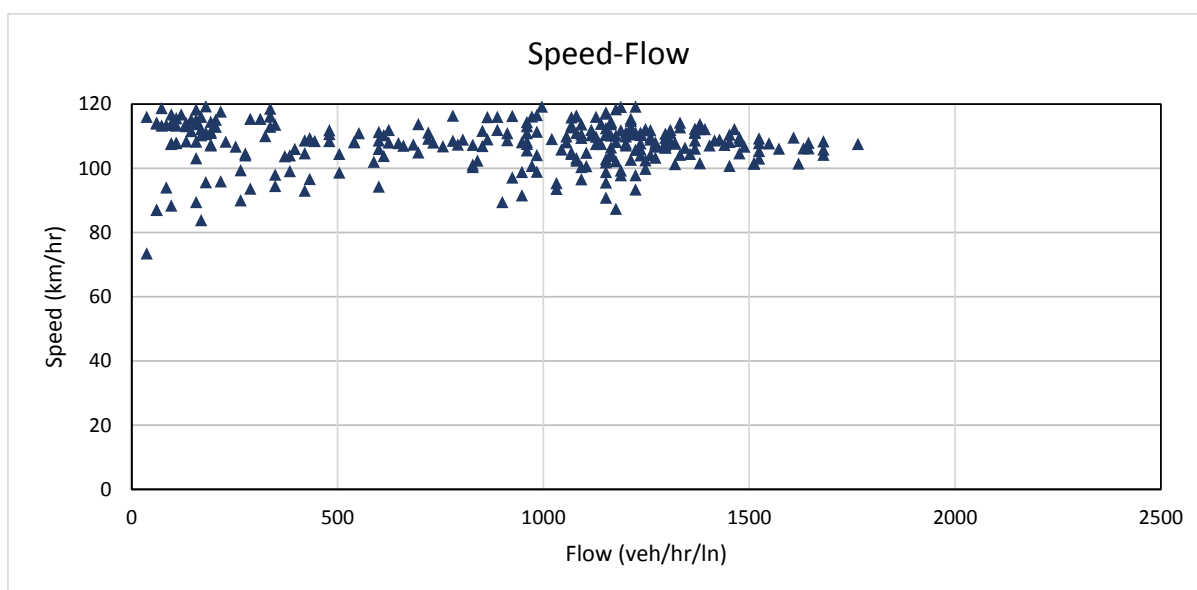
รูปที่ ง.13 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



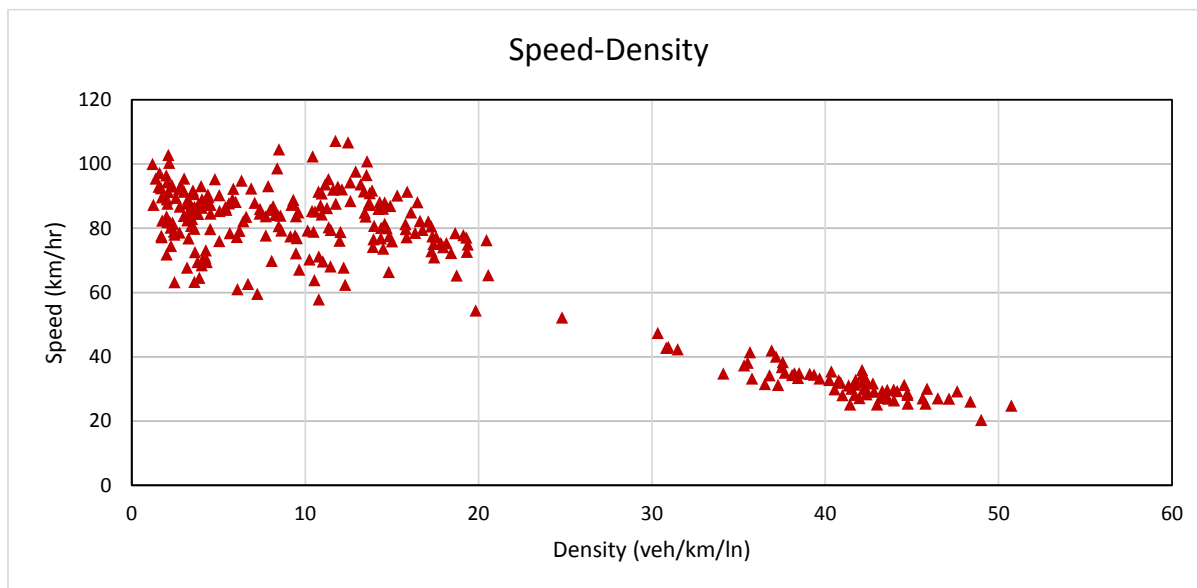
รูปที่ ง.14 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



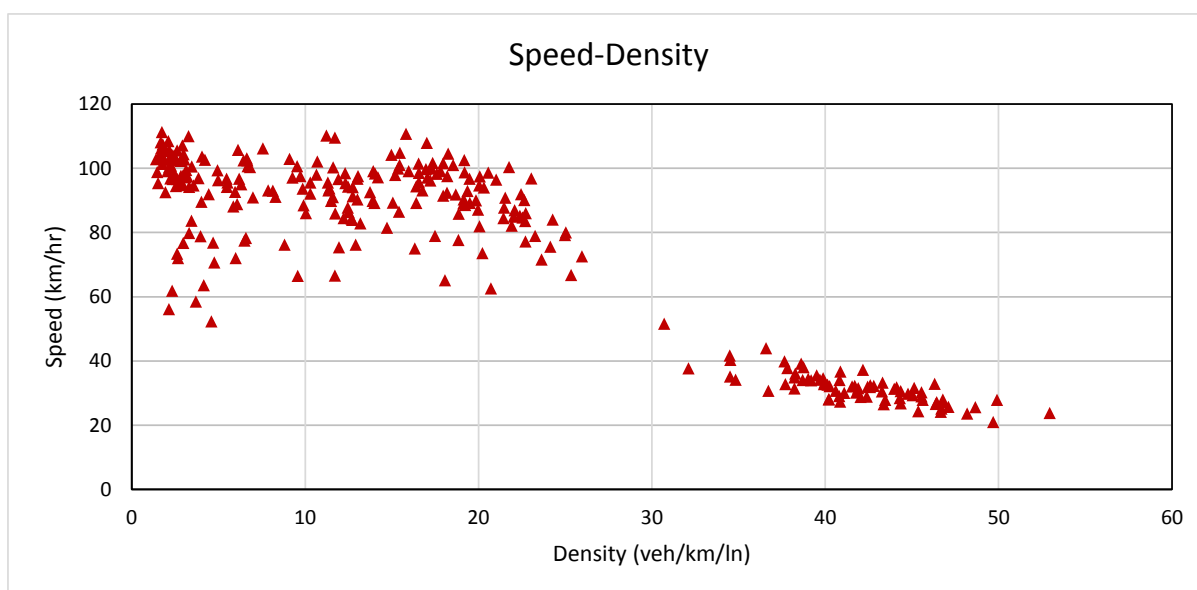
รูปที่ ง.15 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



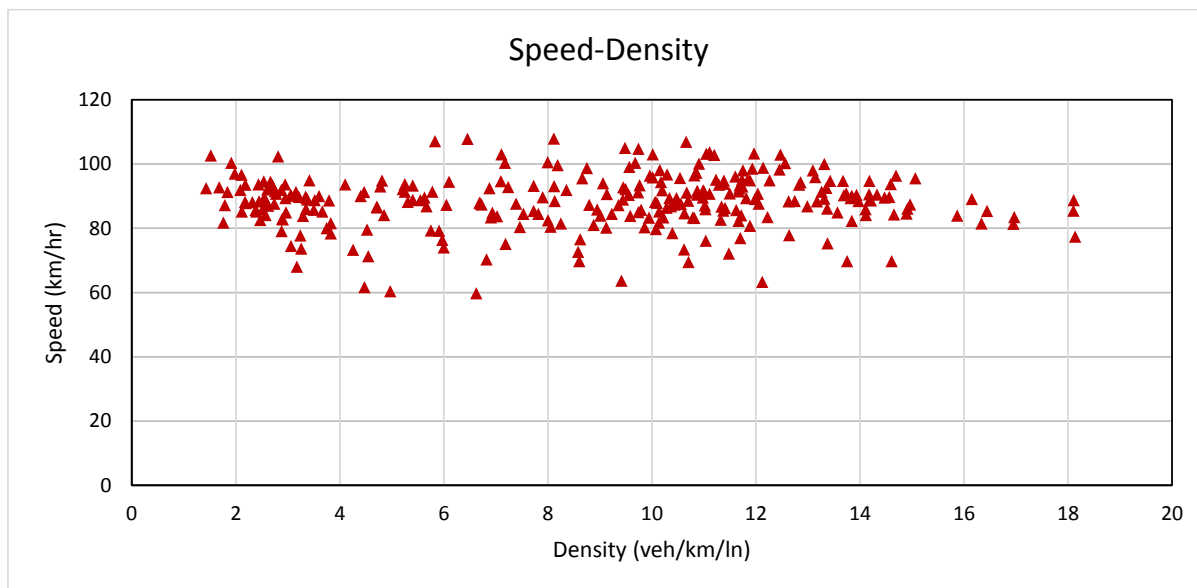
รูปที่ ง.16 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



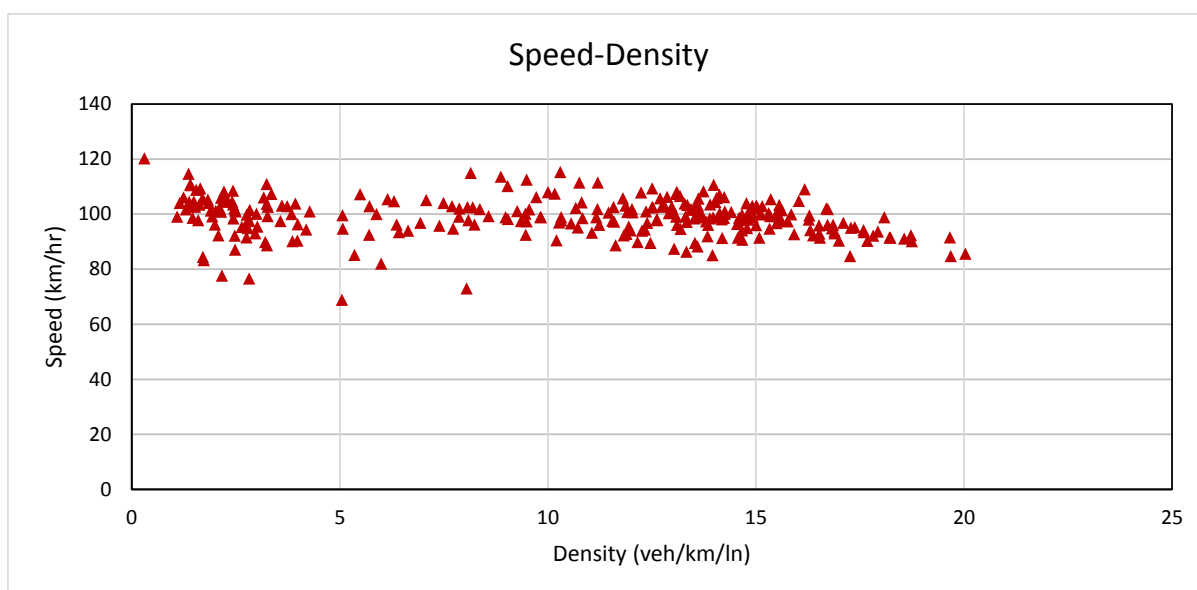
รูปที่ ง.17 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



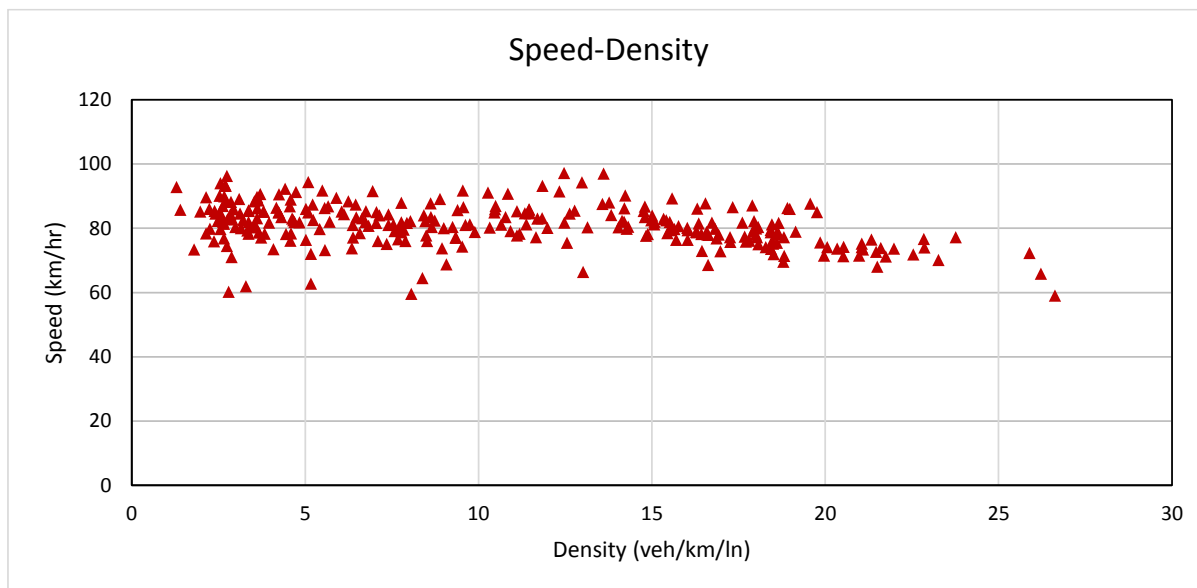
รูปที่ ง.18 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



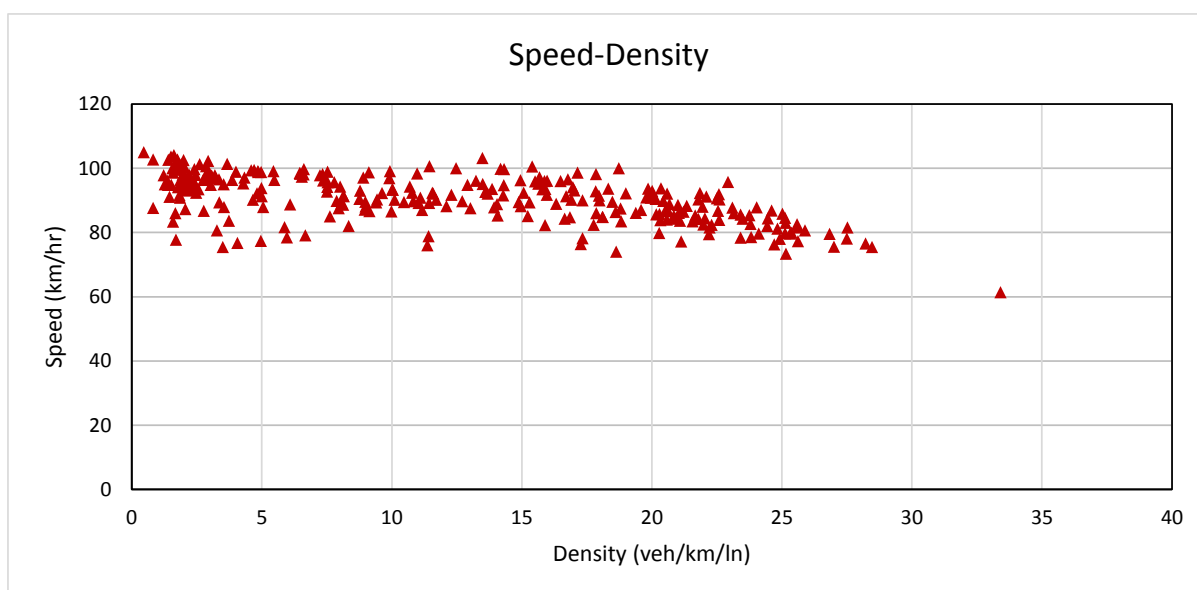
รูปที่ ง.19 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



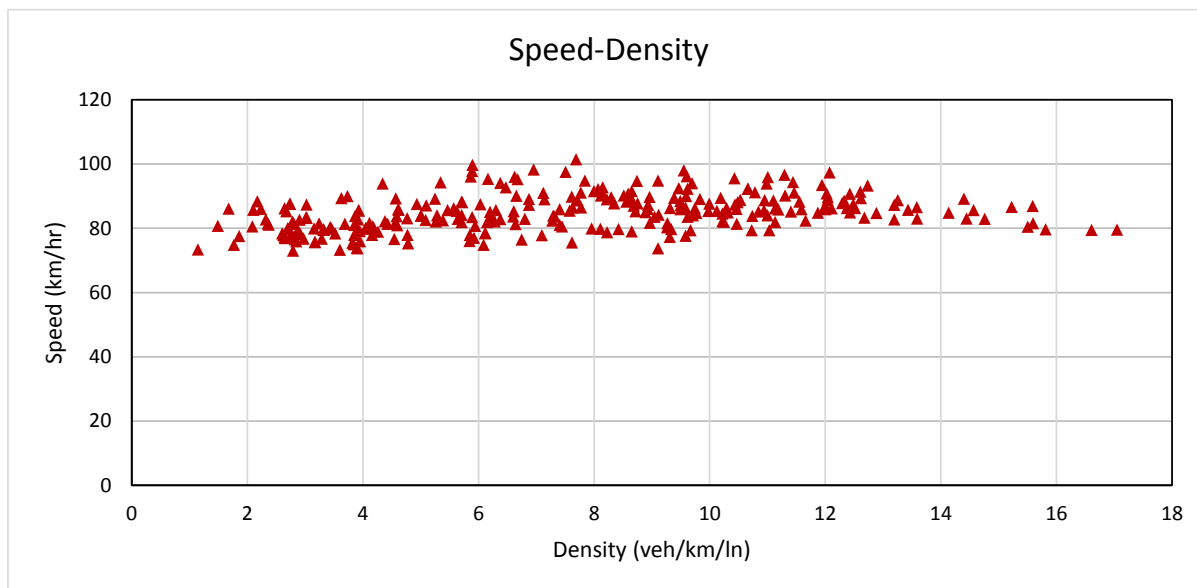
รูปที่ ง.20 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



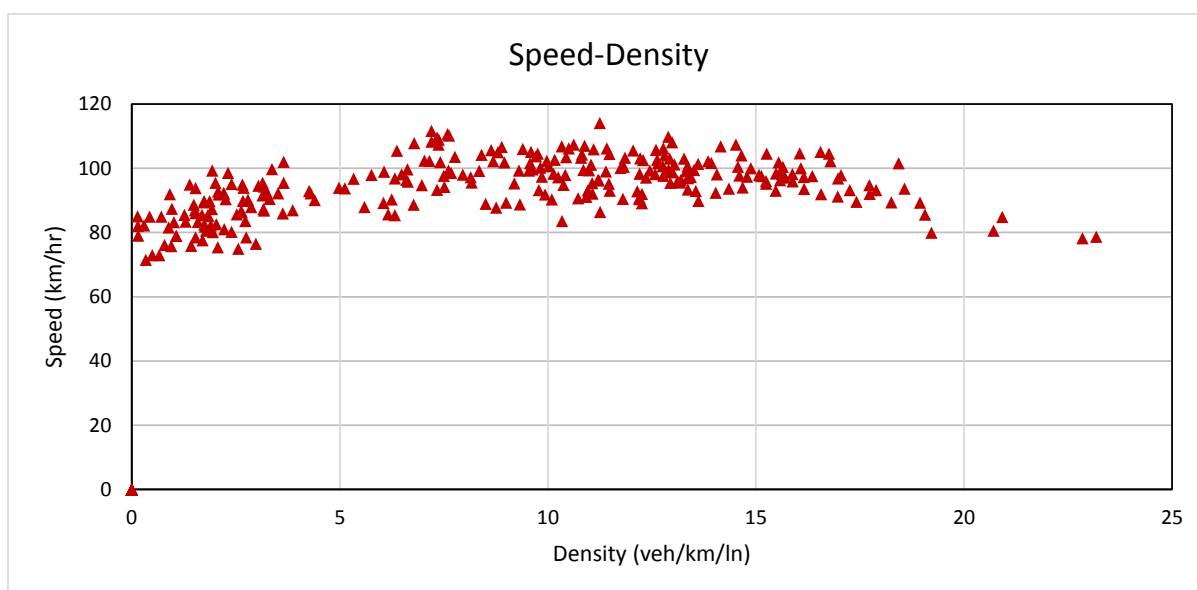
รูปที่ ง.21 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



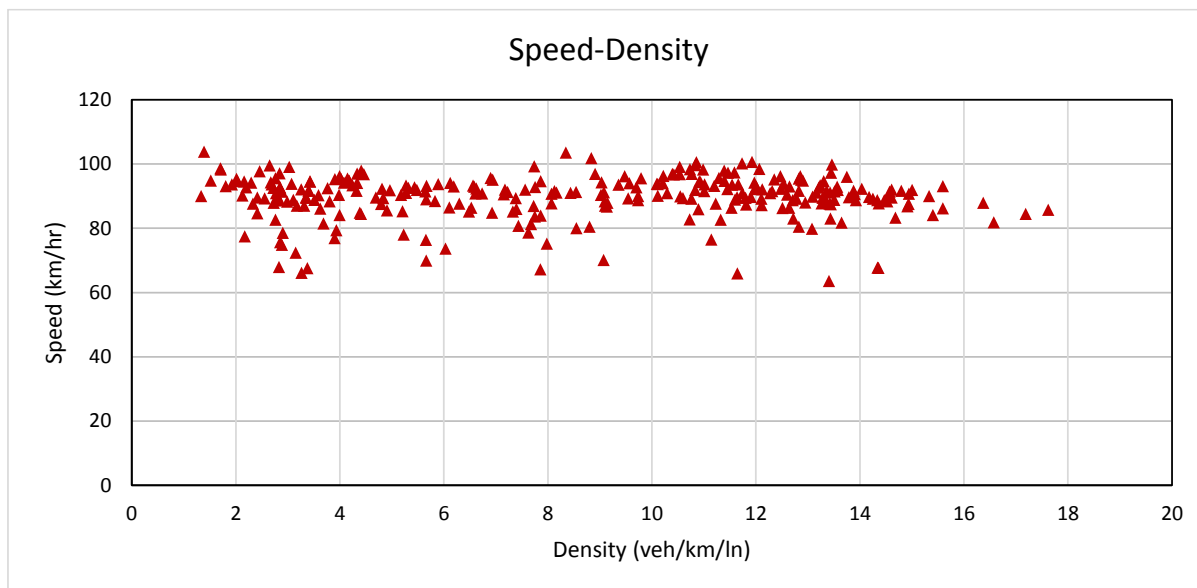
รูปที่ ง.22 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



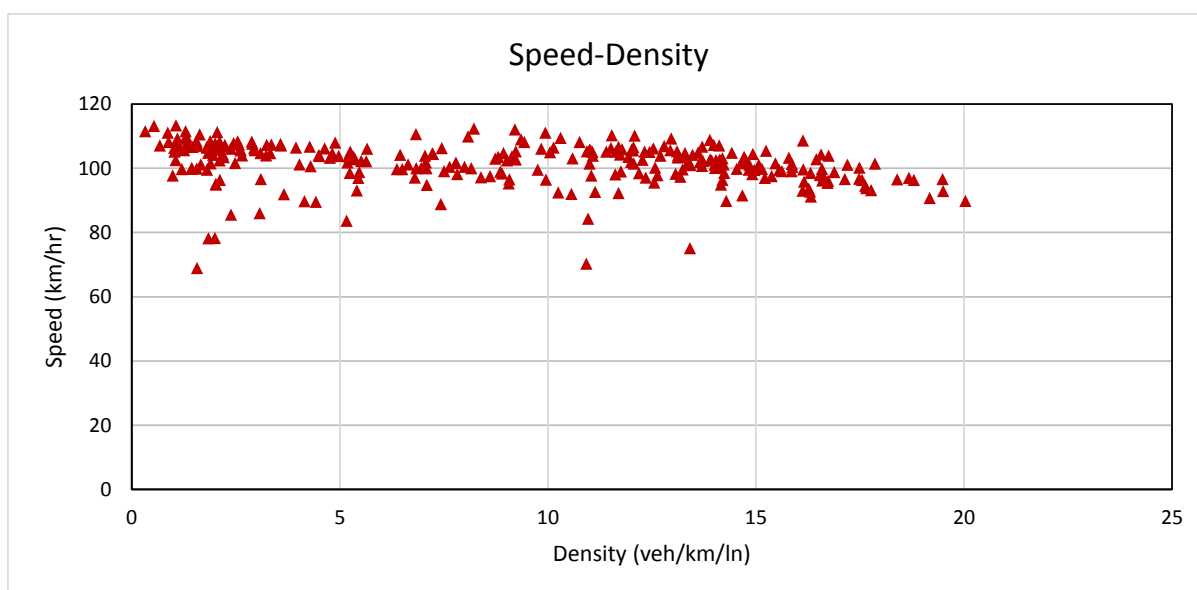
รูปที่ ง.23 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



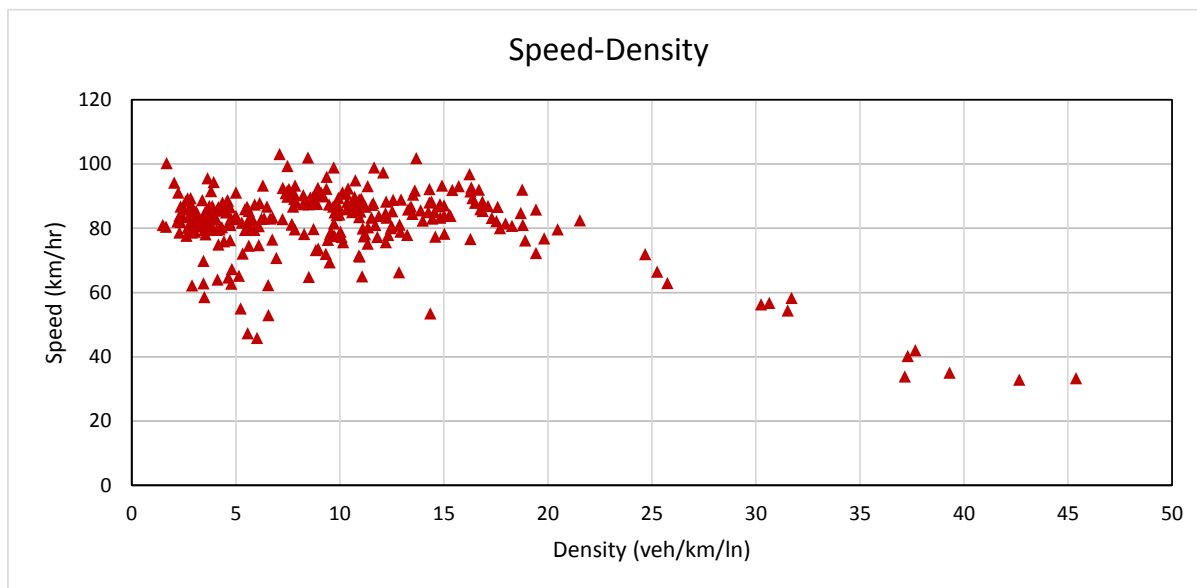
รูปที่ ง.24 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



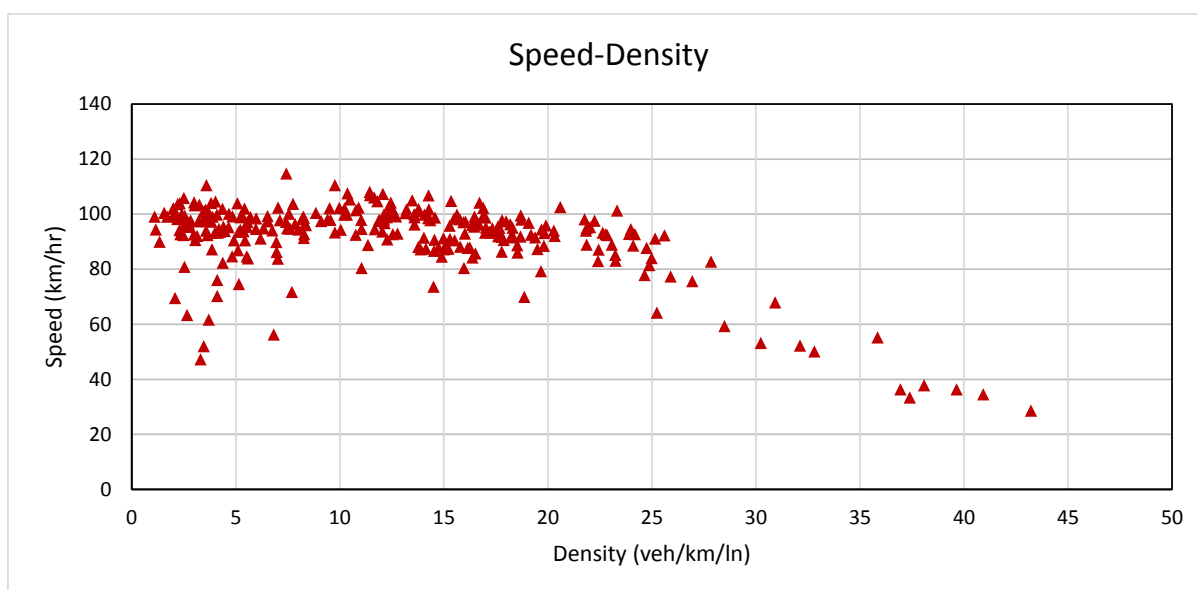
รูปที่ ง.25 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



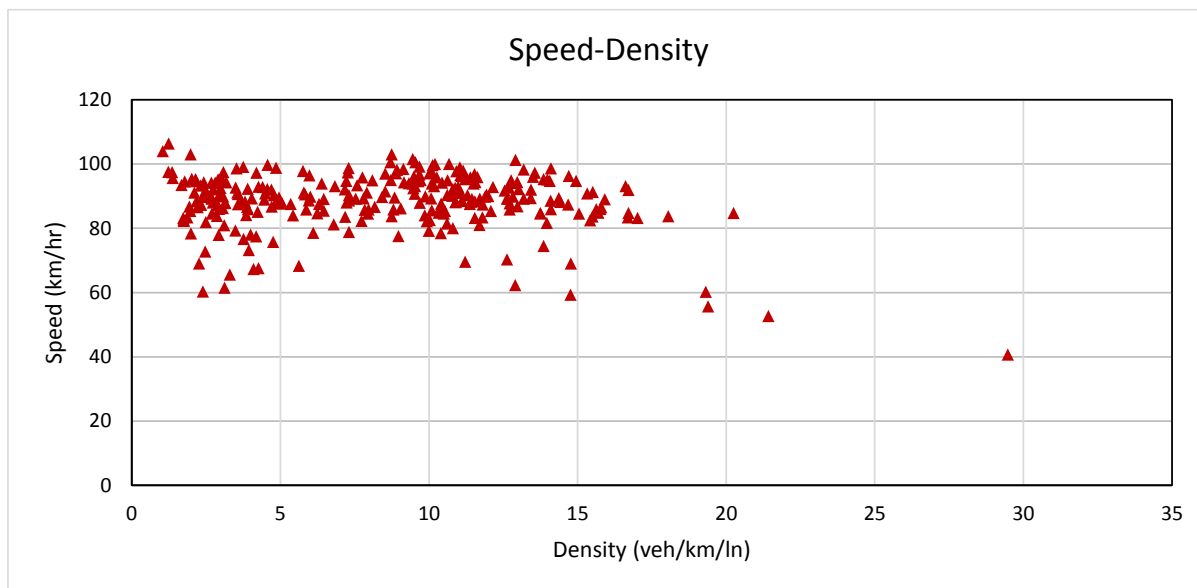
รูปที่ ง.26 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



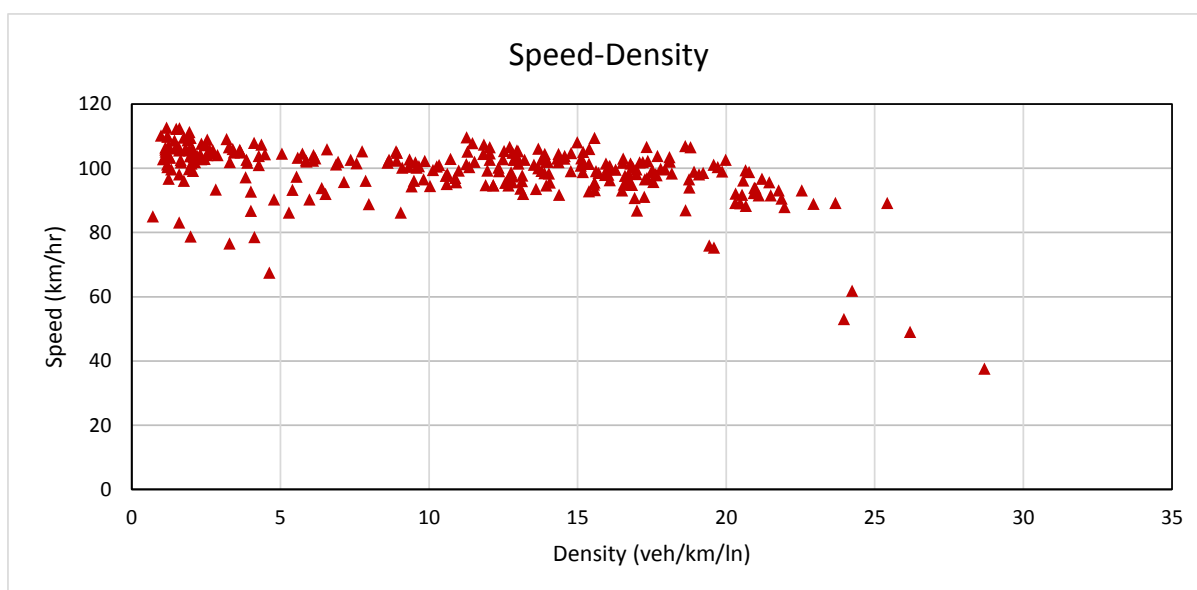
รูปที่ ง.27 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



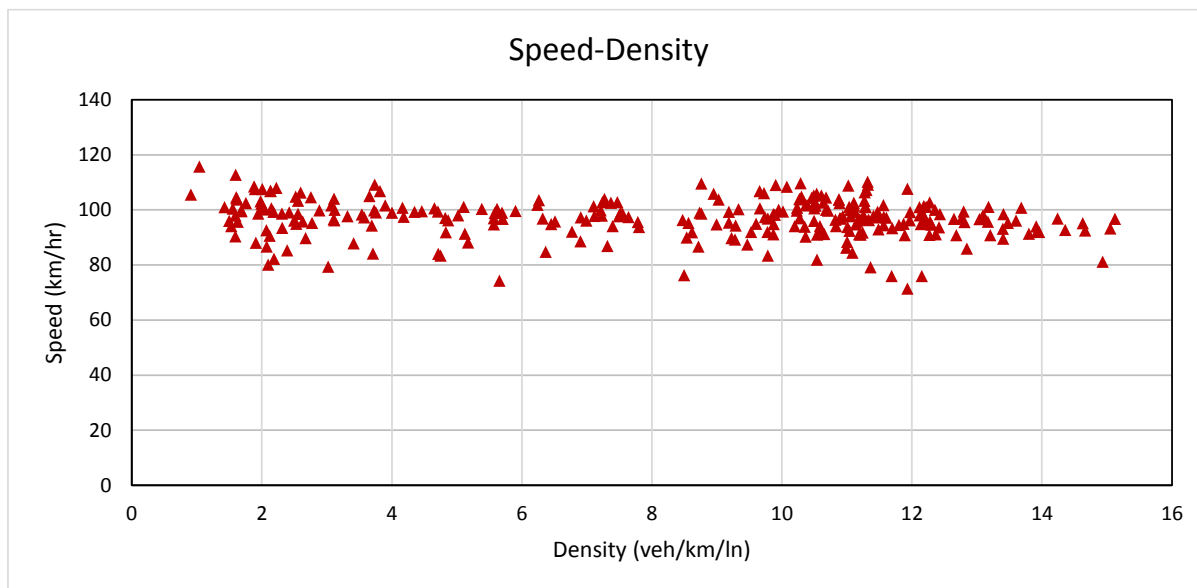
รูปที่ ง.28 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



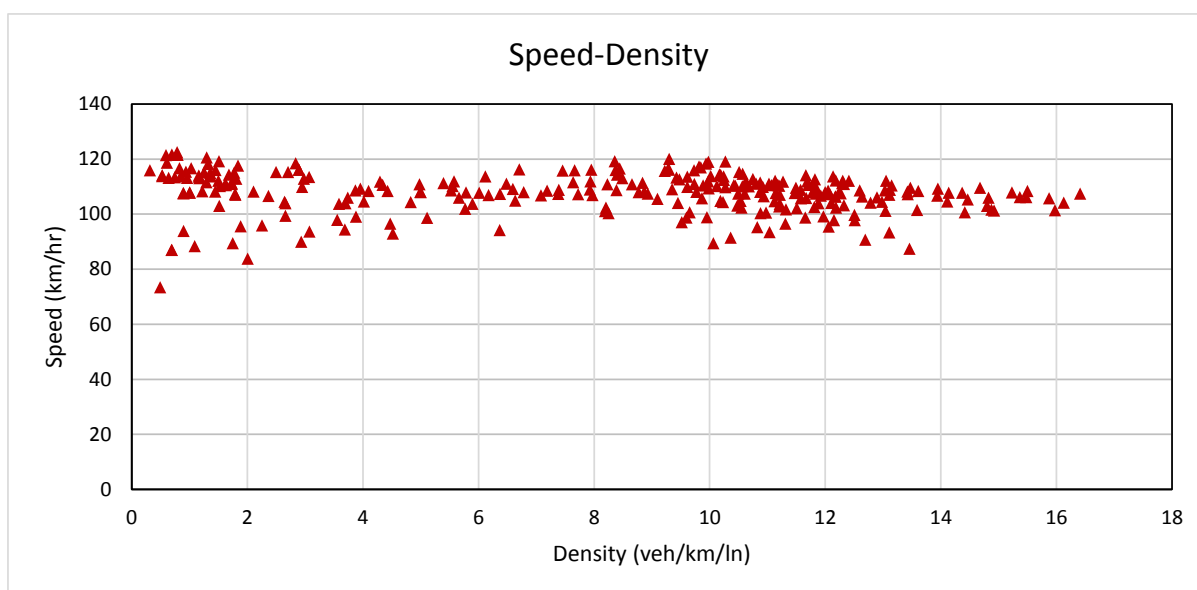
รูปที่ ง.29 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ ง.30 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



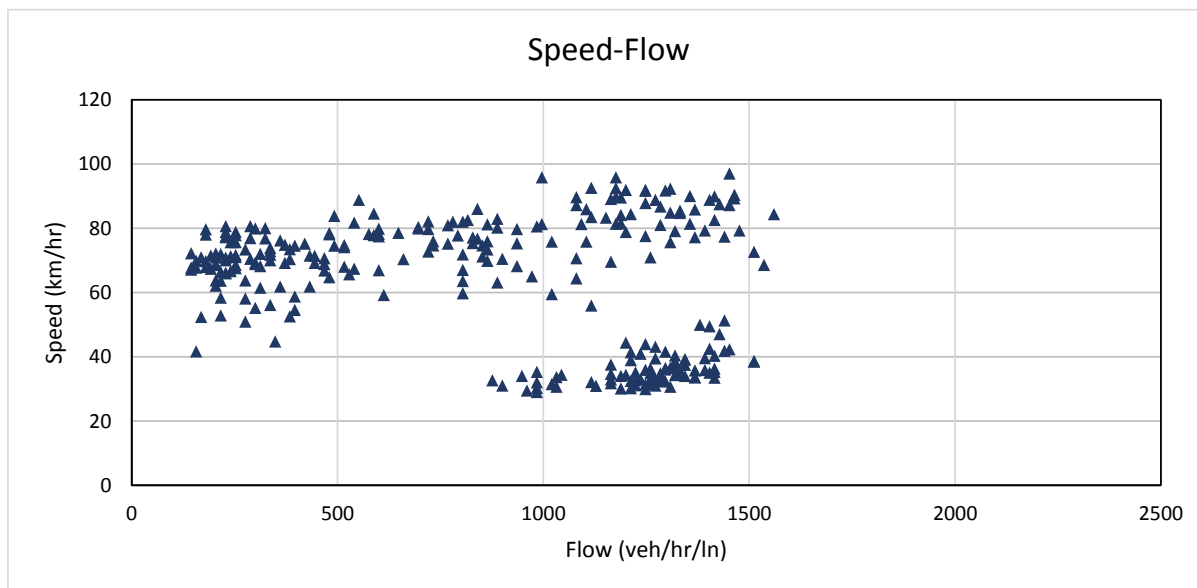
รูปที่ ง.31 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



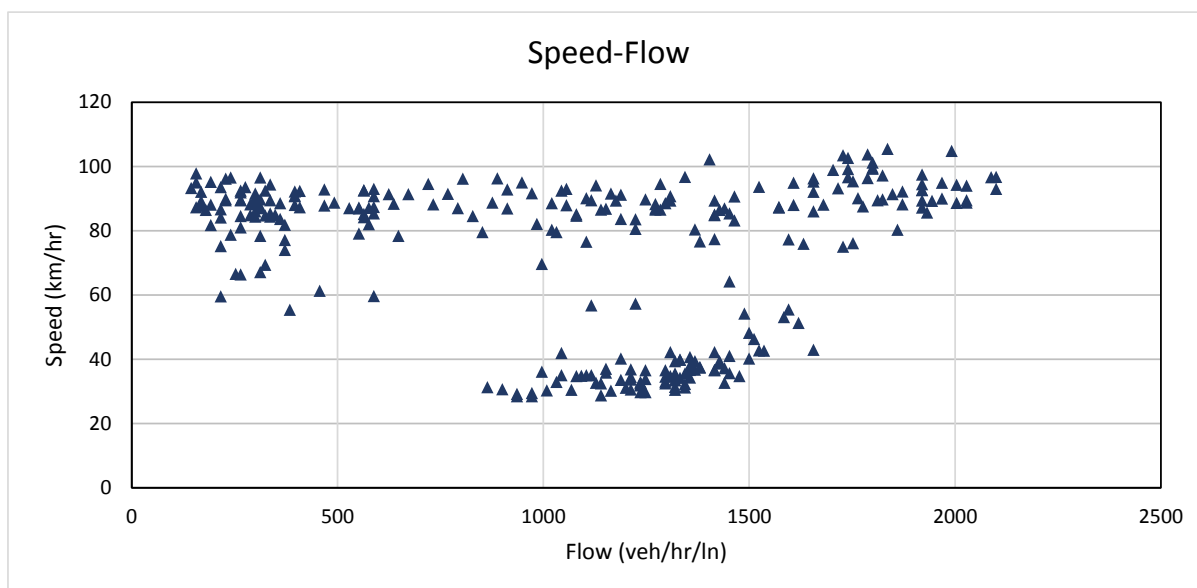
รูปที่ ง.32 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ภาคผนวก จ

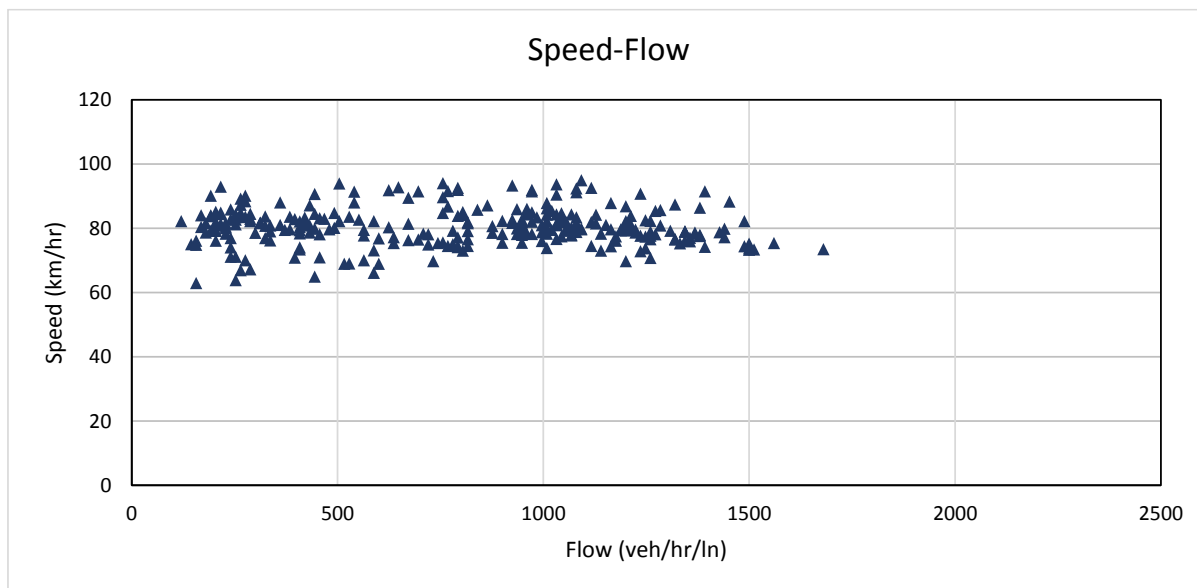
ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น
ในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” 2 เดือน



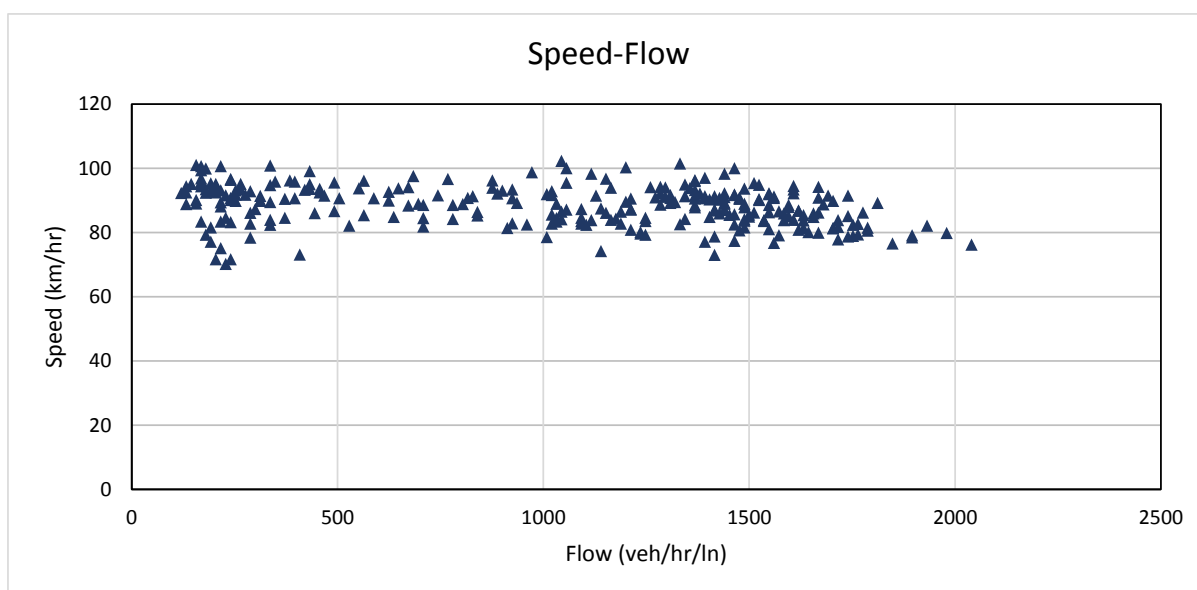
รูปที่ จ.1 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



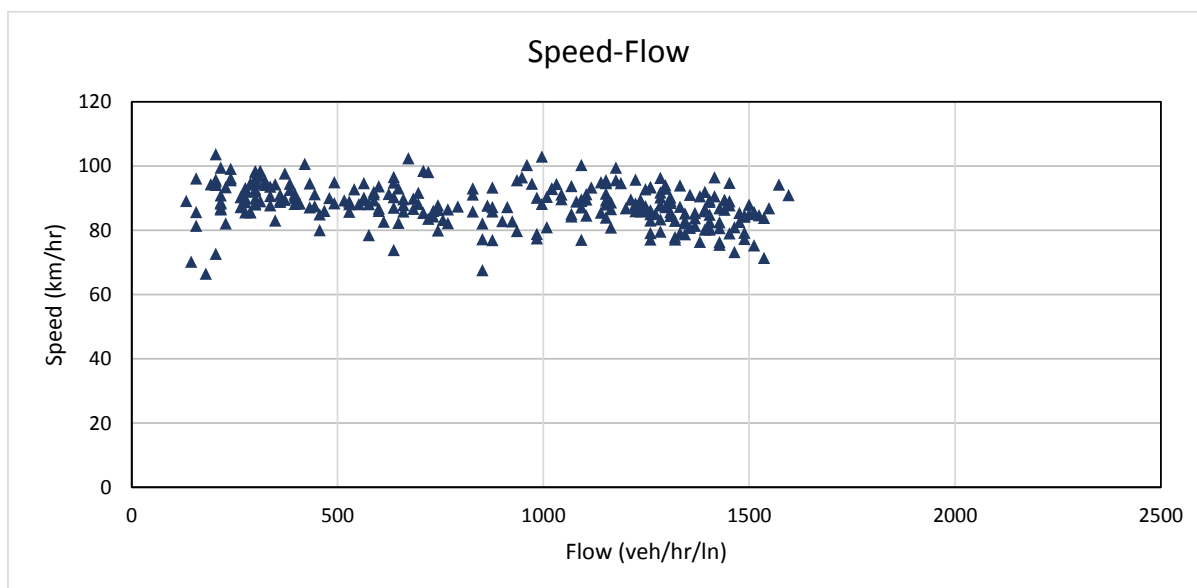
รูปที่ จ.2 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



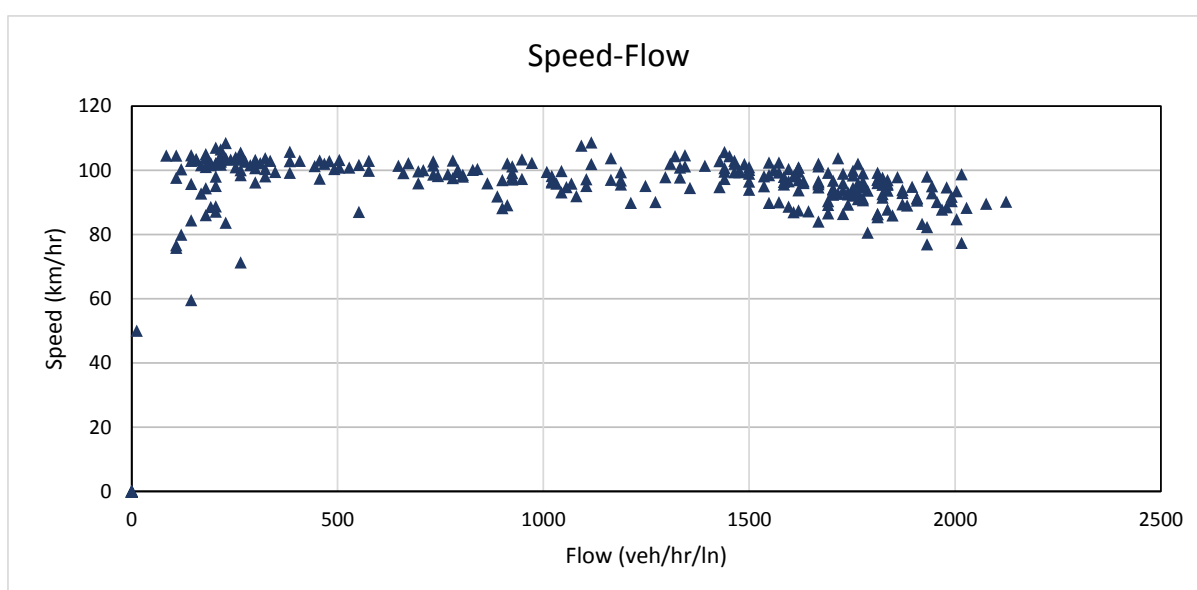
รูปที่ จ.3 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



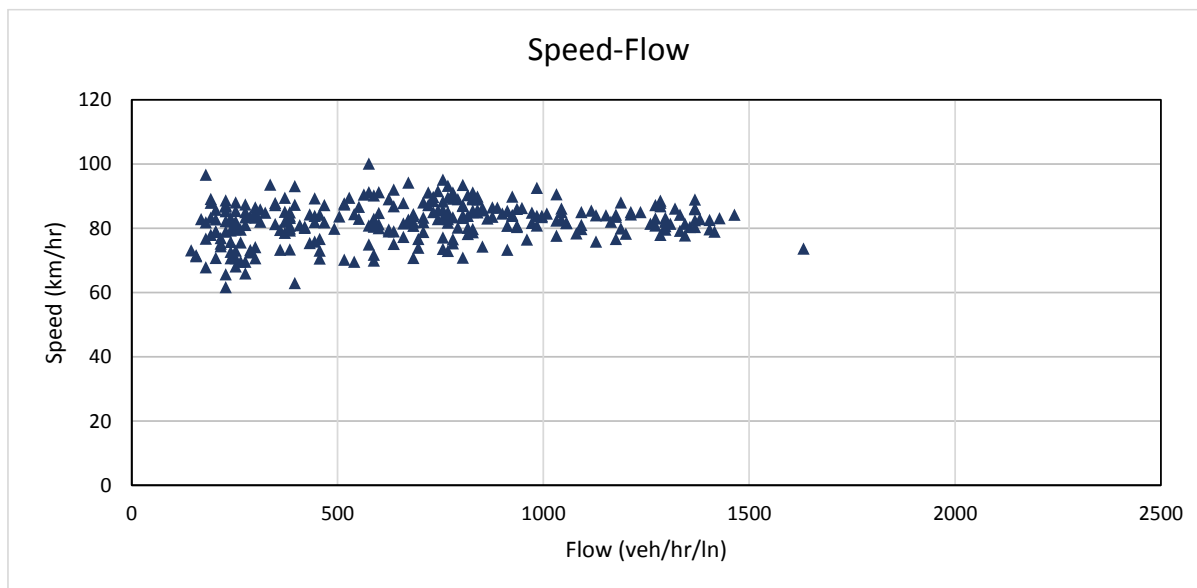
รูปที่ จ.4 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



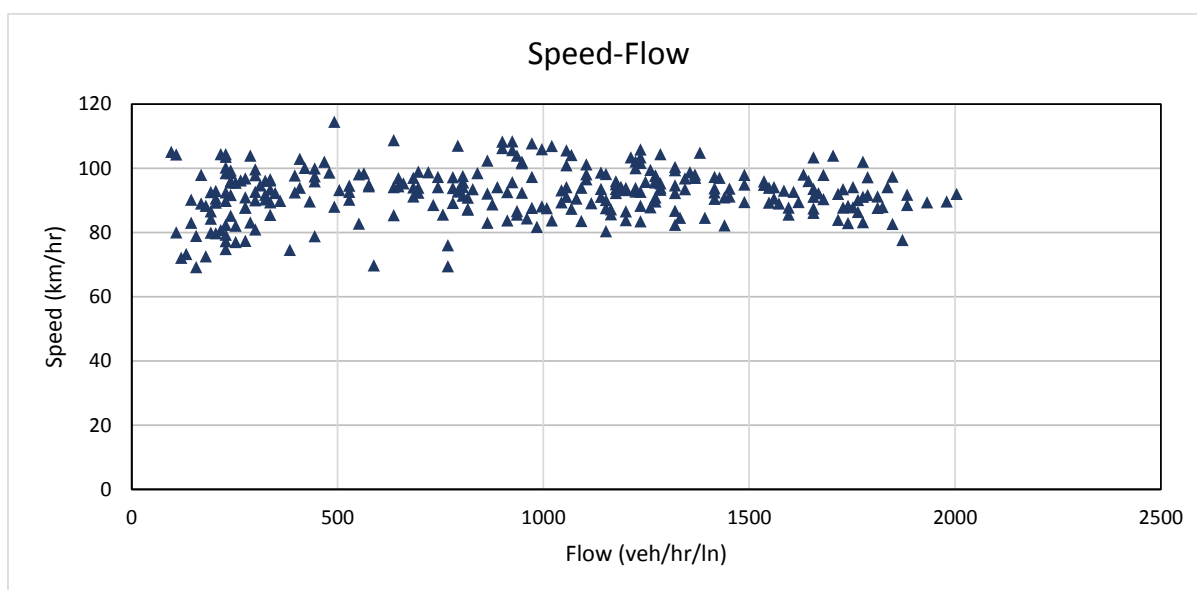
รูปที่ จ.5 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



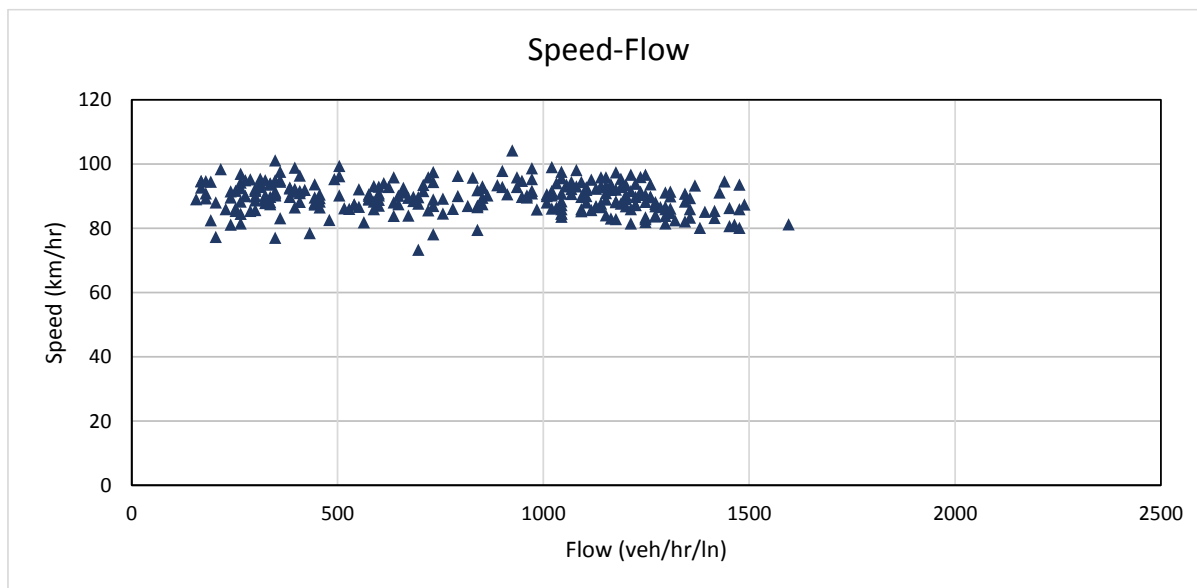
รูปที่ จ.6 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



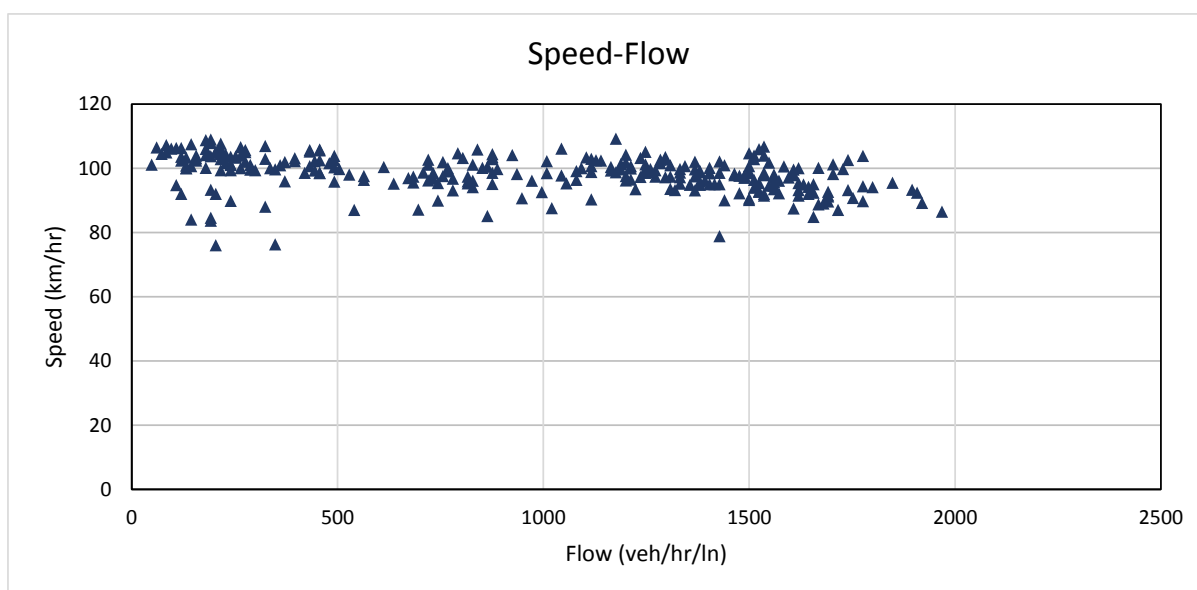
รูปที่ จ.7 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



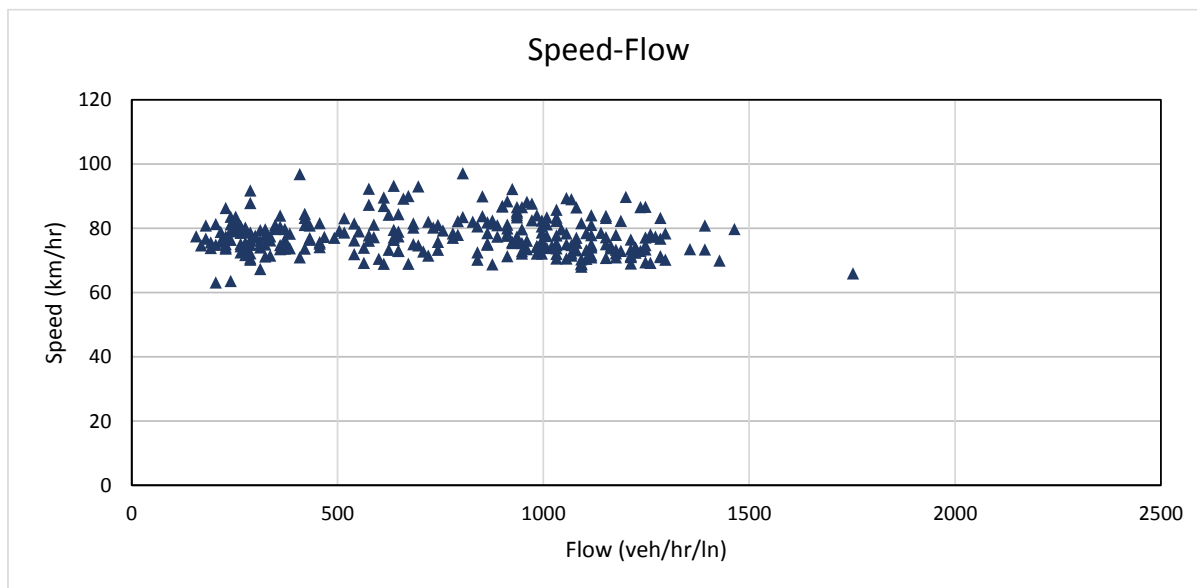
รูปที่ จ.8 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



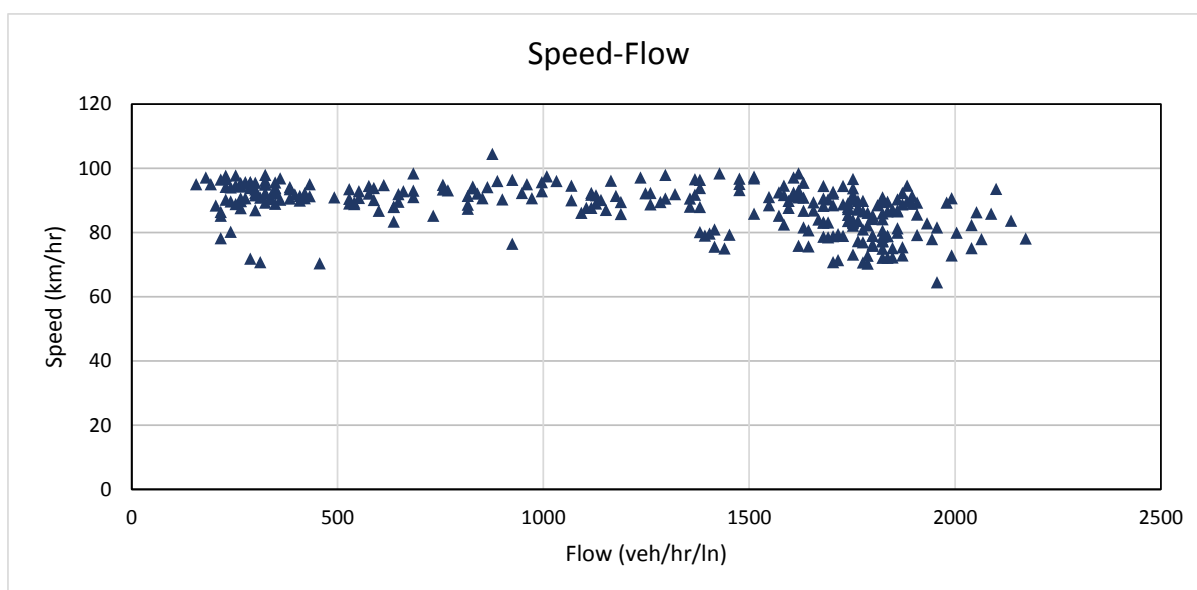
รูปที่ จ.9 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



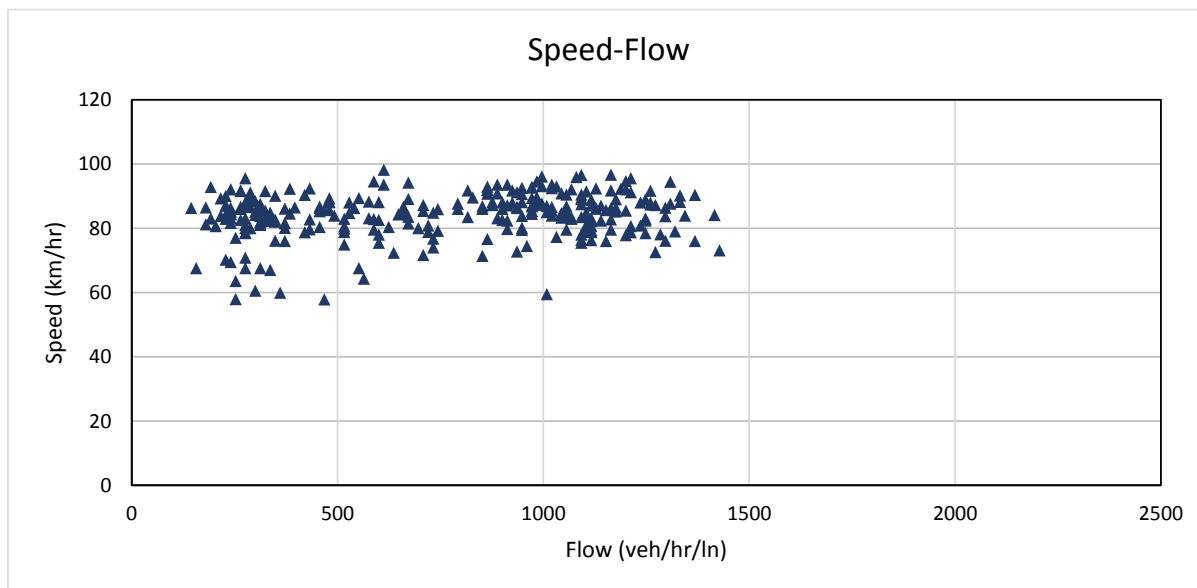
รูปที่ จ.10 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



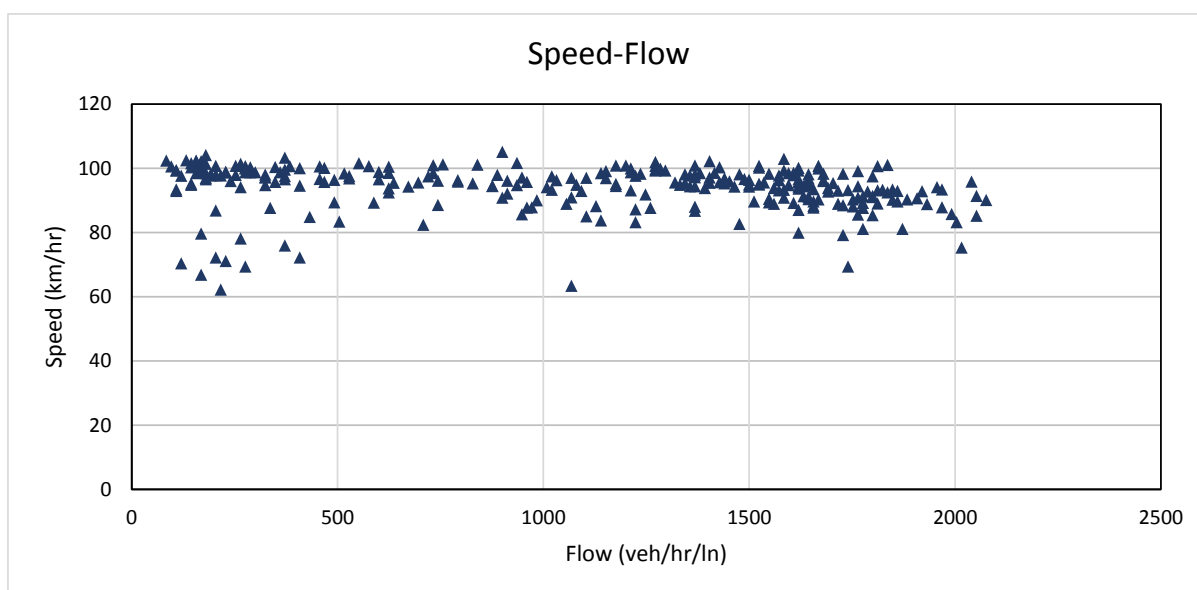
รูปที่ จ.11 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



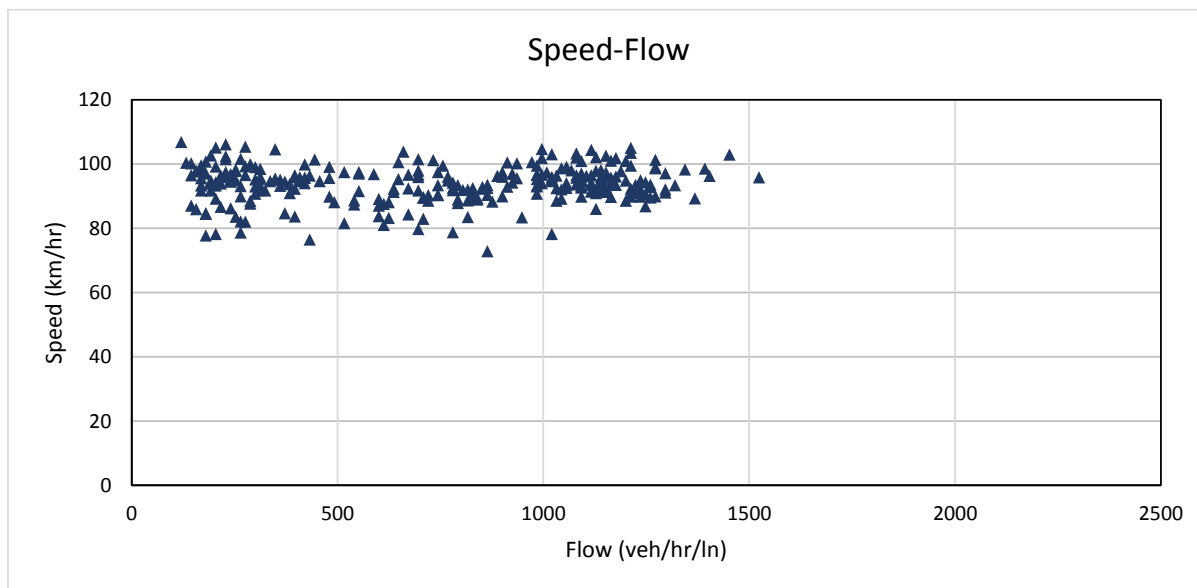
รูปที่ จ.12 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



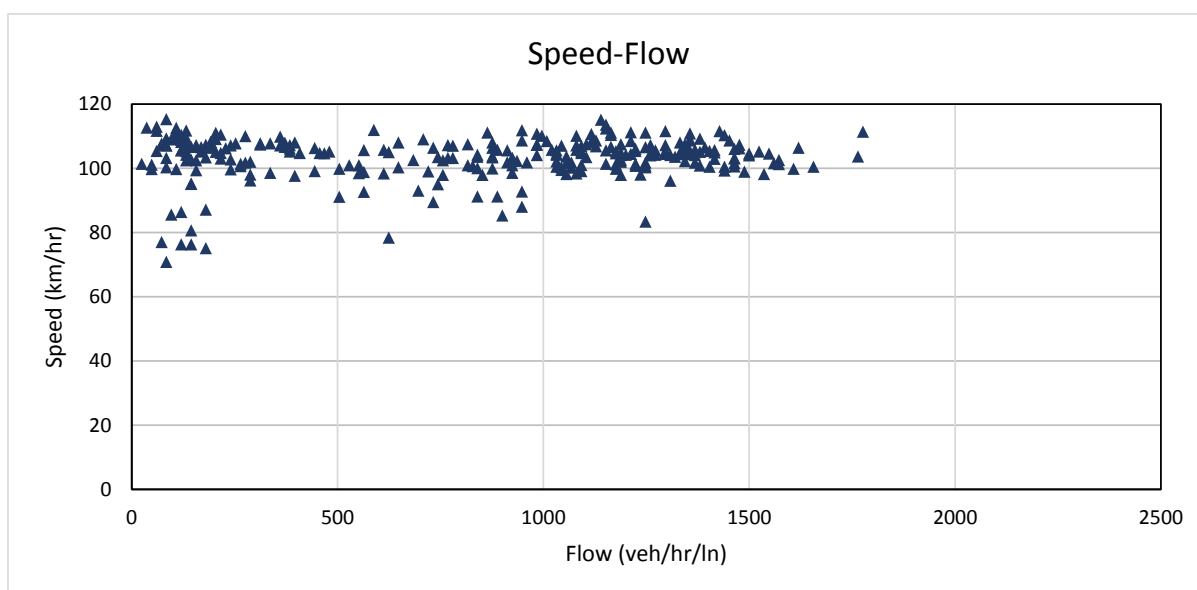
รูปที่ จ.13 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



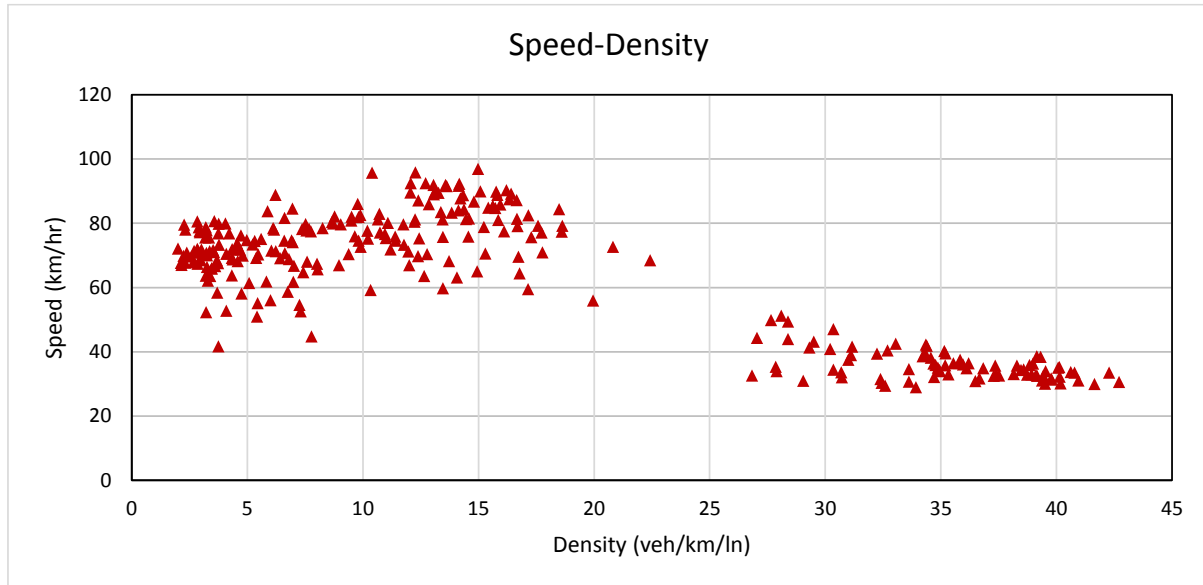
รูปที่ จ.14 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



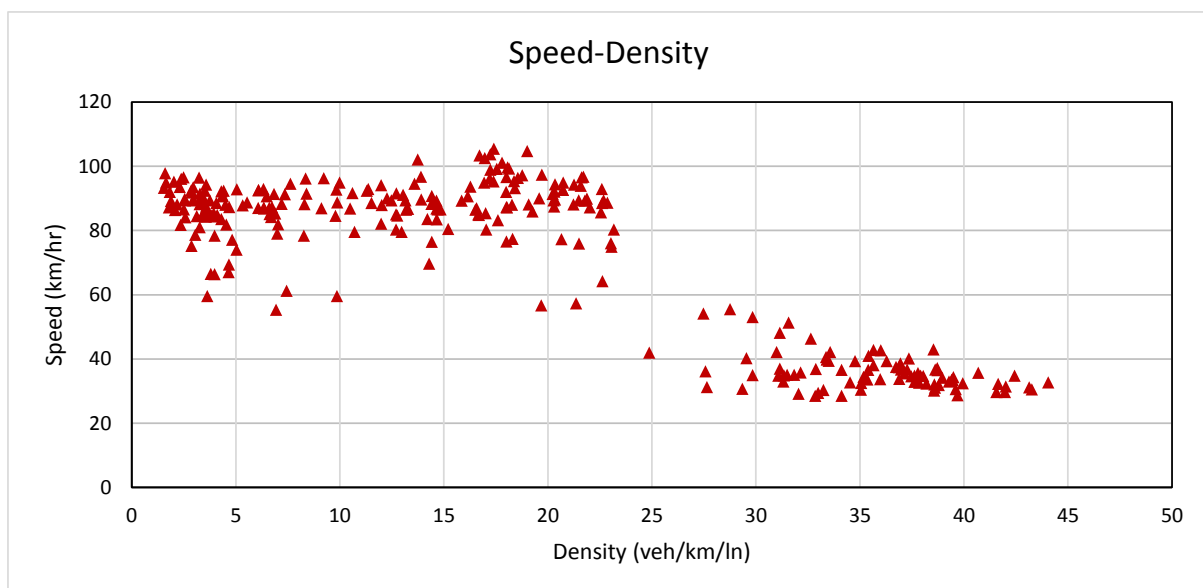
รูปที่ จ.15 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



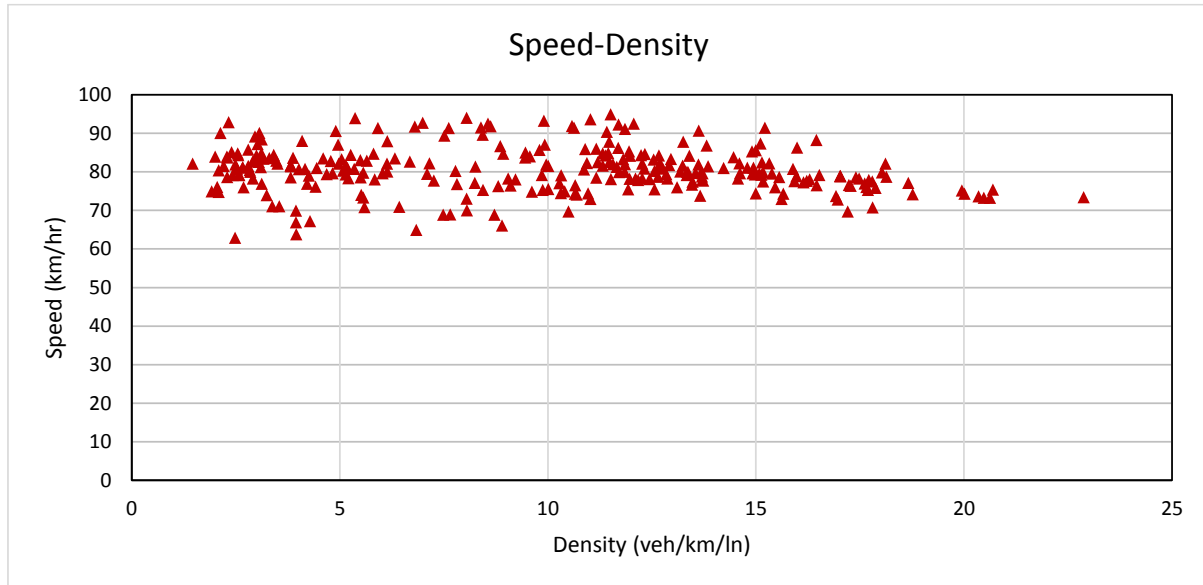
รูปที่ จ.16 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



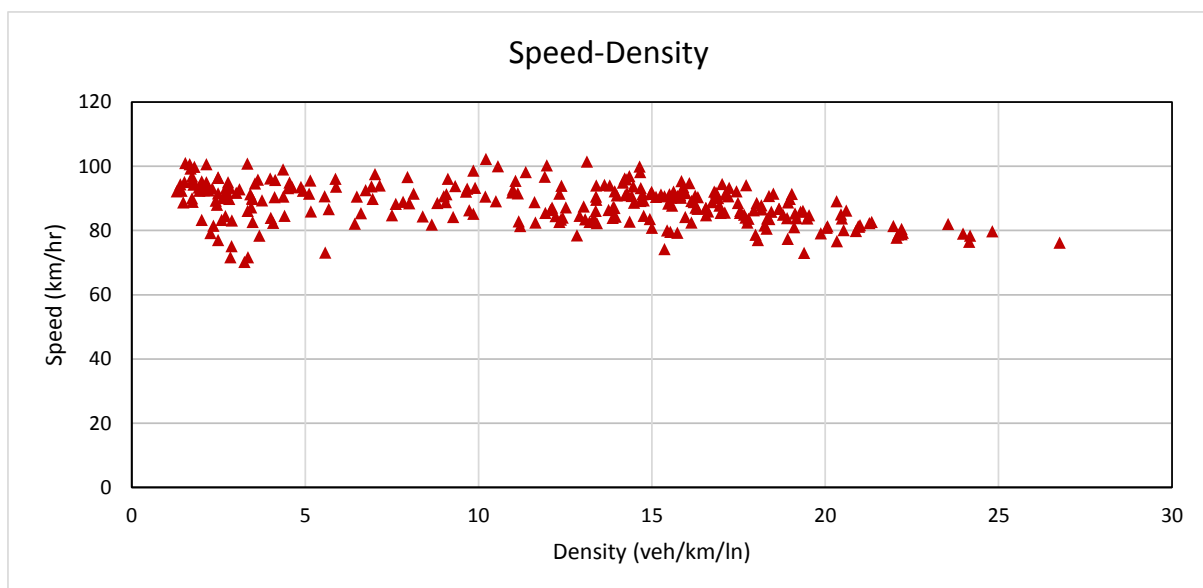
รูปที่ จ.17 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



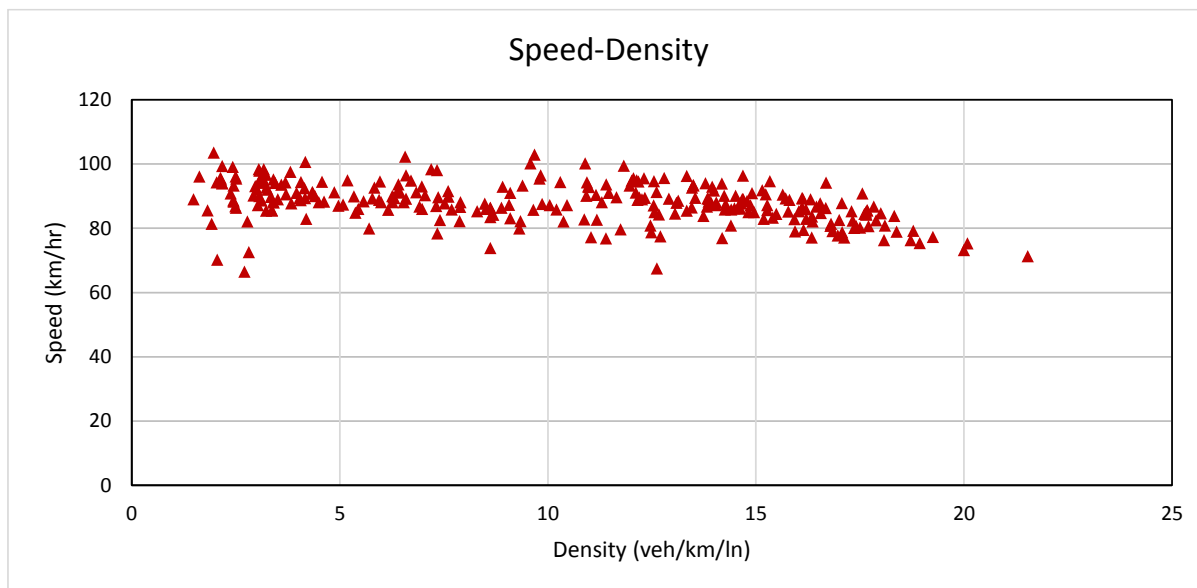
รูปที่ จ.18 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



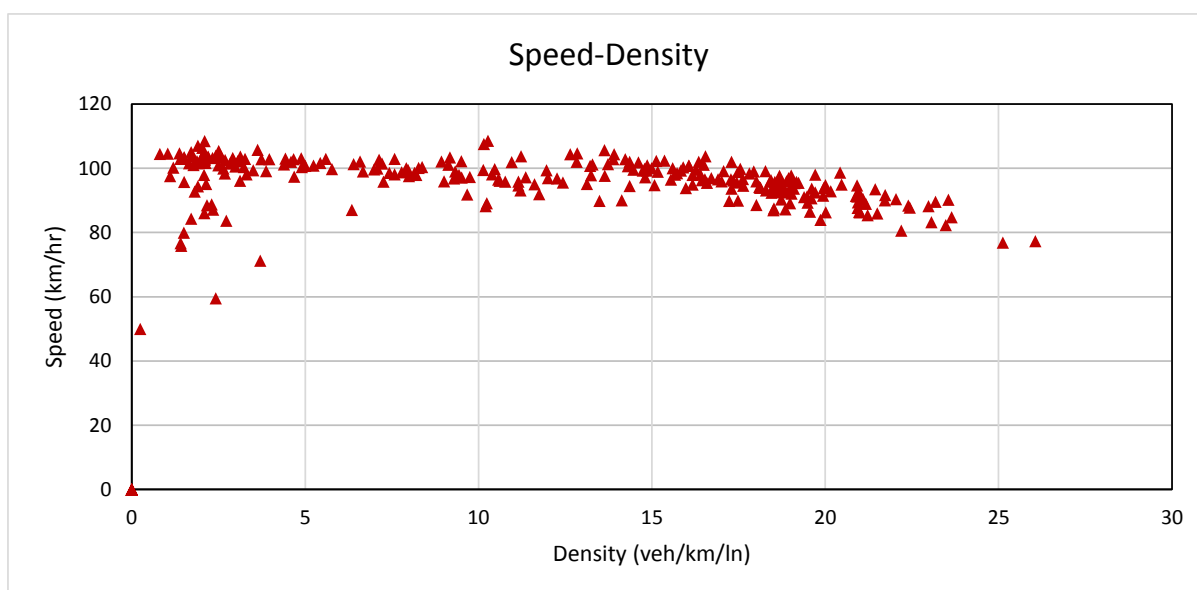
รูปที่ จ.19 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



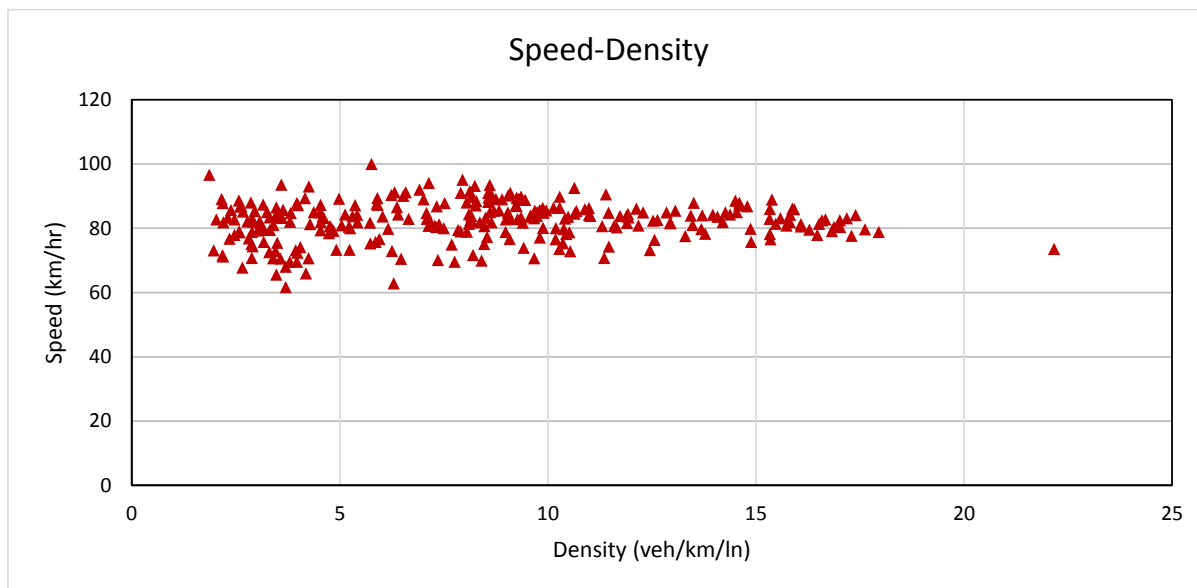
รูปที่ จ.20 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



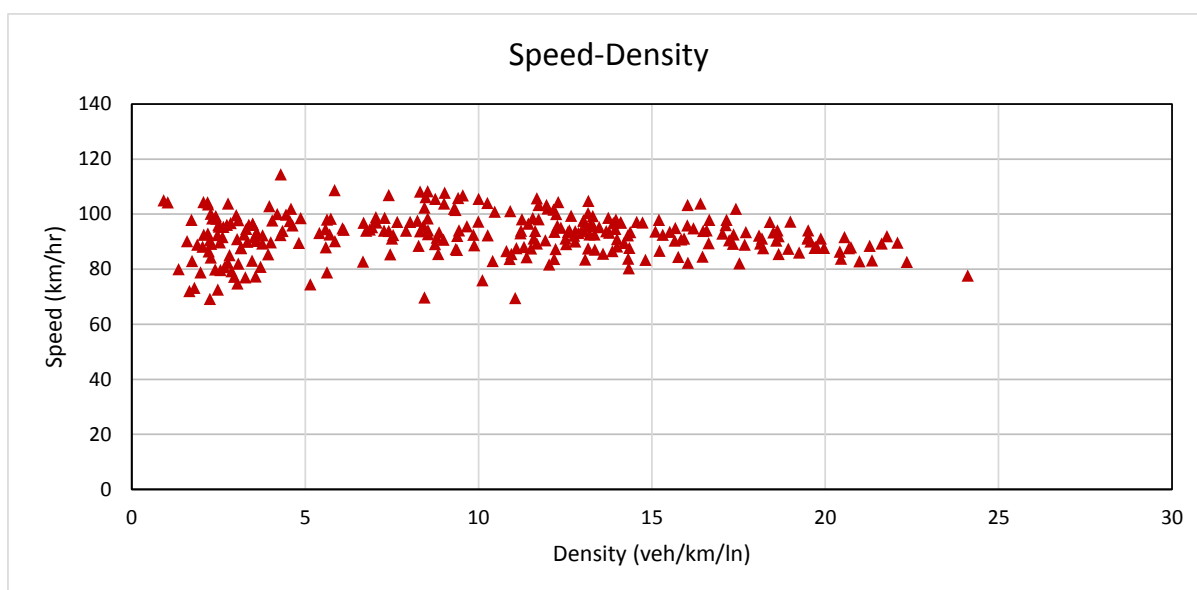
รูปที่ จ.21 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



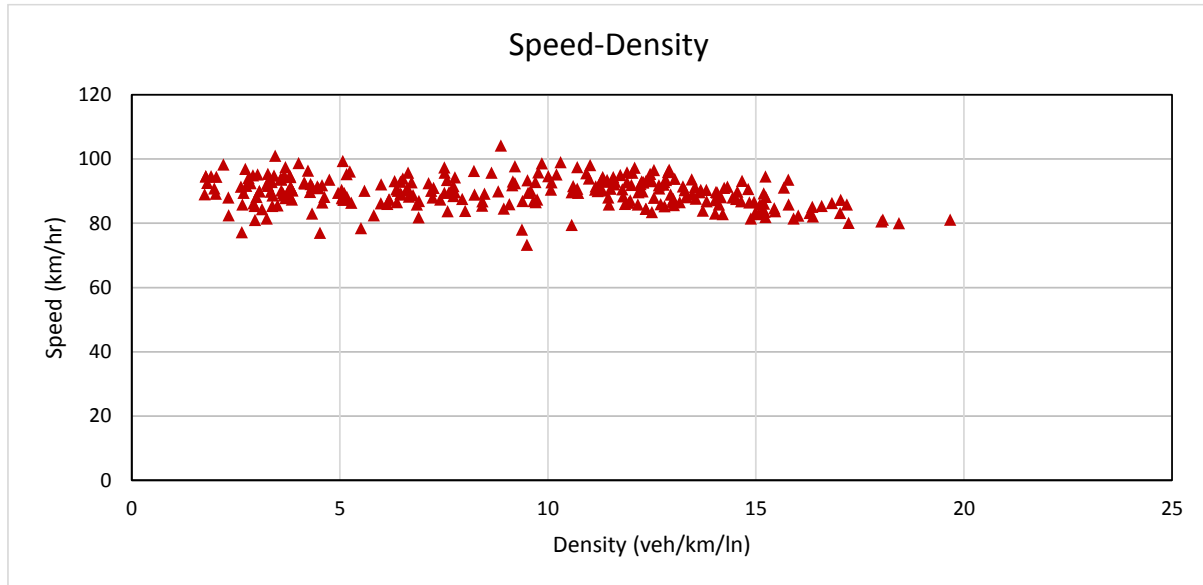
รูปที่ จ.22 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



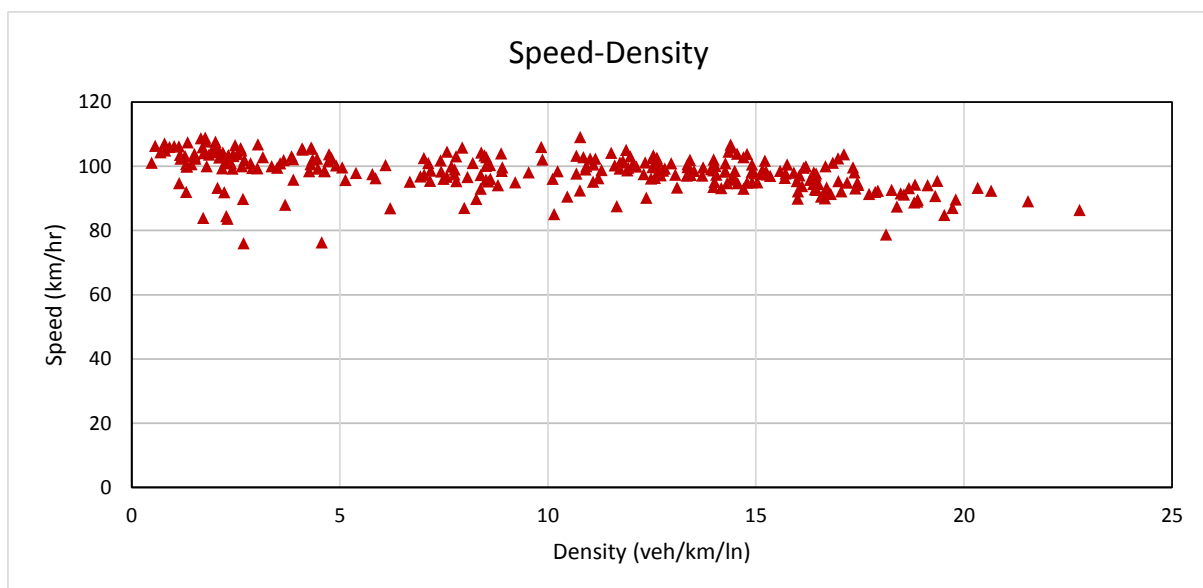
รูปที่ จ.23 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



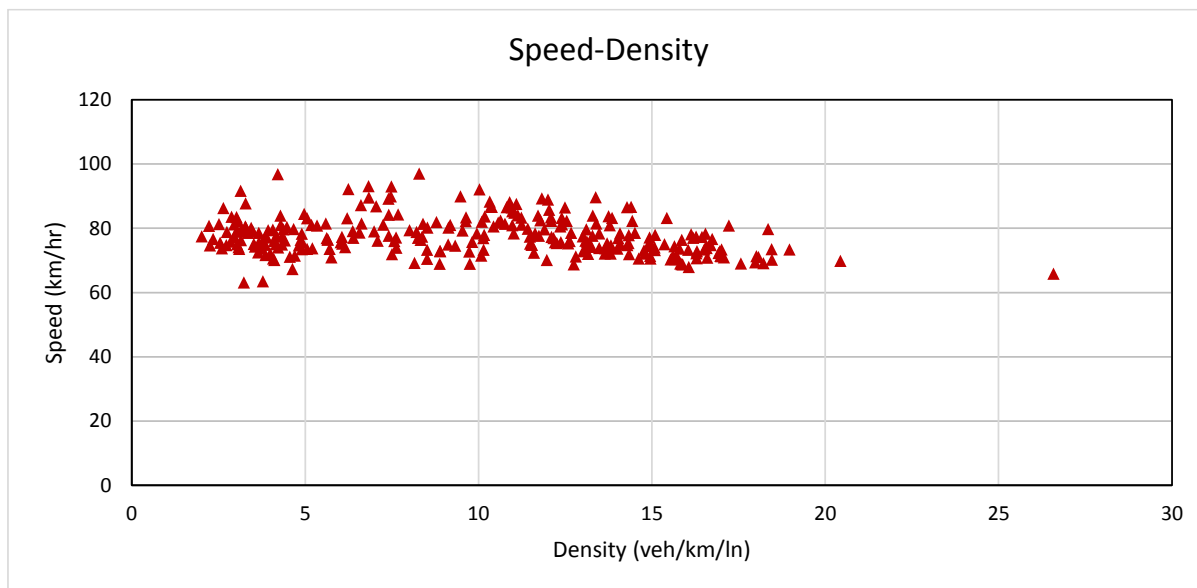
รูปที่ จ.24 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



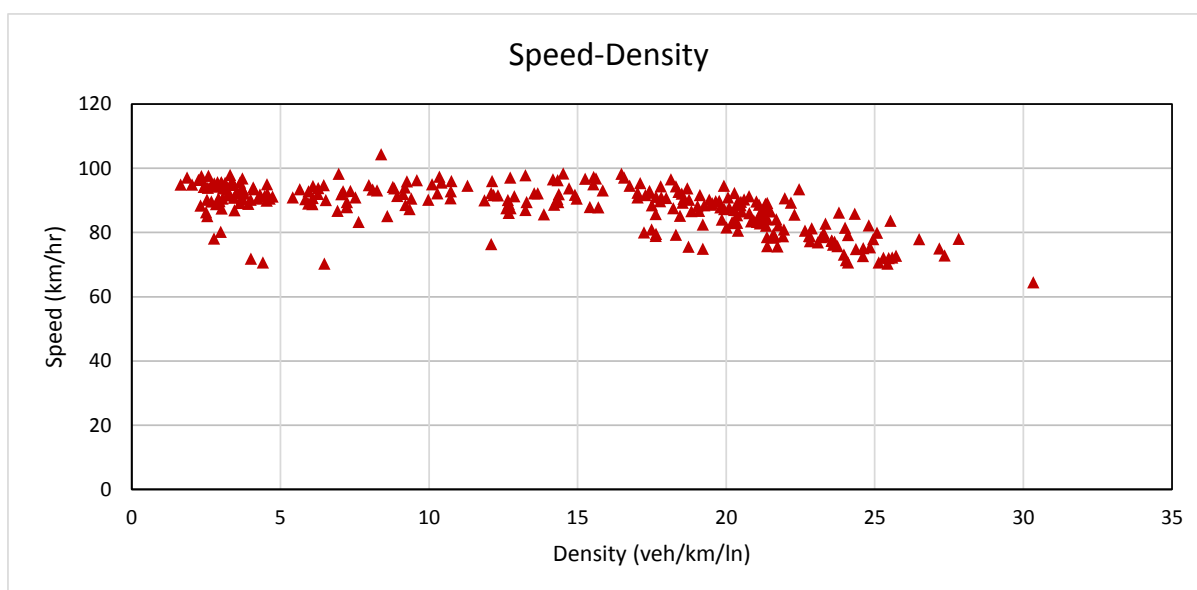
รูปที่ จ.25 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



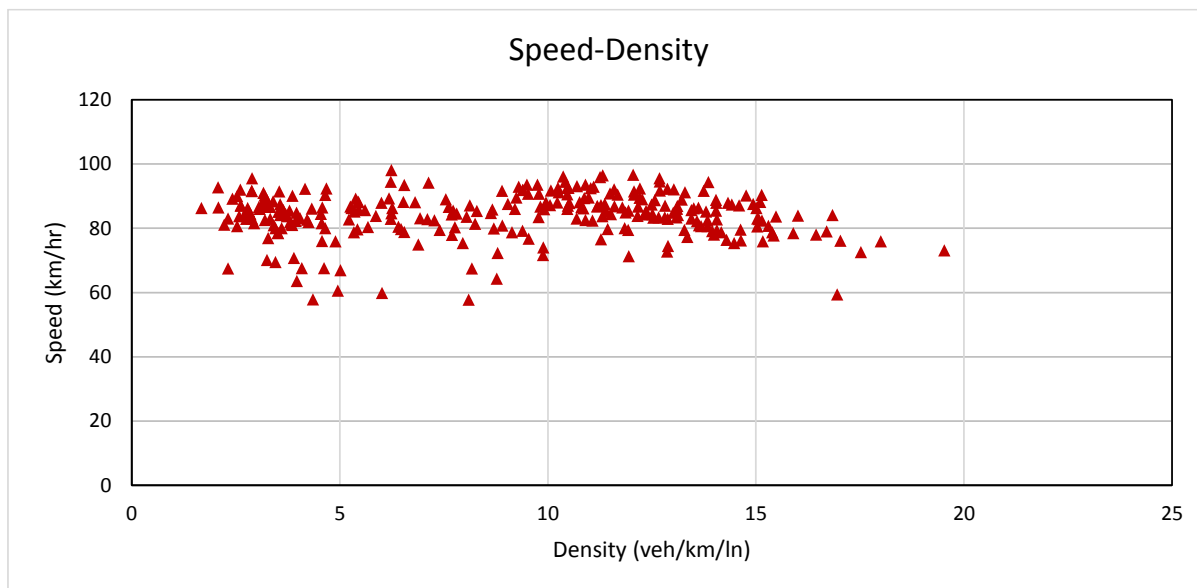
รูปที่ จ.26 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



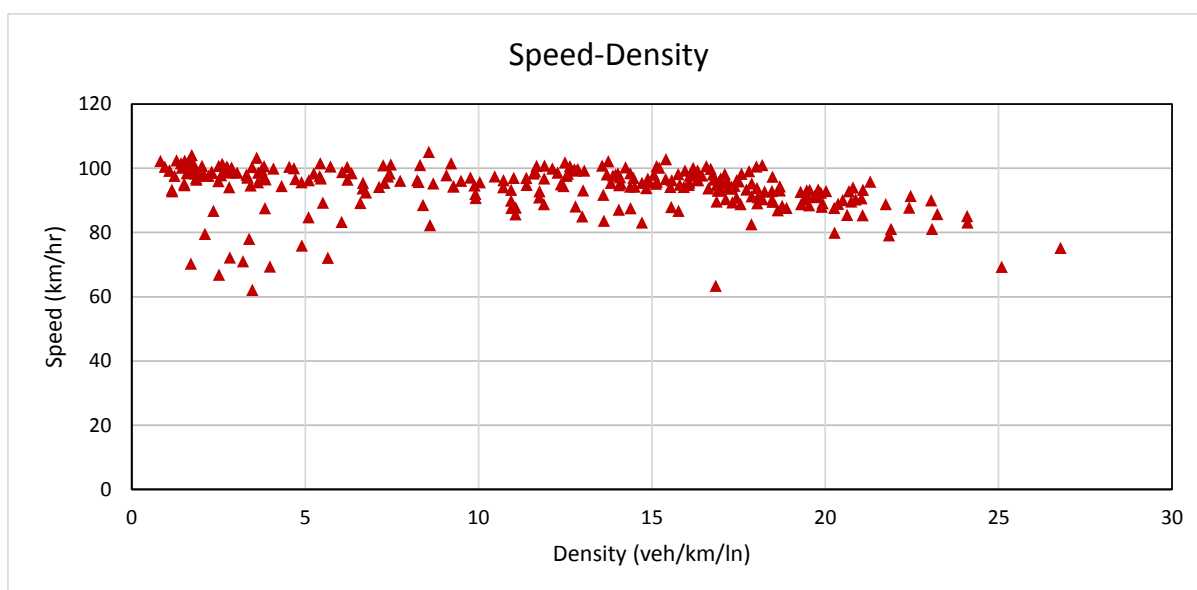
รูปที่ จ.27 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



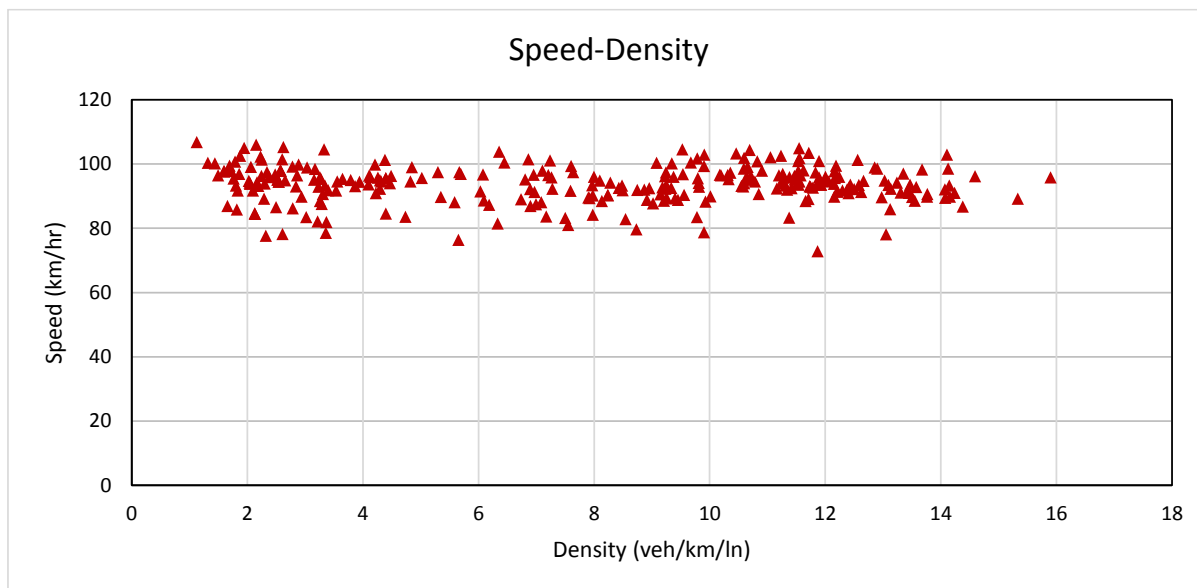
รูปที่ จ.28 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



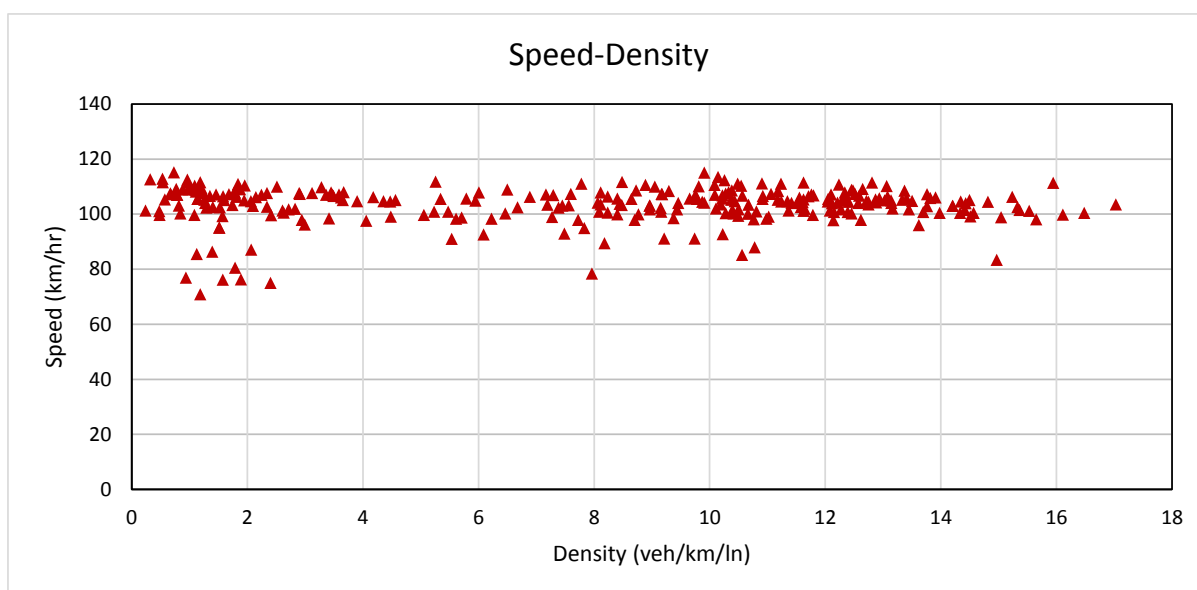
รูปที่ จ.29 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ จ.30 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



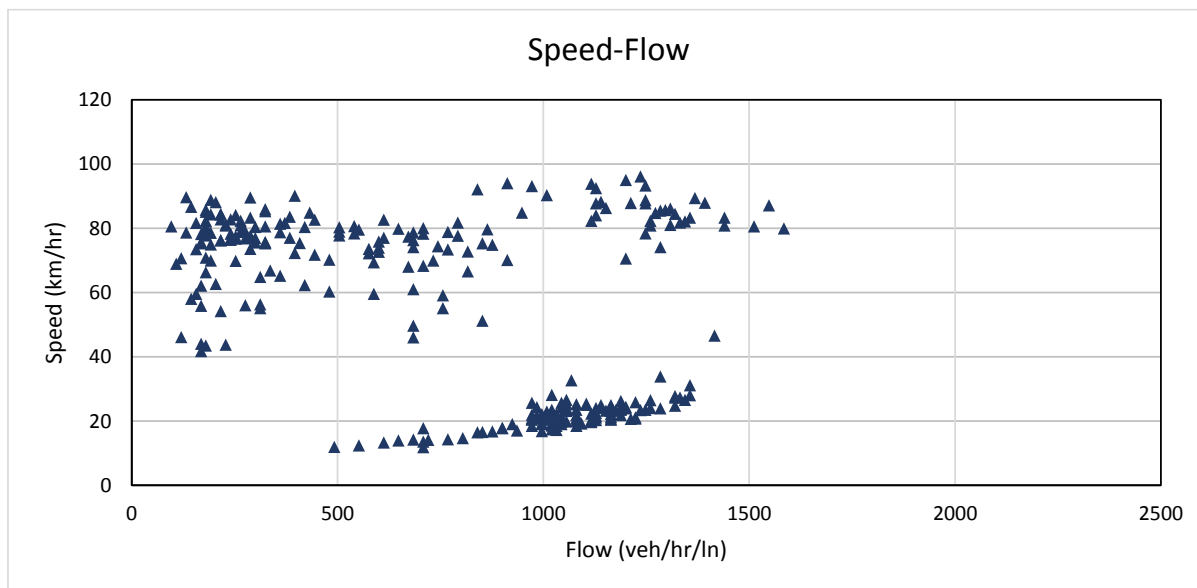
รูปที่ จ.31 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



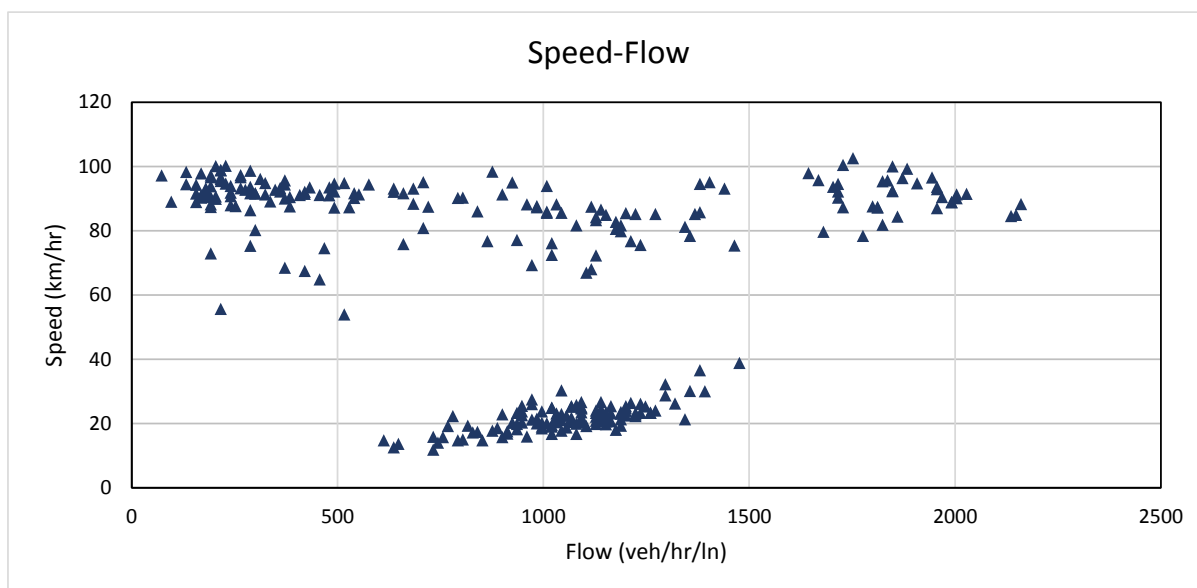
รูปที่ จ.32 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด

ภาคผนวก จ

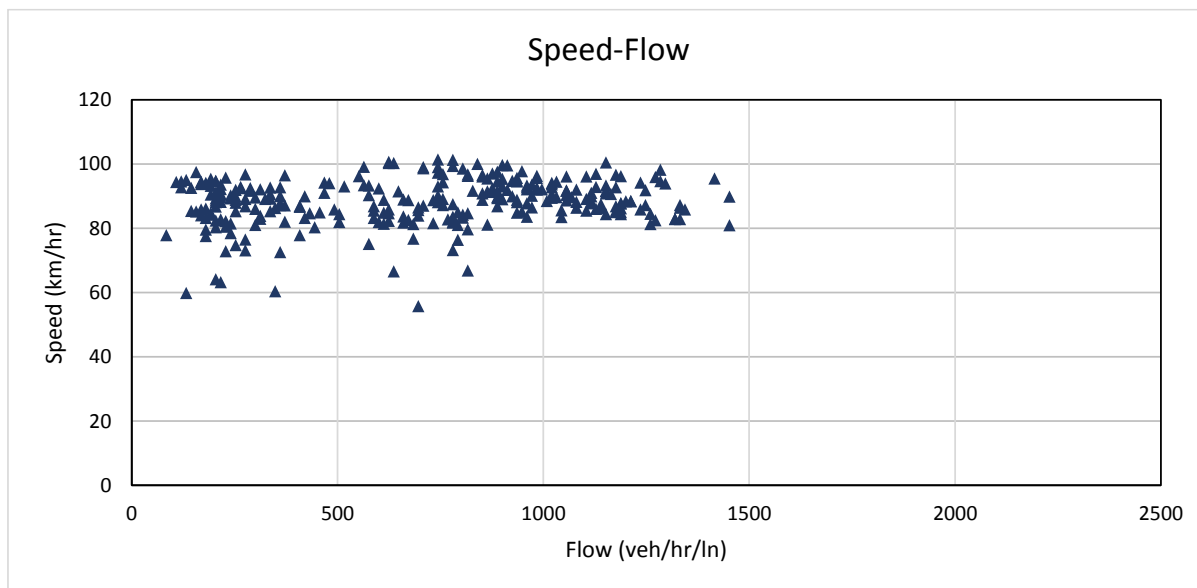
ความสัมพันธ์ของ ความเร็ว - การไหลจราจร และ ความเร็ว – ความหนาแน่น
ในระยะหลังติดตั้งเครื่องหมายบนผิวจราจรแบบ “Transverse Bar” 3 เดือน



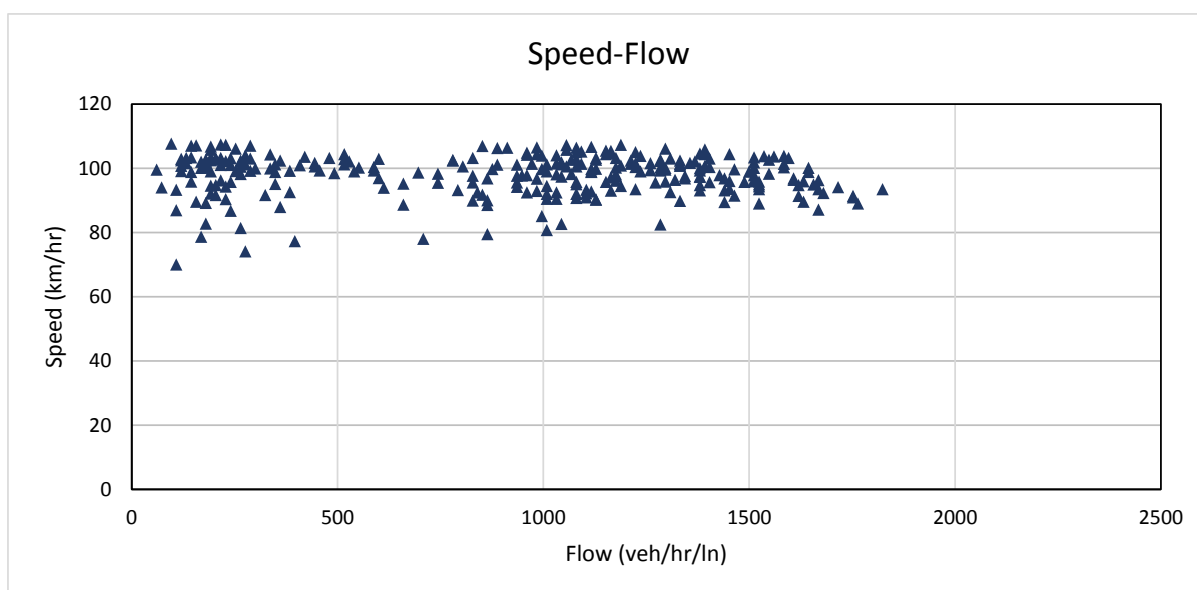
รูปที่ ๑.๑ กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



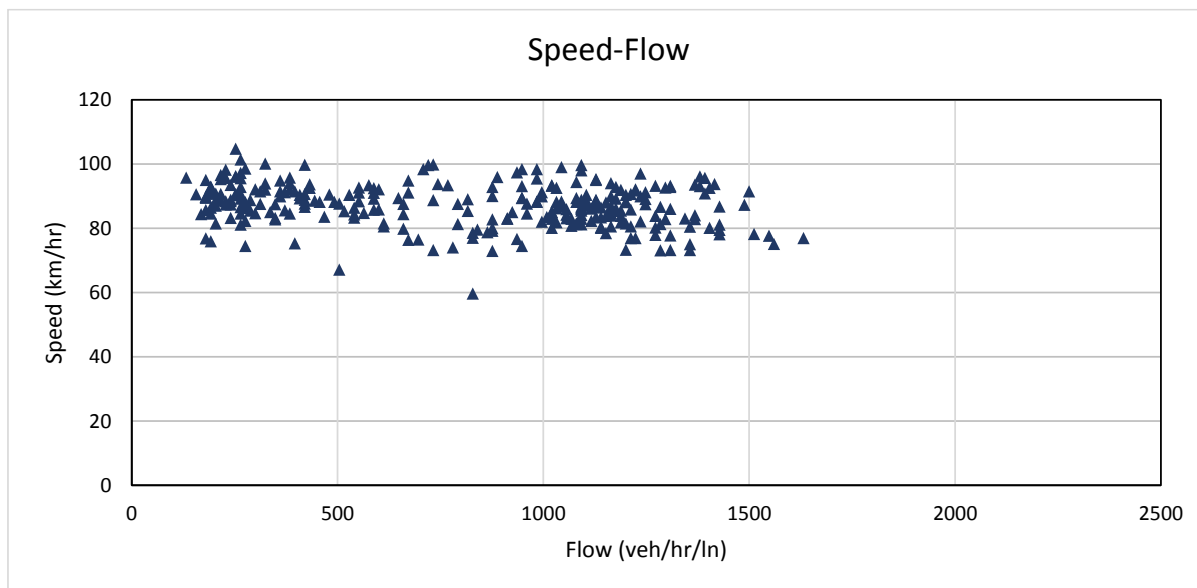
รูปที่ ๑.๒ กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



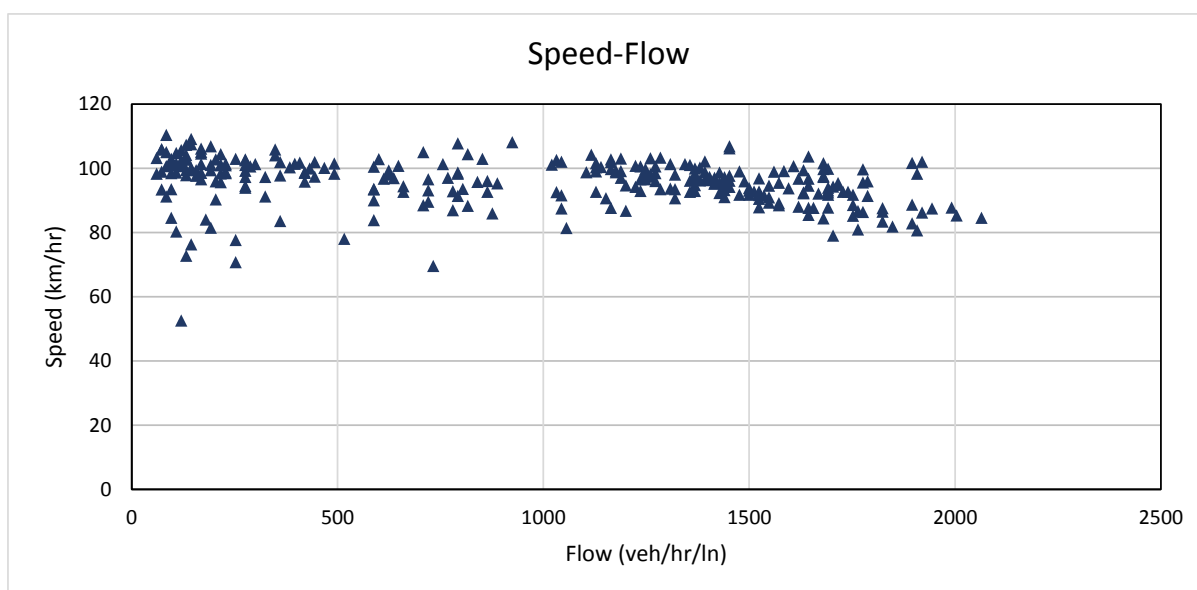
รูปที่ จ.3 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



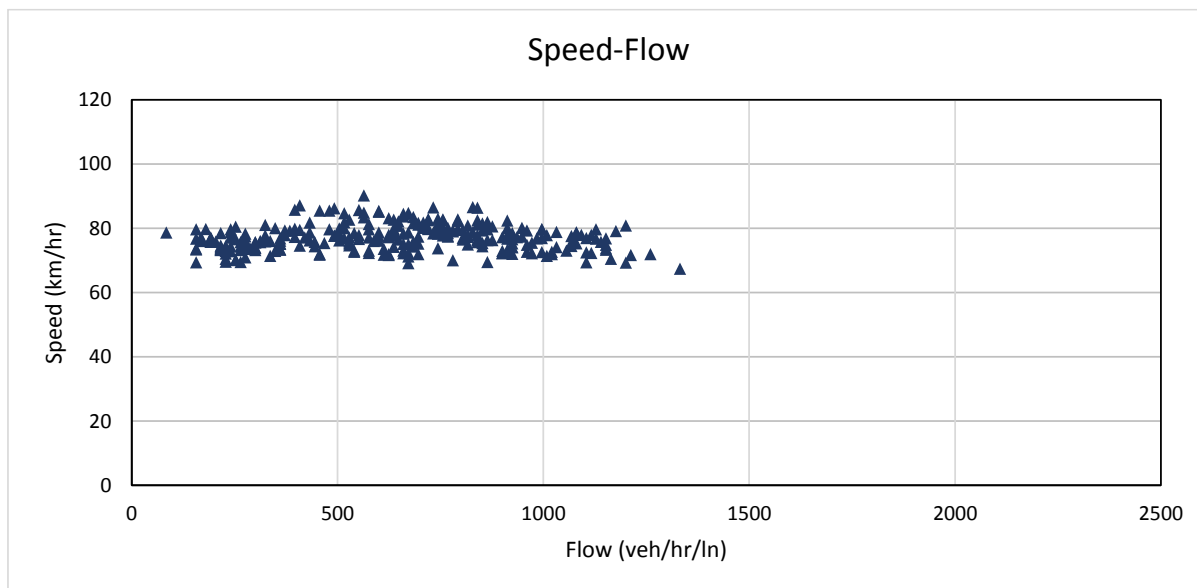
รูปที่ จ.4 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



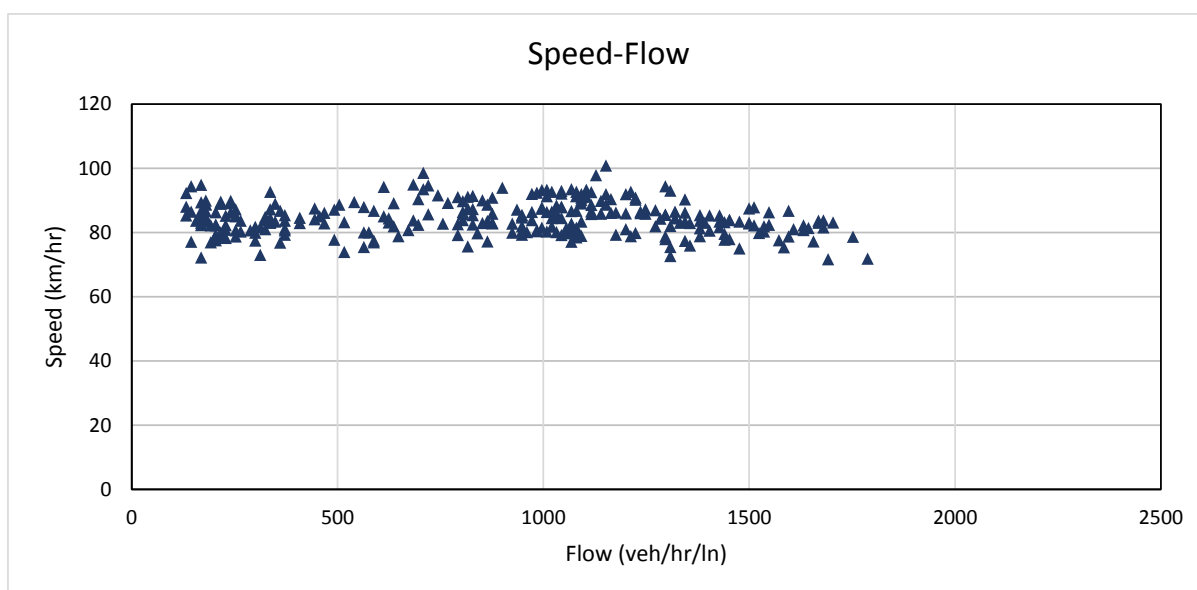
รูปที่ ๓.๕ กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



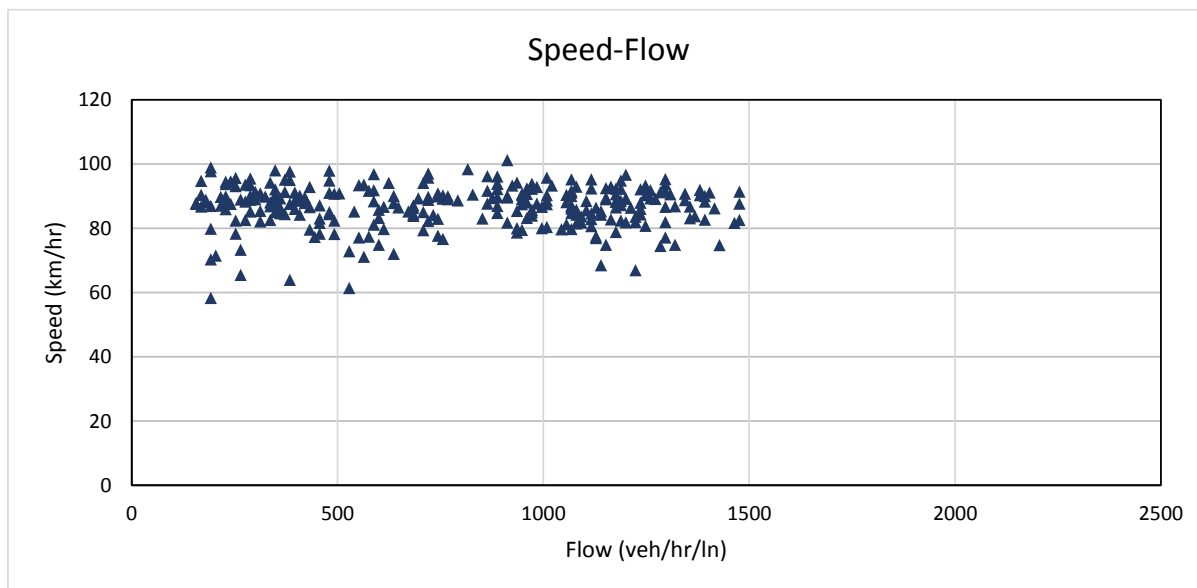
รูปที่ ๓.๖ กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



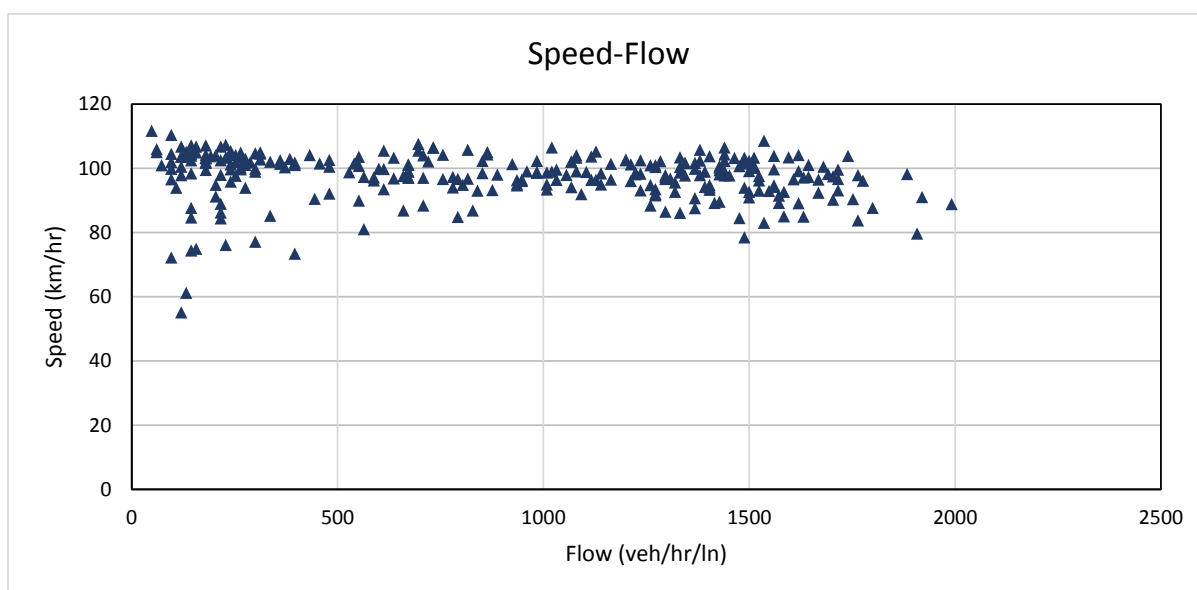
รูปที่ จ.7 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



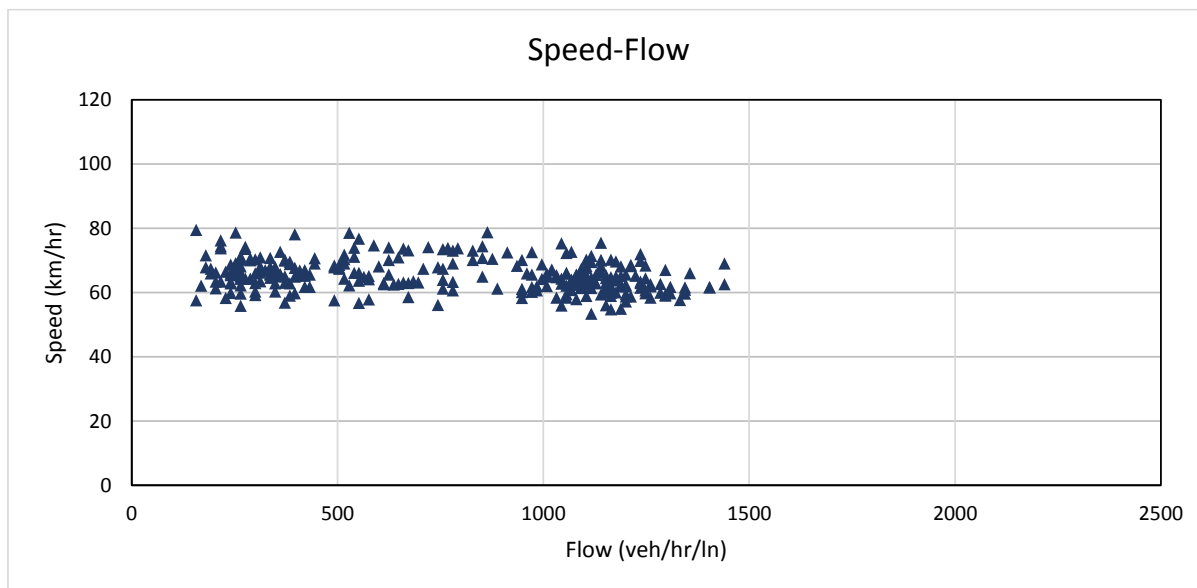
รูปที่ จ.8 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



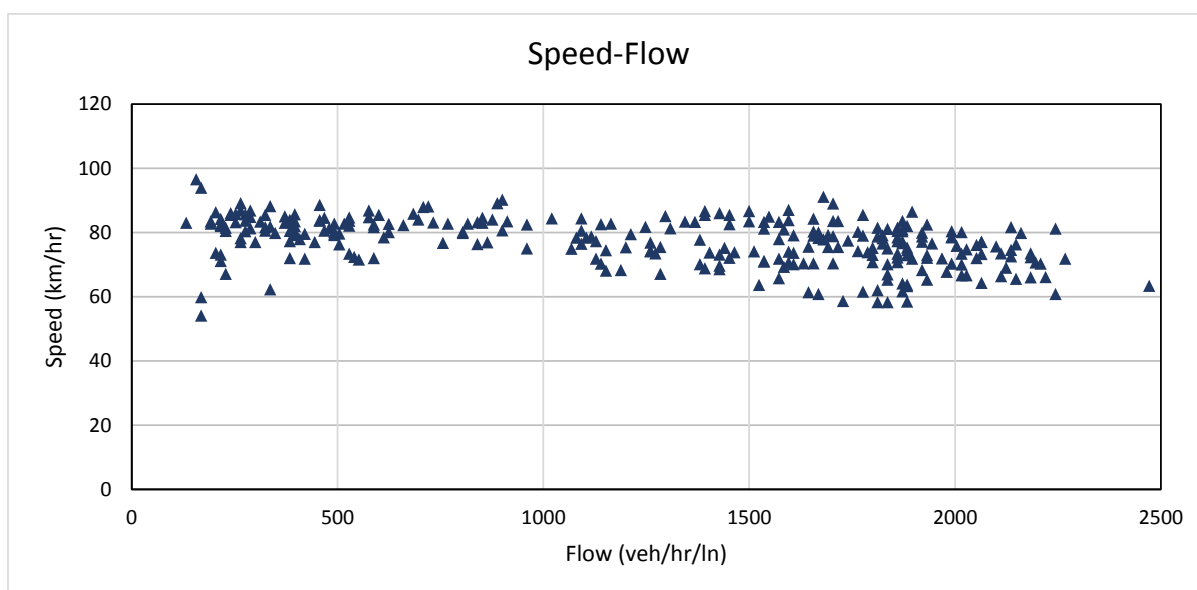
รูปที่ จ.9 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



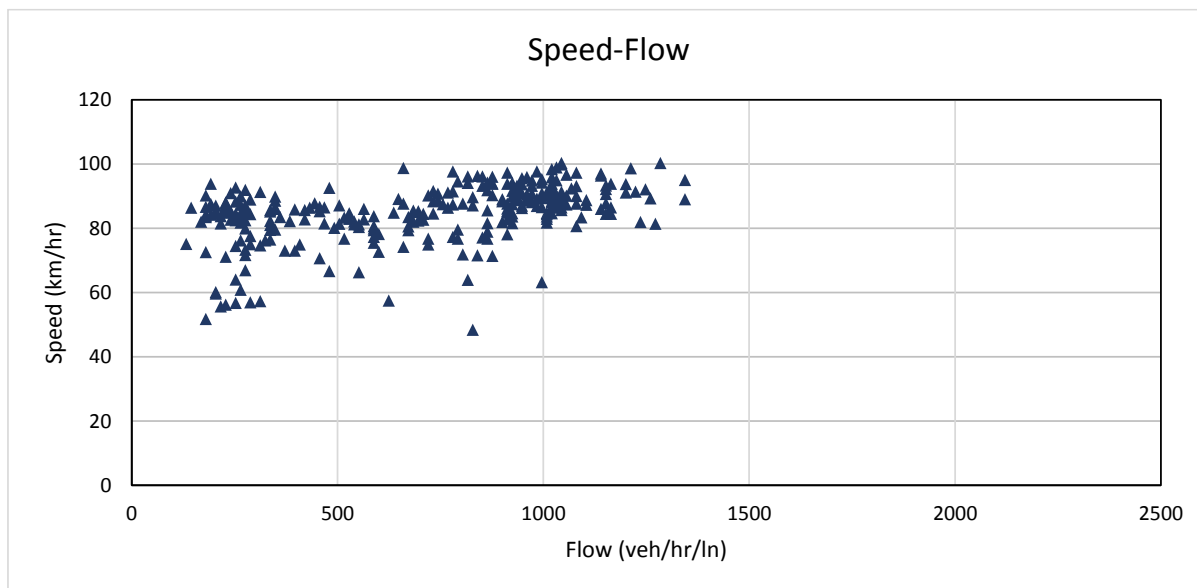
รูปที่ จ.10 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



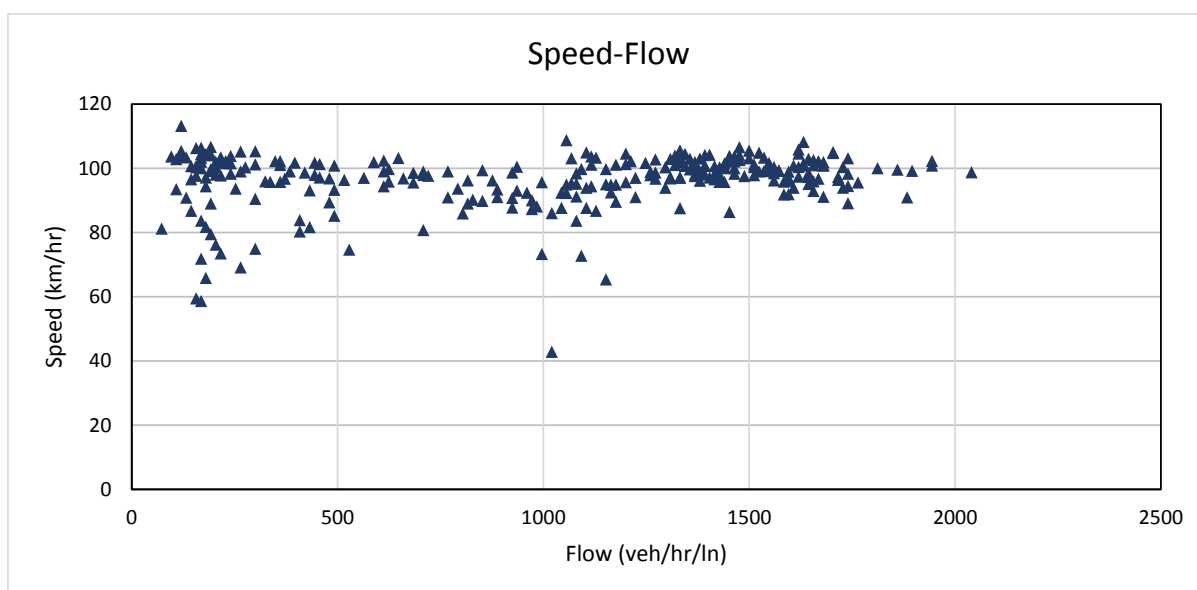
รูปที่ จ.11 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



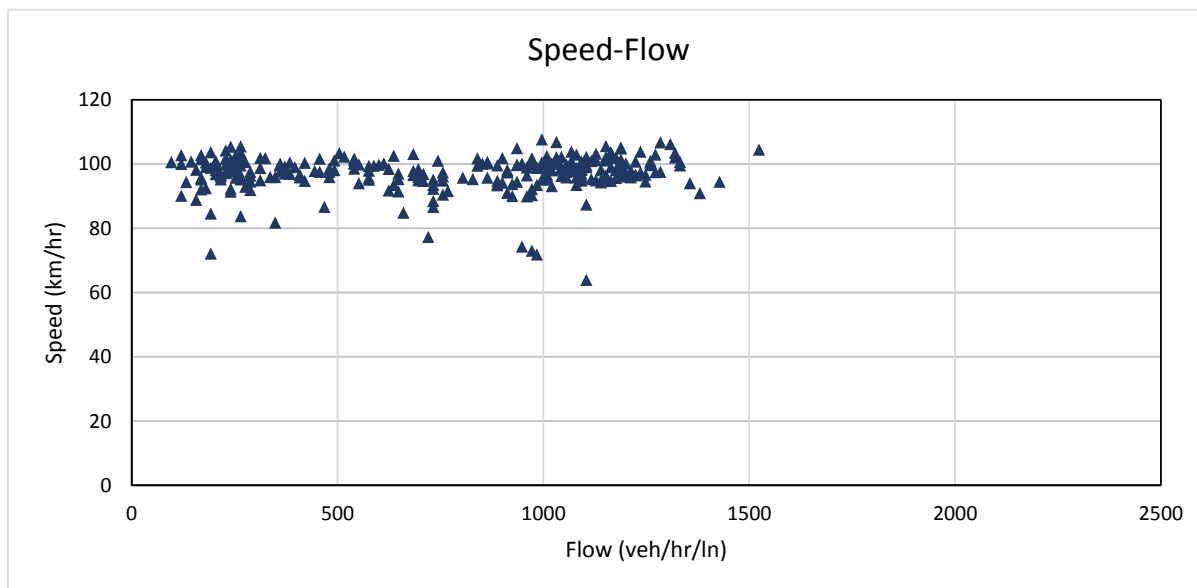
รูปที่ จ.12 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



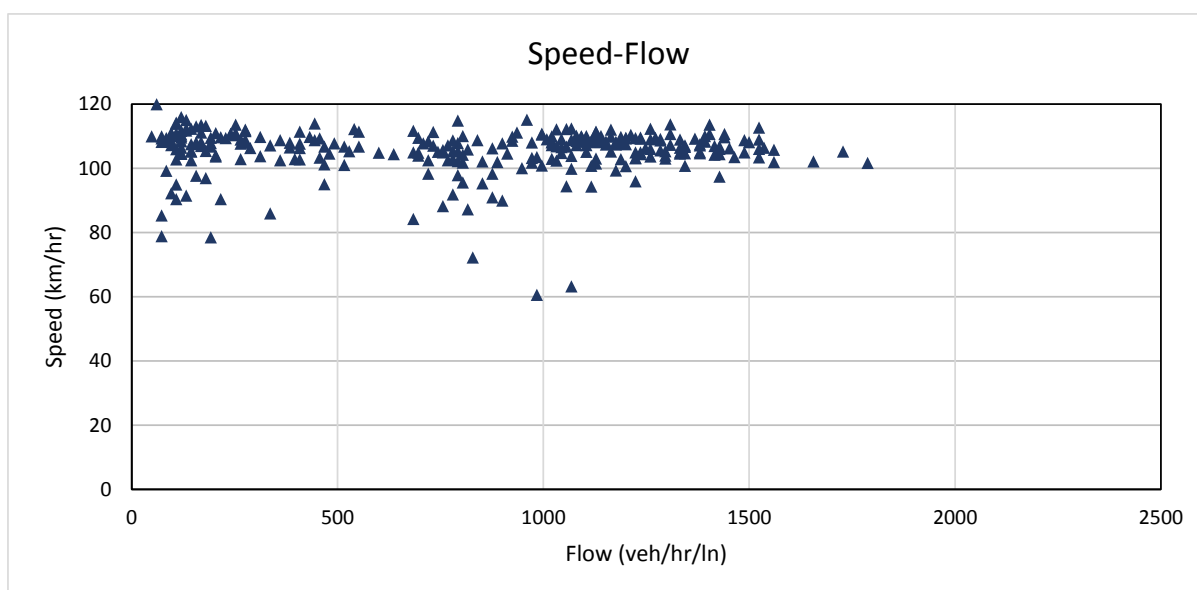
รูปที่ จ.13 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



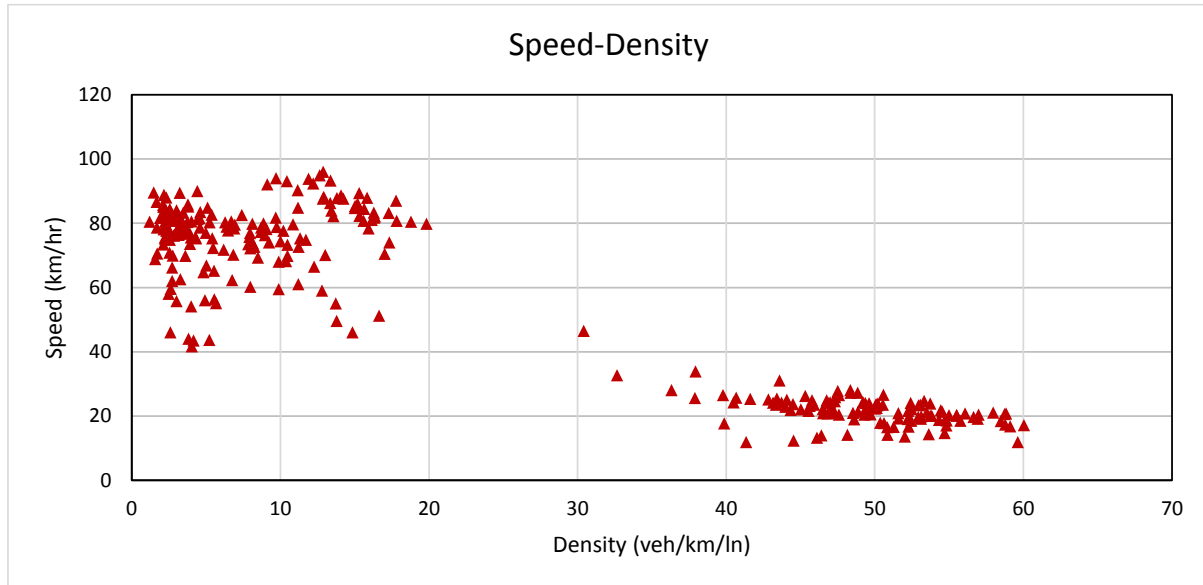
รูปที่ จ.14 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



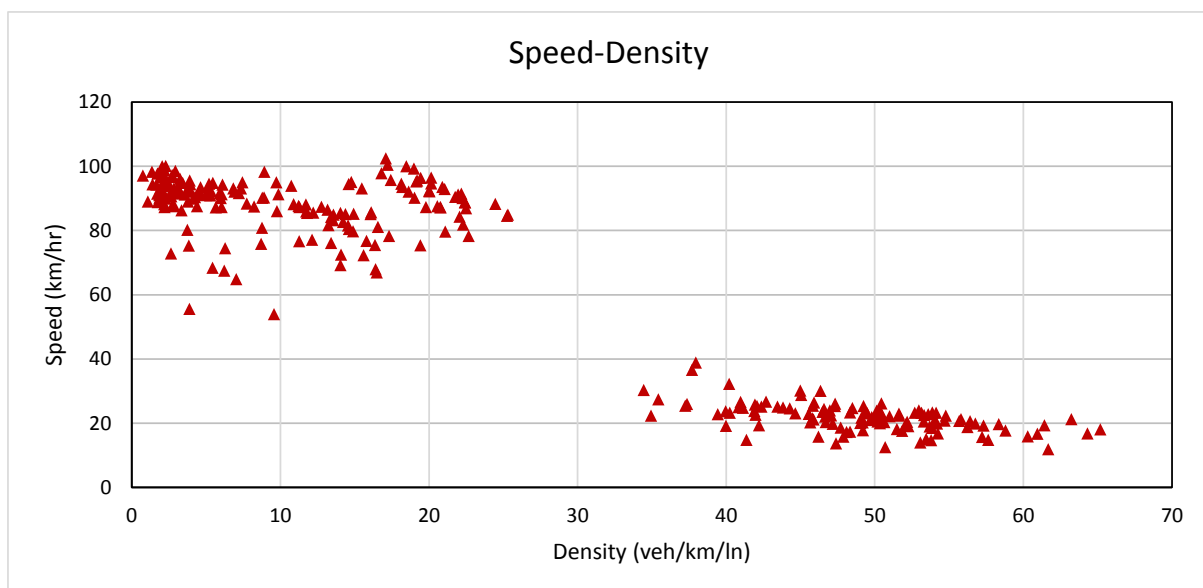
รูปที่ ๑.15 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



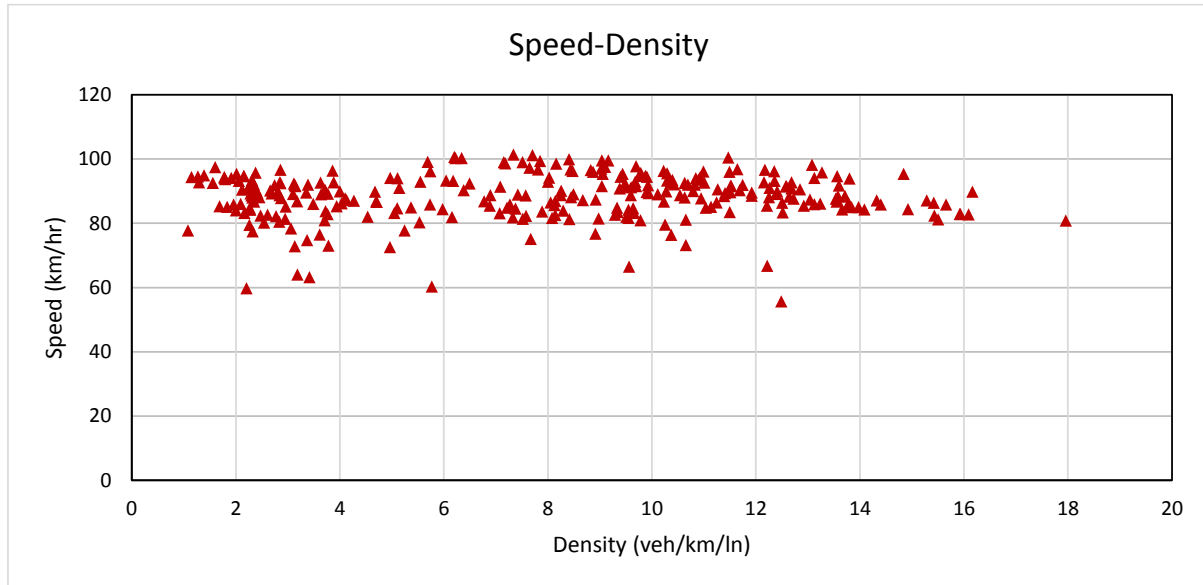
รูปที่ ๑.16 กราฟความเร็ว - การไหลจราจร กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



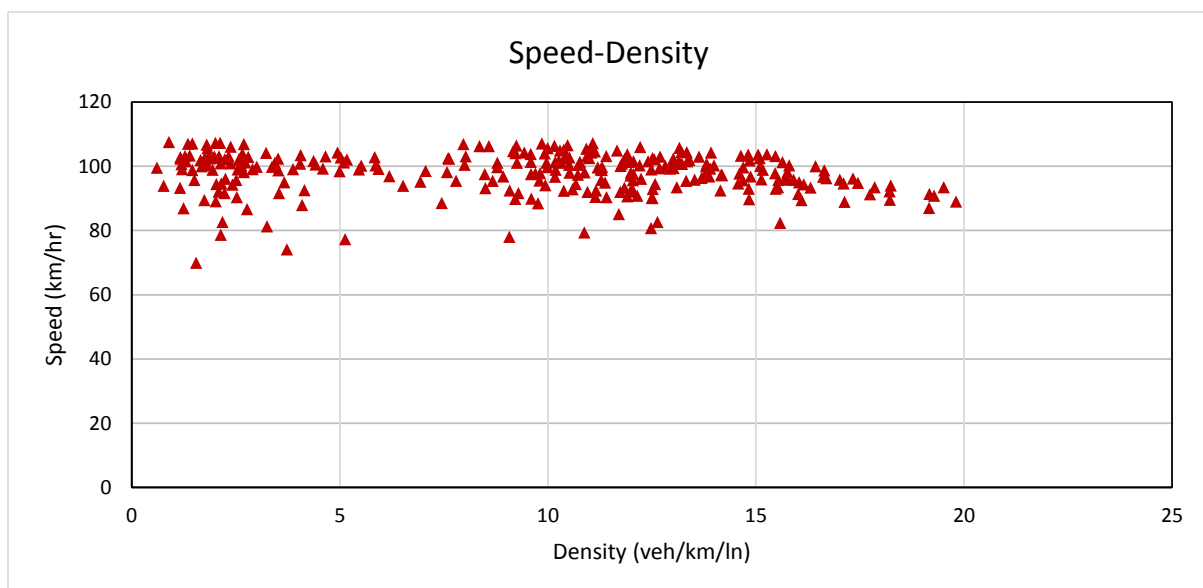
รูปที่ จ.17 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



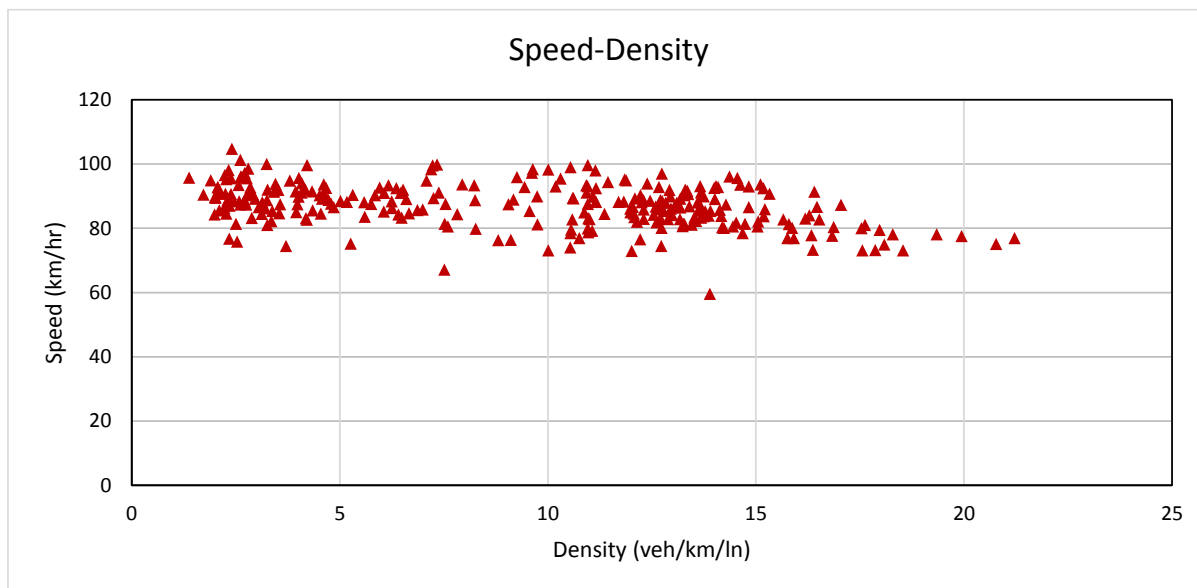
รูปที่ จ.18 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 14+075 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



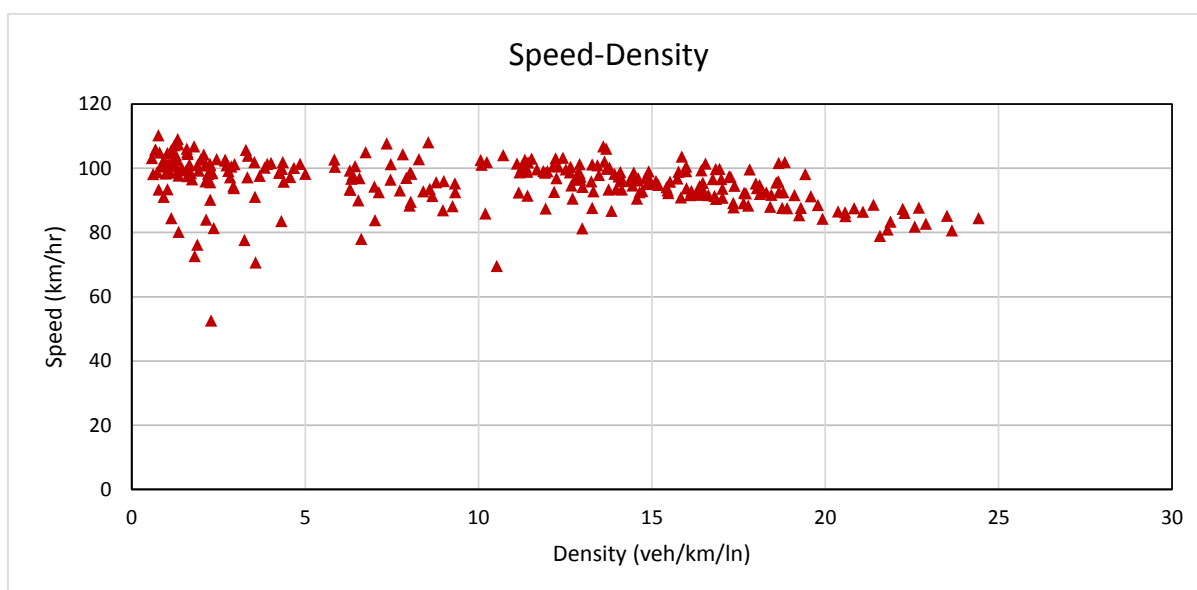
รูปที่ จ.19 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



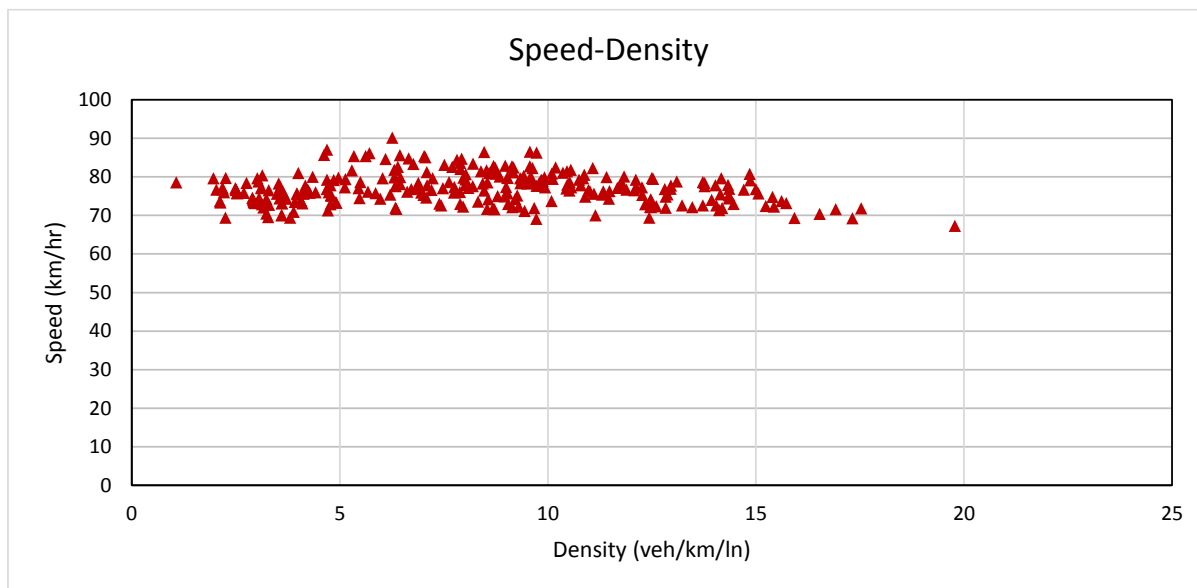
รูปที่ จ.20 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



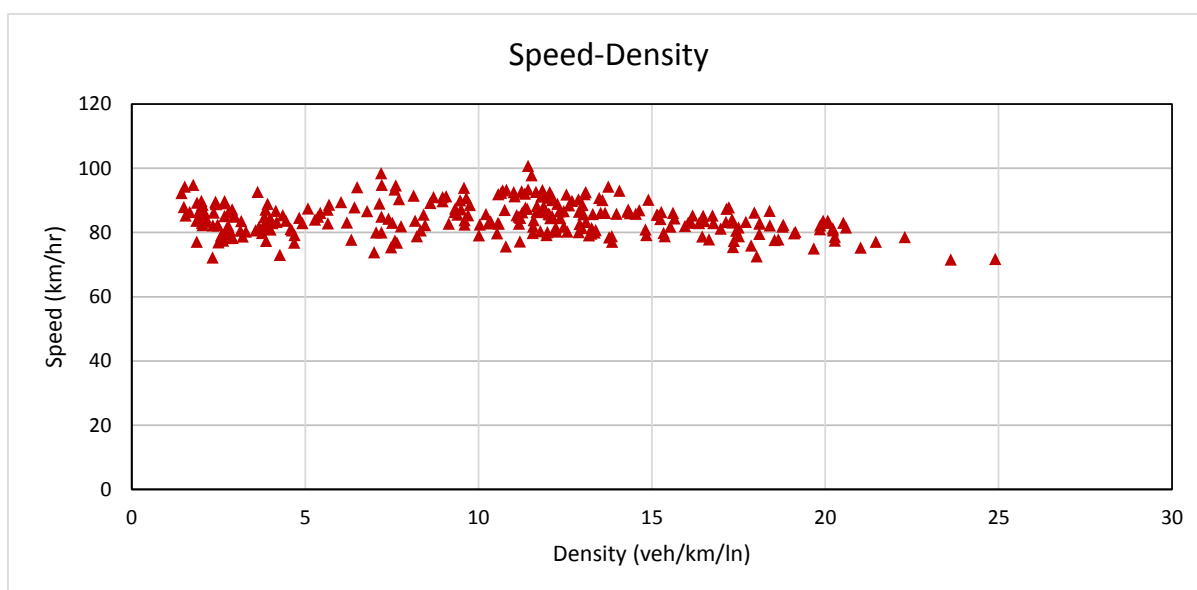
รูปที่ จ.21 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนกลาง



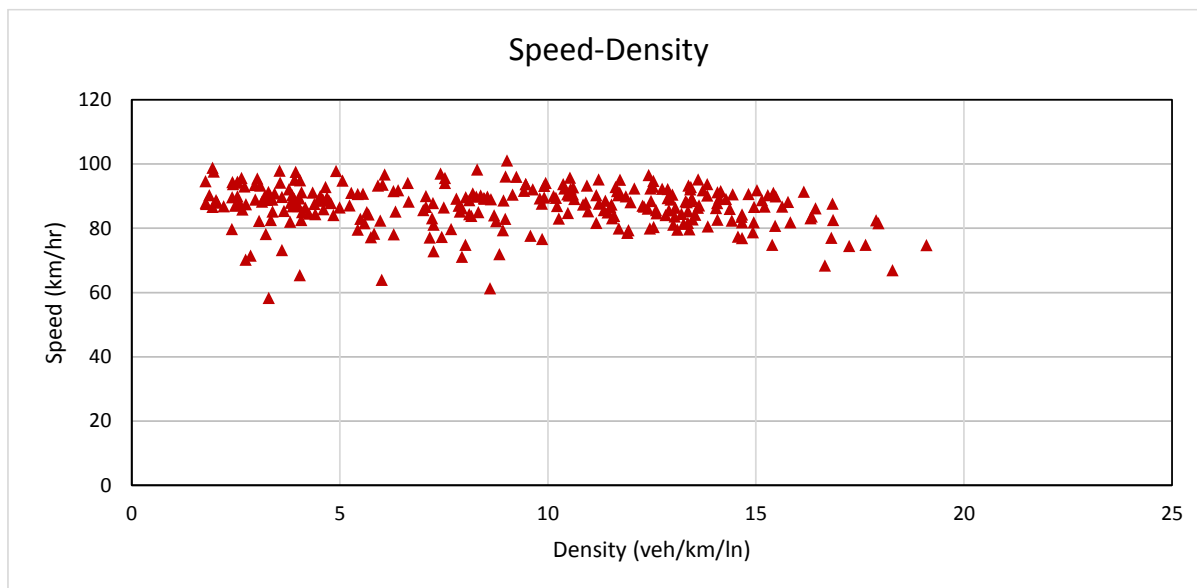
รูปที่ จ.22 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 20+558 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



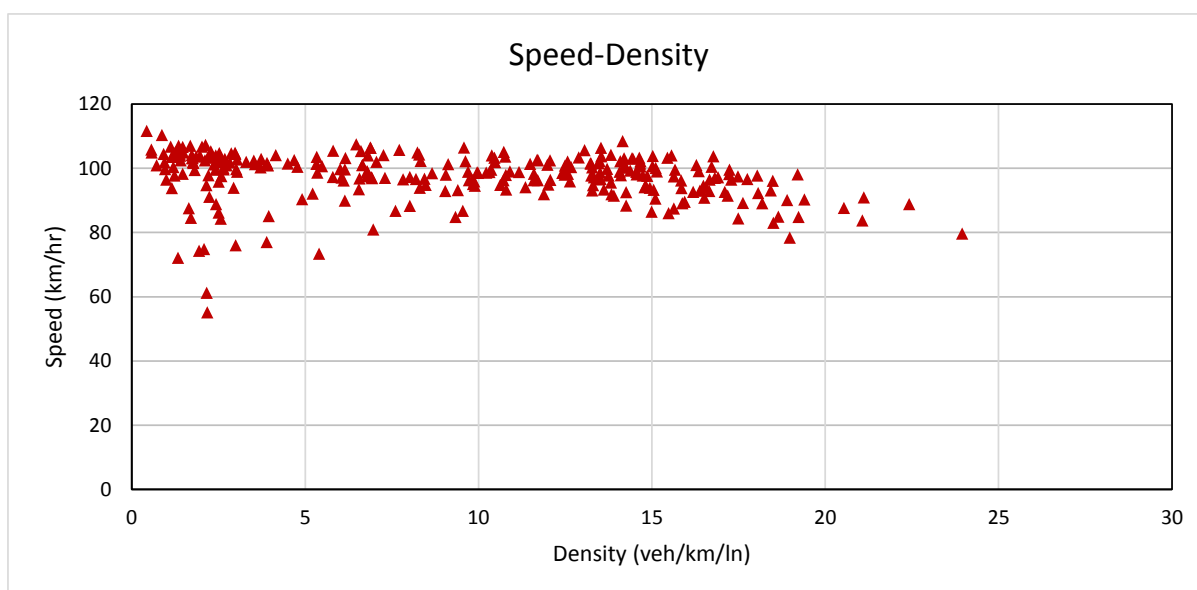
รูปที่ จ.23 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



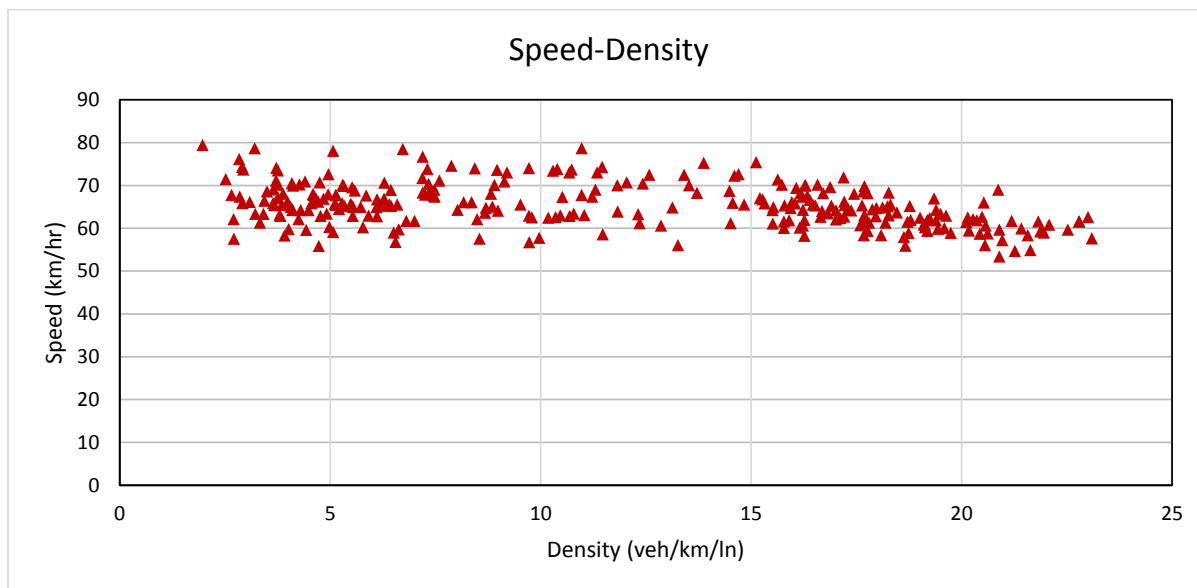
รูปที่ จ.24 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



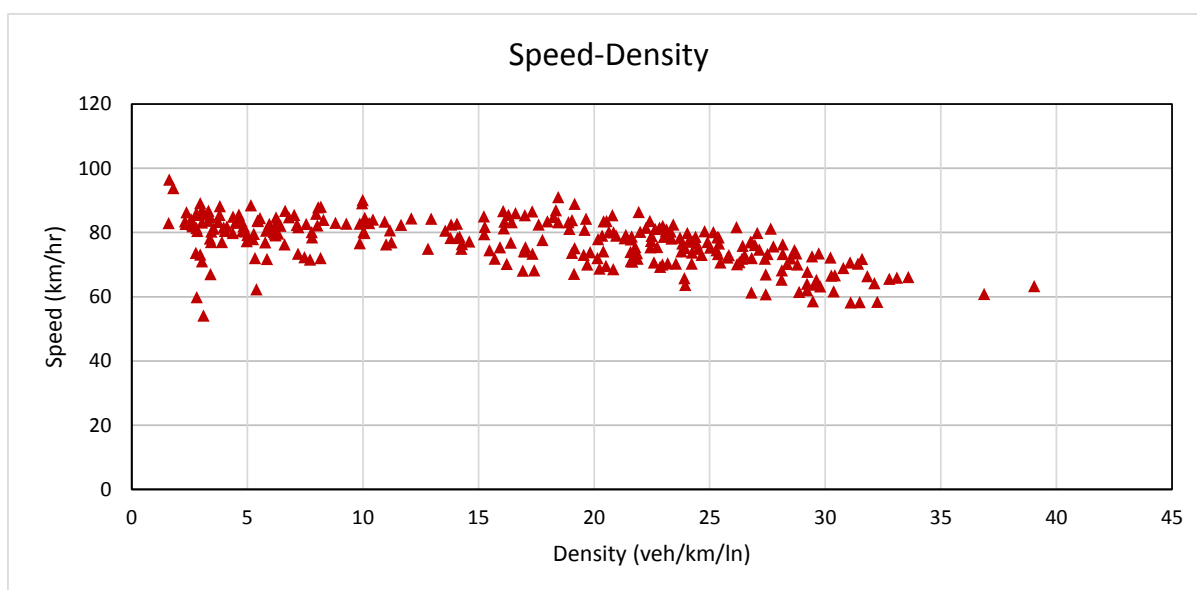
รูปที่ จ.25 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนกลาง



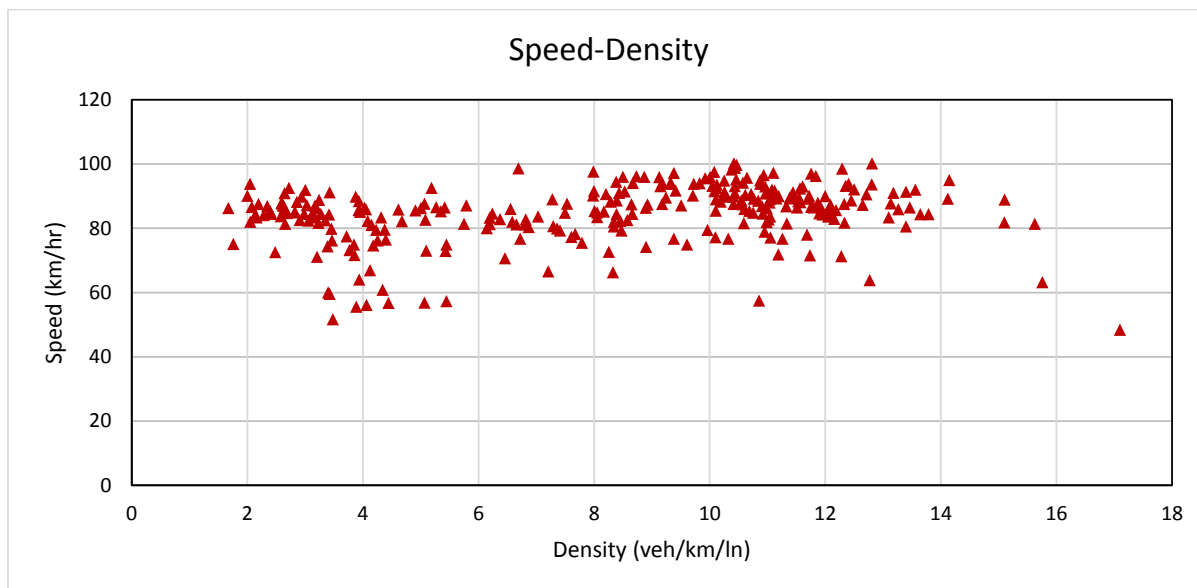
รูปที่ จ.26 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 25+775 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



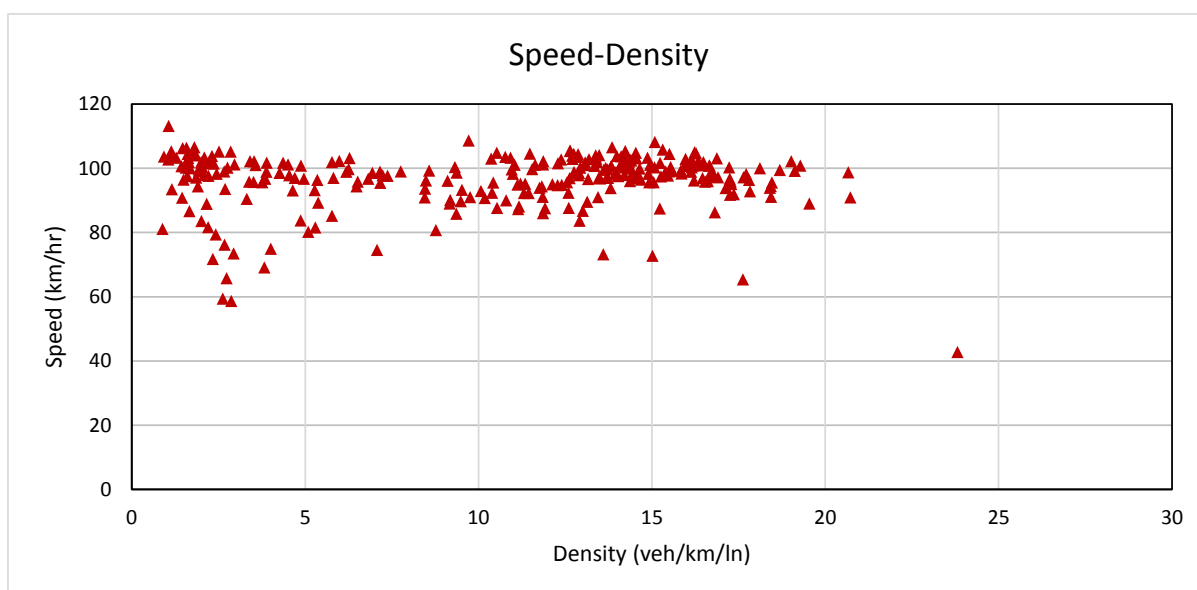
รูปที่ จ.27 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนกลาง



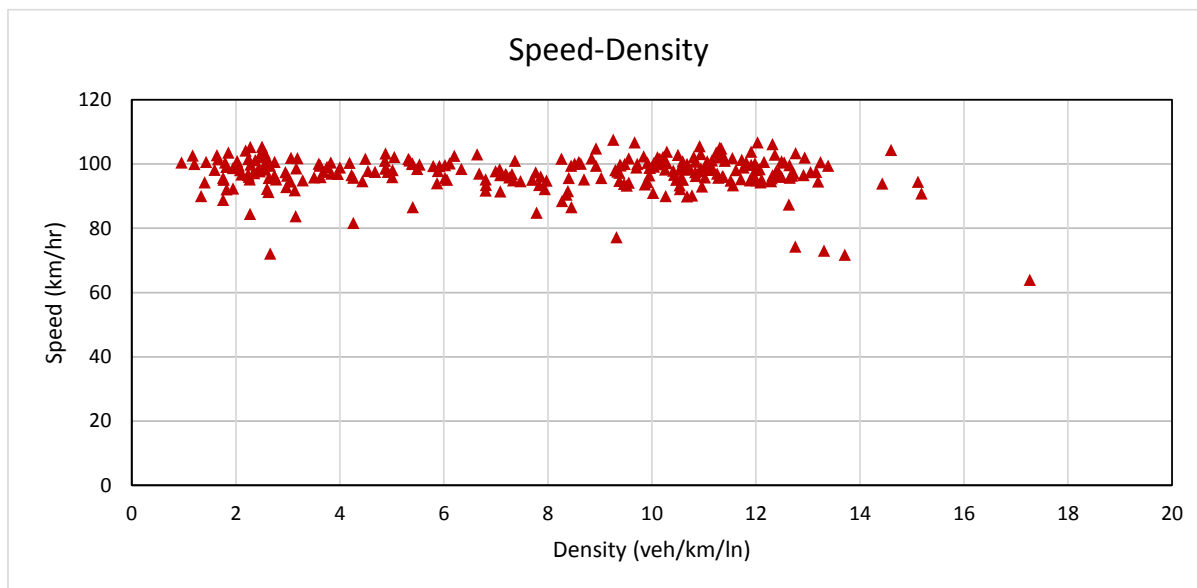
รูปที่ จ.28 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาเข้า กทม. เลนขวาสุด



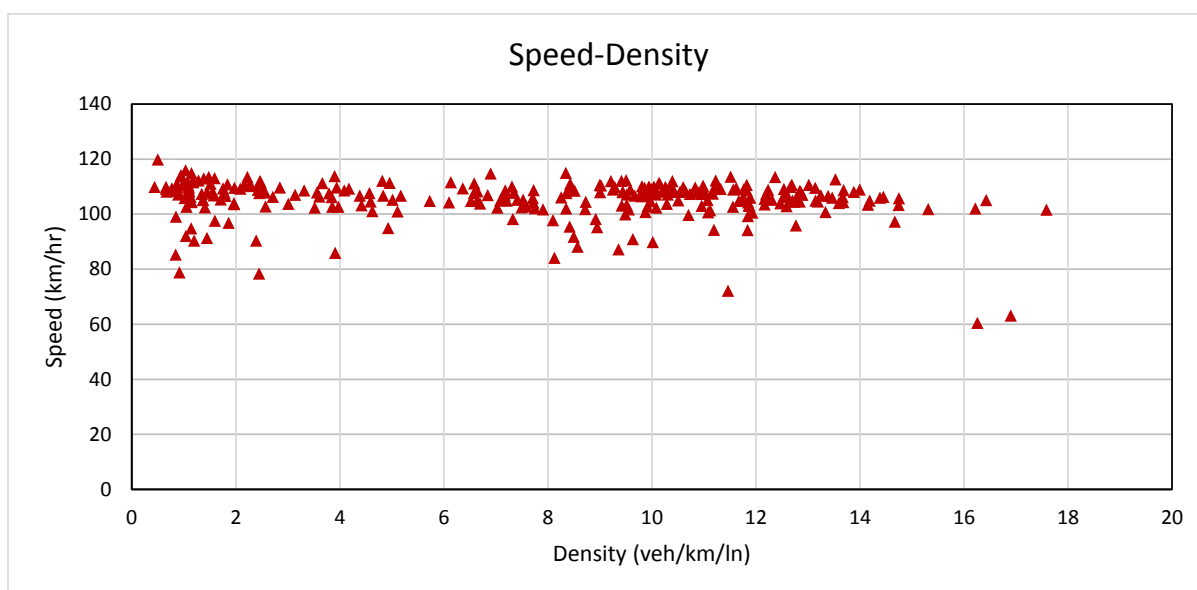
รูปที่ จ.29 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ จ.30 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 31+946 ขาออก กทม. เลนขวาสุด



รูปที่ จ.31 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนกลาง



รูปที่ จ.32 กราฟความเร็ว - ความหนาแน่น กม. 36+889 ขาออก กทม. เลนขวาสุด