บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 กล่าวนำ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ประกอบด้วยข้อมูลด้านลักษณะทางกายภาพและลักษณะการจราจรของทางแยก ในส่วนข้อมูลด้านลักษณะทางกายภาพ เนื่องจากทางแยกตัวอย่างที่ทำการศึกษาเป็นทางแยกที่มีลักษณะเป็นตัวแทนของทางแยกโดยทั่วไปในเขตตัวเมืองของพื้นที่ศึกษา ซึ่งผลกระทบที่มีต่ออัตราการไหลอิ่มตัวของการจราจรจากลักษณะทางกายภาพมีเพียงความกว้างของช่องจราจรเท่านั้น (ไม่มีความลาดชันในแต่ละด้านของทางแยก) และในส่วนของข้อมูลการจราจร จะทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามค่าความกว้างและทิศทางการเดินรถของช่องจราจร ได้แก่ ช่องทางตรง ค่าความกว้างของช่องจราจร 2.60 - 3.30 เมตร และช่องทางเลี้ยวขวา ค่าความกว้างของช่องจราจร 2.50 - 3.60 เมตร ซึ่งในช่วงที่สำรวจข้อมูล การจราจรถูกควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟแบบอัตโนมัติ มีช่วงเวลาสัญญาณไฟ (ไฟเขียว + ไฟเหลือง) ตั้งแต่ 23 - 58 วินาที โดยข้อมูลการจราจรดังกล่าวประกอบด้วย

1. ข้อมูลการจราจรสำหรับศึกษาระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ (Headway) และระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้น (Start - Up Lost Time) ซึ่งประเภทของยานพาหนะในกระแสจราจรประกอบด้วยรถยนต์ 4 ล้อ (รถตุ๊กๆ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถโดยสาร 2 แถว) และรถจักรยานยนต์เท่านั้น
2. ข้อมูลการจราจรสำหรับศึกษาระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถ (Clearance Lost Time) และค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถชนิดต่างๆ (Passenger Car Equivalent, PCE) ซึ่งประเภทของยานพาหนะในกระแสจราจรประกอบด้วย รถจักรยานยนต์ รถยนต์ 4 ล้อ (รถตุ๊กๆ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถโดยสาร 2 แถว) รถบรรทุก (4 - 10 ล้อ) และรถบัสโดยสารประจำทาง

ในบทนี้จะแสดงผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละขั้นตอนตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ของบทที่ 3 เพื่อนำค่าที่ได้ในแต่ละขั้นตอนไปสร้างแบบจำลองการไหลอิ่มตัว (ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอิ่มตัวกับลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะการจราจร) และในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการสำรวจจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับการนำไปใช้งาน

4.2 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ (Headway)

การศึกษาระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการไหลอิ่มตัวของการจราจร ในกรณีที่ชนิดของยานพาหนะในกระแสจราจรประกอบด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และเพื่อเป็นค่าองค์ประกอบสำหรับการหาค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้น ซึ่งรายละเอียดการพิจารณาข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.3.1 ของบทที่ 3 แต่สำหรับทางแยกที่ทำการศึกษาทั้ง 2 แห่ง ชนิดของยานพาหนะในกระแสจราจรไม่ได้มีเพียงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่านั้น แต่จะประกอบด้วย รถจักรยานยนต์ และรถยนต์ 4 ล้อหลายชนิด ดังนั้น จึงทำการศึกษาถึงผลกระทบเนื่องจากตำแหน่งและจำนวนของรถจักรยานยนต์ในแถวคอยที่มีต่ออัตราการไหลอิ่มตัวของรถยนต์ 4 ล้อ ทั้งในช่องทางตรง และช่องทางเลี้ยวขวา โดยผลการศึกษาส่วนนี้ได้แสดงไว้ในรูปของแบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัวจากค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ ในหัวข้อที่ 4.7.2

ในส่วนการศึกษาเพื่อเป็นค่าองค์ประกอบสำหรับการหาค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นต่อไปนั้น จากตาราง 4.1 (ภาพประกอบ 4.1 - 4.5) และ 4.2 (ภาพประกอบ 4.6 - 4.12) ซึ่งแสดงค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย ในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจร ของช่องทางตรง และช่องทางเลี้ยวขวา ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยจะลดลงเป็นลำดับจากตำแหน่งรถยนต์คันแรกในแถวคอยจนกระทั่งค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ตำแหน่งรถยนต์คันที่ 4 ในแถวคอยเป็นต้นไป ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา

ในการหาว่าช่วงระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ของแต่ละช่องทางจราจรจะคงที่เมื่อถึงคันที่เท่าไรนั้น กระทำโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ในช่วงต้นของแถวคอยกับค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ที่พิจารณาว่าคงที่แล้ว ซึ่งในที่นี้ คือ ตำแหน่งของรถยนต์คันที่ 4 ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ จากผลการทดสอบ ดังแสดงในตาราง 4.3 สำหรับช่องทางตรง และตาราง 4.4 สำหรับช่องทางเลี้ยวขวา เมื่อพิจารณาค่า p - value ของการทดสอบความแตกต่างระหว่างตำแหน่งรถยนต์คันที่ 4 กับตำแหน่งของรถยนต์ในช่วงต้น ตั้งแต่คันที่ 2 - 8 ที่ผ่านเส้นหยุด พบว่า ค่า p - value ของการทดสอบของรถยนต์คันที่ 3 - 8 มีค่ามากกว่า 0.05 ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา ทำให้ค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ในตำแหน่งของรถยนต์คันที่ 4 ไม่มีความแตกต่างจากค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ในตำแหน่งของรถยนต์ตั้งแต่คันที่ 3 - 8 จึงสรุปว่า ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์จะมีค่าเริ่มคงที่หลังจากรถยนต์คันที่ 3 ผ่านเส้นหยุดเป็นต้นไป (ตั้งแต่รถยนต์คันที่ 4) ซึ่งในกรณีที่ช่วงเวลาสัญญาณไฟยาวเพียงพอ พบว่า ช่วงที่เกิดการอิ่มตัวของระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ (Saturated Headway) อยู่ในช่วงตั้งแต่รถยนต์คันที่ 4 - 15 ในแถวคอย ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5 และ 4.12 (รายละเอียดการคำนวณค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์อยู่ในภาคผนวก ก) โดยระยะเวลาห่างระหว่าง

รถยนต์เฉลี่ยในช่องทางตรง ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.60 - 3.30 เมตร มีค่าเท่ากับ 2.20 วินาทีต่อคัน (คิดเป็นอัตราการไหลอิ่มตัวเท่ากับ 1,636 คันต่อชั่วโมง จากการคำนวณด้วยสมการที่ 3.2) และค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยในช่องทางเลี้ยวขวา ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.50 - 3.60 เมตร (รัศมีการเลี้ยวมากกว่า 20 เมตร) มีค่าเท่ากับ 2.28 วินาทีต่อคัน (คิดเป็นอัตราการไหลอิ่มตัวเท่ากับ 1,579 คันต่อชั่วโมง) โดยมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการไหลอิ่มตัวในช่องทางตรง (อัตราการไหลอิ่มตัวในช่องทางตรงเท่ากับ 1.04 เท่าของอัตราการไหลอิ่มตัวในช่องทางเลี้ยวขวา) ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่าอัตราการไหลอิ่มตัวโดยเฉลี่ยของช่องทางเลี้ยวขวามีค่าใกล้เคียงกับช่องทางตรง เนื่องจากรูปแบบและจังหวะสัญญาณไฟจราจรดังกล่าว มีลักษณะการปล่อยยานพาหนะออกจากแถวคอยเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวพร้อมกันทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา และลักษณะการเลี้ยวขวาเป็นการเลี้ยวโดยไม่มีการกีดขวางจากการจราจรในทิศทางอื่น ประกอบกับมีรัศมีการเลี้ยวมากกว่า 20 เมตร ทำให้ไม่เป็นอุปสรรคในการเลี้ยว ส่งผลให้ลักษณะการเลี้ยวขวาไม่มีความแตกต่างจากการขับขี่ในช่องทางตรง ซึ่งความใกล้เคียงกันของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยของแต่ละตำแหน่งในแถวคอยในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว (ช่วงตั้งแต่รถยนต์คันที่ 4 - 15) ระหว่างช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวาแสดงดังภาพประกอบ 4.13 และค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวายังมีความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ คือ 10.9% ในช่องทางตรง และ 11.4% ในช่องทางเลี้ยวขวา (น้อยกว่า 30% ถือว่ามีความเบี่ยงเบนต่ำ)

ตาราง 4.1 สรุปค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอยของช่องทางตรง

ความกว้าง (เมตร)	ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ย (วินาที) /ตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย																				ค่า headway เฉลี่ย รถยนต์คันที่ 4 - 15	ค่า SD (วินาที)	จำนวนรอบสัญญาณไฟ	หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
2.60	8.56	2.65	2.61	2.32	2.37	2.38	2.33	2.28	2.41	2.24	1.94	2.34	1.77	2.02	1.78	2.26	1.84	2.79	1.98	2.25	2.29	0.28	72	ภาพประกอบ 4.1
ค่า SD	1.96	0.77	0.89	0.59	0.79	0.88	0.85	0.87	0.92	0.89	0.65	0.81	0.49	0.83	0.38	0.70	0.23	0.84	0.06	0.27				
2.65	8.24	2.60	2.55	2.26	2.22	2.11	1.99	2.34	2.33	1.91	2.39	2.22	2.25	2.39	2.12	2.04	1.74	1.30	1.50		2.20	0.21	29	ภาพประกอบ 4.2
ค่า SD	2.08	0.54	0.78	0.66	0.73	0.68	0.66	0.86	0.77	0.46	0.81	0.97	0.83	0.82	0.73	0.47	0.82	0.56	0.52					
2.70	9.59	2.89	2.40	2.31	2.25	2.23	2.13	2.27	2.14	2.01	2.12	1.98	2.16	2.07	2.03	2.20	2.37	2.30	2.26	1.99	2.15	0.19	42	ภาพประกอบ 4.3
ค่า SD	1.78	1.09	0.79	0.55	0.86	0.68	0.63	0.71	0.73	0.54	0.60	0.49	0.84	0.85	0.64	0.93	1.84	0.43	1.01	0.71				
3.30	8.02	2.62	2.44	2.34	2.14	2.03	2.01	2.01	1.94	2.08	2.10	1.97	2.06	2.03	1.88	2.17	1.49	2.57			2.05	0.15	29	ภาพประกอบ 4.4
ค่า SD	1.87	0.62	1.04	0.68	0.67	0.51	0.58	0.61	0.44	0.99	0.73	0.65	0.55	0.57	0.50	0.93	0.38	0.94						
2.60 - 3.30	**8.60**	**2.69**	**2.50**	**2.31**	**2.24**	**2.19**	**2.12**	**2.23**	**2.21**	**2.06**	**2.14**	**2.13**	**2.09**	**2.13**	**1.95**	**2.17**	**1.86**	**2.24**	**1.91**	**2.12**	**2.20**	**0.24**	**172**	**ภาพประกอบ 4.5**
ค่า SD	**0.69**	**0.14**	**0.10**	**0.04**	**0.10**	**0.15**	**0.15**	**0.15**	**0.21**	**0.14**	**0.19**	**0.18**	**0.23**	**0.18**	**0.15**	**0.09**	**0.37**	**0.66**	**0.38**	**0.19**				

ตาราง 4.2 สรุปค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอยของช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้าง (เมตร)	ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ย (วินาที) /ตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย																				ค่า headway เฉลี่ย รถยนต์คันที่ 4 - 15	ค่า SD (วินาที)	จำนวนรอบสัญญาณไฟ	หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
2.50	8.82	2.81	2.96	2.13	2.14	2.47	2.08	2.40	2.47	2.42	2.56	1.74	1.83	1.74	1.74	2.80	2.71	2.41			2.27	0.26	16	ภาพประกอบ 4.6
ค่า SD	2.17	1.05	1.02	0.48	0.70	0.50	0.67	0.60	0.87	0.87	0.96	0.55	0.61	0.52	0.33	0.06								
2.60	8.56	2.91	2.53	2.26	2.55	2.27	2.37	2.22	2.21	2.31	2.06	2.19	1.74	1.95	1.95	1.79	1.86	1.92	1.79		2.22	0.21	26	ภาพประกอบ 4.7
ค่า SD	1.68	1.09	0.77	0.66	0.60	0.70	0.64	0.67	0.55	0.76	0.61	0.75	0.34	0.67	0.68	0.23	0.53	0.49	0.48					
2.70	8.52	2.69	2.37	2.40	2.44	2.02	2.28	2.20	2.63	2.46	2.13	2.11	2.47	2.11	2.11	2.30	2.21	1.90	2.01	1.68	2.29	0.21	30	ภาพประกอบ 4.8
ค่า SD	1.27	0.99	0.74	0.85	0.90	0.78	0.85	0.76	1.18	0.81	0.78	1.01	1.20	0.67	0.53	0.76	0.78	0.52	0.64	0.51				
2.80	9.49	3.18	2.69	2.45	2.46	2.25	2.34	2.14	2.28	2.25	2.53	2.46	2.34	2.30	1.92	2.31	2.11	1.76	2.06	1.71	2.32	0.24	25	ภาพประกอบ 4.9
ค่า SD	1.85	0.84	1.05	0.96	0.66	0.90	0.91	0.72	0.95	0.58	1.26	0.69	0.97	0.96	0.48	0.64	0.58	0.29	0.95	0.27				
3.00	7.99	2.92	2.79	2.80	2.80	2.51	2.54	2.44	2.35	2.24	2.01	1.97	2.47	1.85	1.76	1.71	1.88	1.58	2.09		2.41	0.28	52	ภาพประกอบ 4.10
ค่า SD	2.65	1.11	1.08	0.89	0.93	0.74	0.81	0.71	0.82	0.78	0.60	0.50	0.79	0.61	0.51	0.27	0.46	0.39						
3.60	6.55	2.51	2.62	2.40	2.22	1.79	2.04	2.18	2.00	1.86	2.02	1.94	1.91	1.91	2.16	1.62	1.89	1.65	2.08	1.73	2.04	0.18	26	ภาพประกอบ 4.11
ค่า SD	1.61	0.76	0.80	0.59	0.60	0.49	0.68	0.66	0.55	0.46	0.49	0.56	0.67	0.53	1.06	0.42	0.59	0.58	0.88	0.55				
2.50 - 3.60	**8.32**	**2.84**	**2.66**	**2.41**	**2.43**	**2.22**	**2.28**	**2.26**	**2.32**	**2.25**	**2.22**	**2.07**	**2.13**	**1.98**	**1.96**	**2.10**	**2.10**	**1.87**	**2.05**	**1.71**	**2.28**	**0.26**	**175**	**ภาพประกอบ 4.12**
ค่า SD	**1.00**	**0.23**	**0.21**	**0.22**	**0.24**	**0.27**	**0.19**	**0.12**	**0.22**	**0.21**	**0.26**	**0.25**	**0.34**	**0.20**	**0.18**	**0.46**	**0.33**	**0.30**	**0.18**	**0.02**				

ตาราง 4.3 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยระหว่างตำแหน่งที่ 4 กับตำแหน่งในช่วงต้นของแถวคอย ในช่องทางตรง

Source	SS	df	MS
Model	63.1699633	27	2.33962827
Residual	1262.20327	2164	.583273231
Total	1325.37324	2191	.604917041

Number of obs	2192
F(27, 2164)	4.01
Prob > F	0.0000
R-squared	0.0477
Adj R-squared	0.0358
Root MSE	.76372

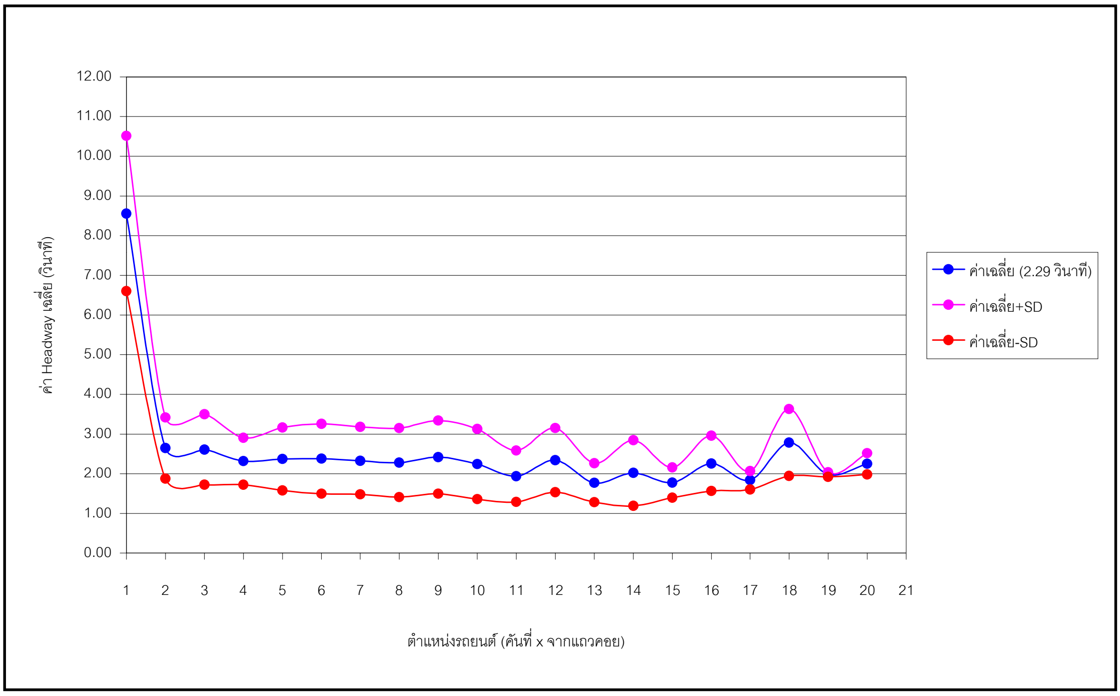
Headway	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
order_2	.2796782	.0851229	3.29	0.001	.112747	.4466094
order_3	.0863125	.0853869	1.01	0.312	-.0811364	.2537613
order_5	-.079875	.0853869	-0.94	0.350	-.2473238	.0875738
order_6	-.1276269	.0849931	-1.50	0.133	-.2943035	.0390496
order_7	-.1881138	.0859325	-2.19	0.029	-.3566326	-.019595
order_8	-.1469375	.0853869	-1.72	0.085	-.3143864	.0205113

ตาราง 4.4 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยระหว่างตำแหน่งที่ 4 กับตำแหน่งในช่วงต้นของแถวคอย ในช่องทางเลี้ยวขวา

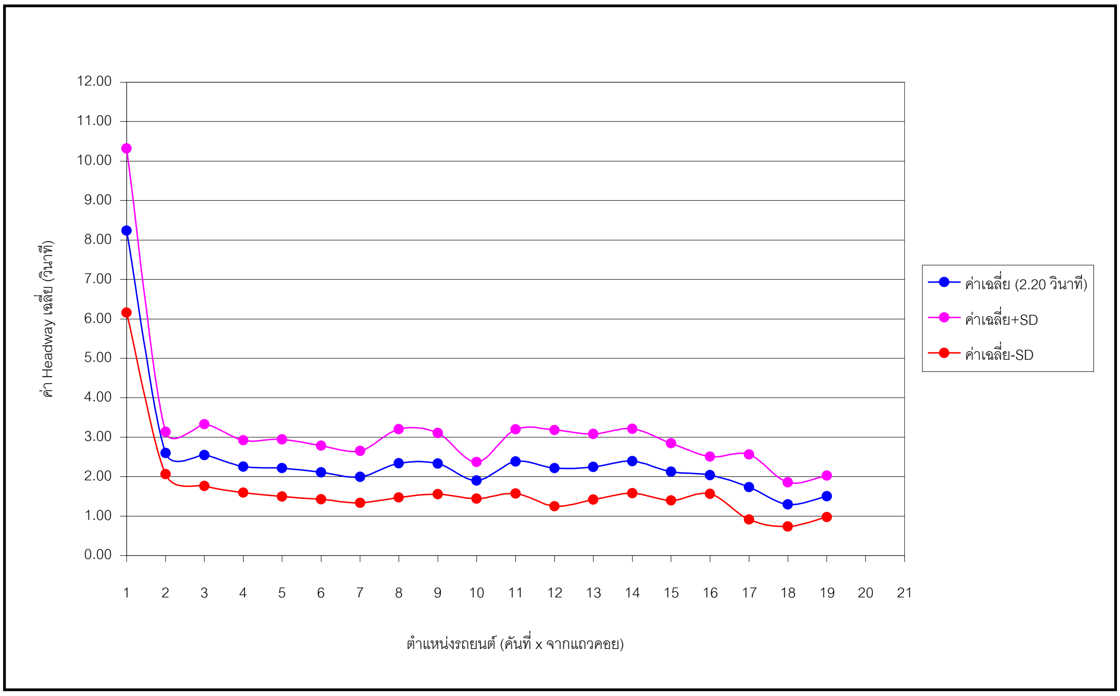
Source	SS	df	MS
Model	111.387807	28	3.97813597
Residual	1579.32615	2433	.649127067
Total	1690.71396	2461	.687002828

Number of obs	2462
F(28, 2433)	6.13
Prob > F	0.0000
R-squared	0.0659
Adj R-squared	0.0551
Root MSE	.80568

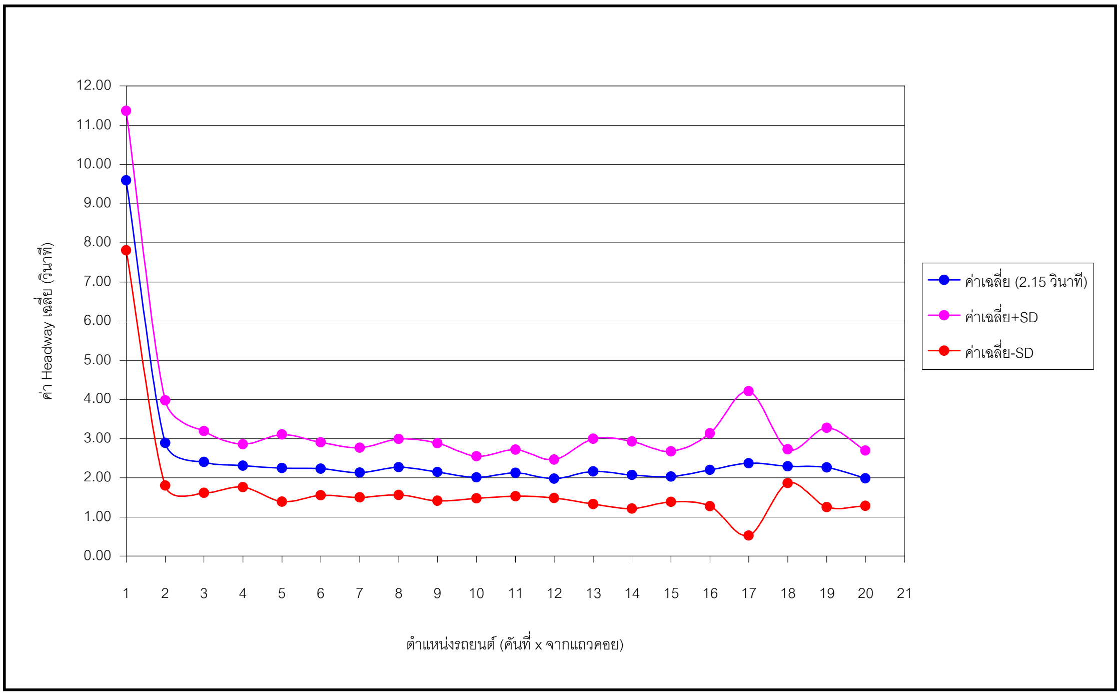
Headway	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
order_2	.2457098	.0920052	2.67	0.008	.0652932	.4261265
order_3	.0194772	.0943181	0.21	0.836	-.1654749	.2044293
order_5	.0020473	.0953662	0.02	0.983	-.18496	.1890546
order_6	-.1063897	.0939856	-1.13	0.258	-.2906898	.0779104
order_7	-.1084249	.0943181	-1.15	0.250	-.2933771	.0765272
order_8	-.1271225	.0941509	-1.35	0.177	-.3117466	.0575016



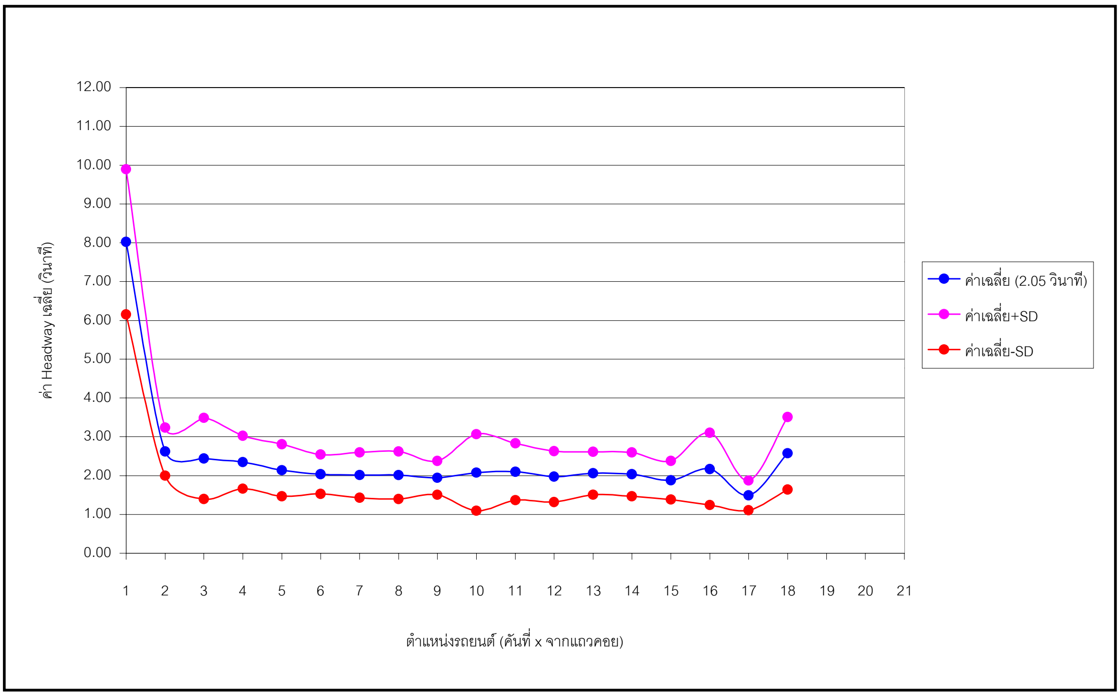
ภาพประกอบ 4.1 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางตรงและความกว้างช่องจราจร 2.60 เมตร)



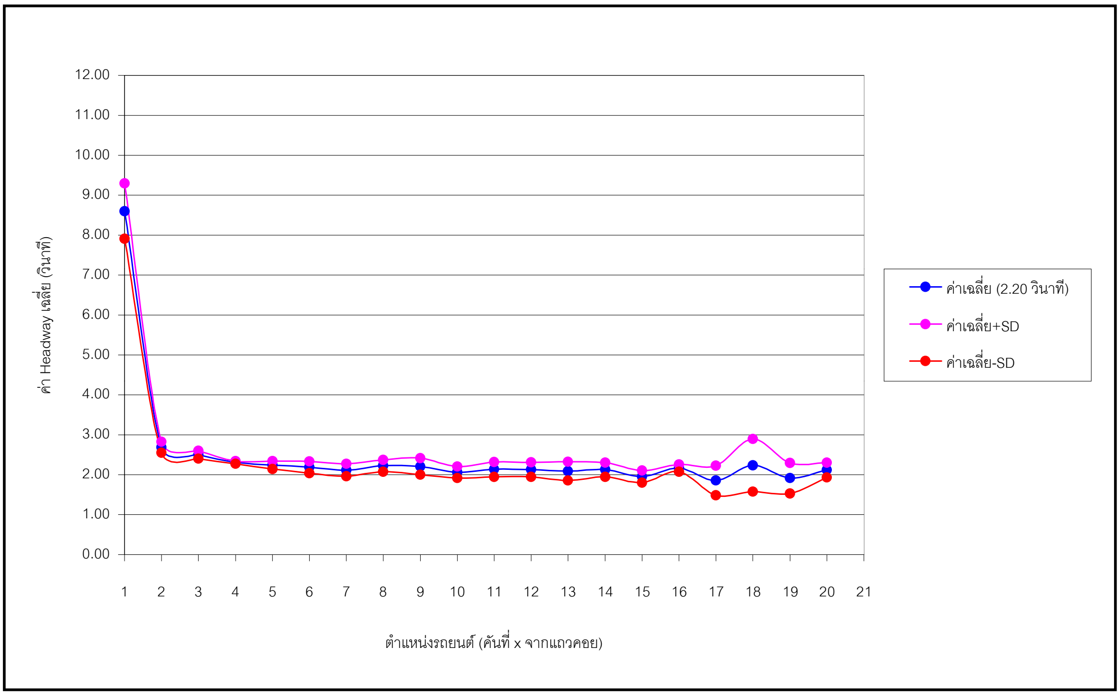
ภาพประกอบ 4.2 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางตรงและความกว้างช่องจราจร 2.65 เมตร)



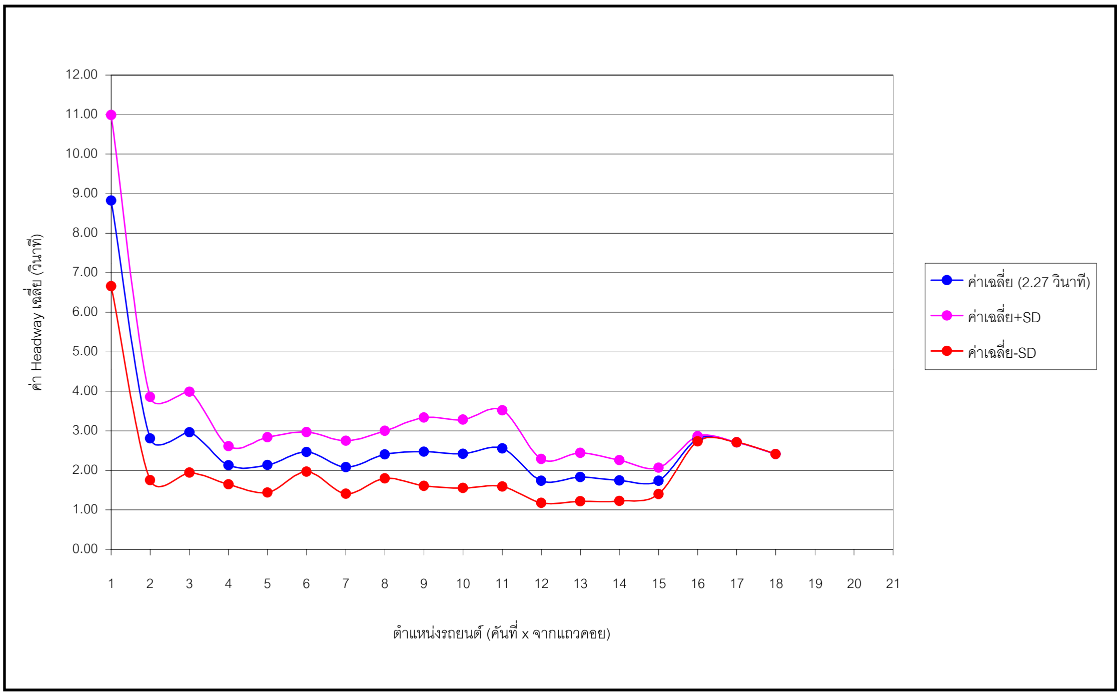
ภาพประกอบ 4.3 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางตรงและความกว้างช่องจราจร 2.70 เมตร)



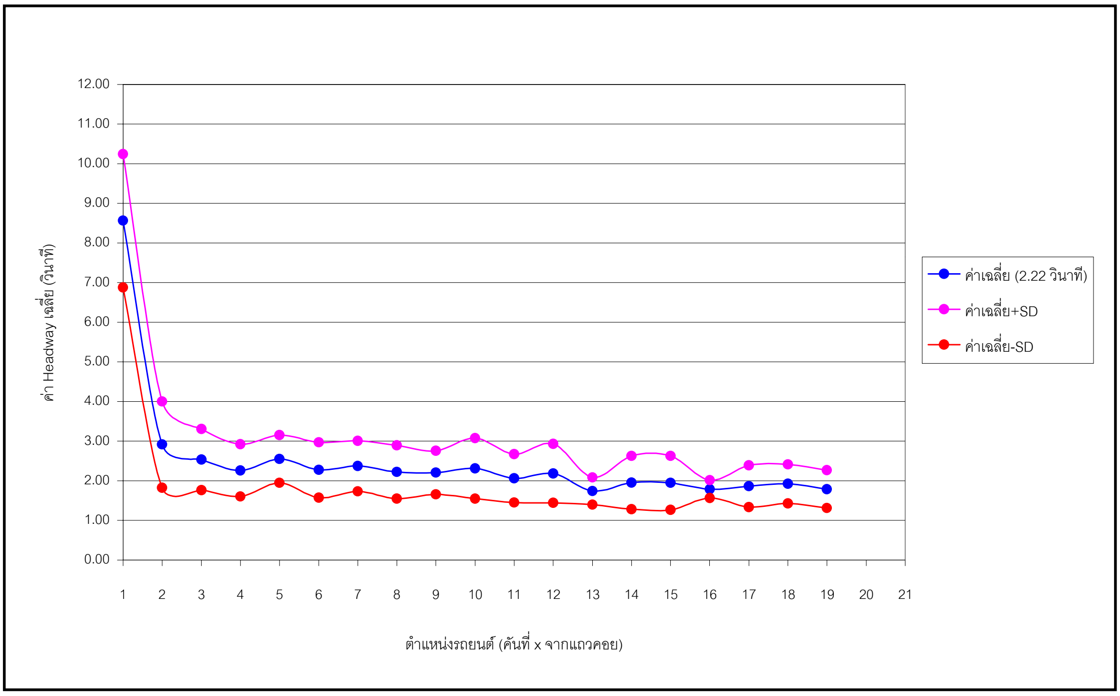
ภาพประกอบ 4.4 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางตรงและความกว้างช่องจราจร 3.30 เมตร)



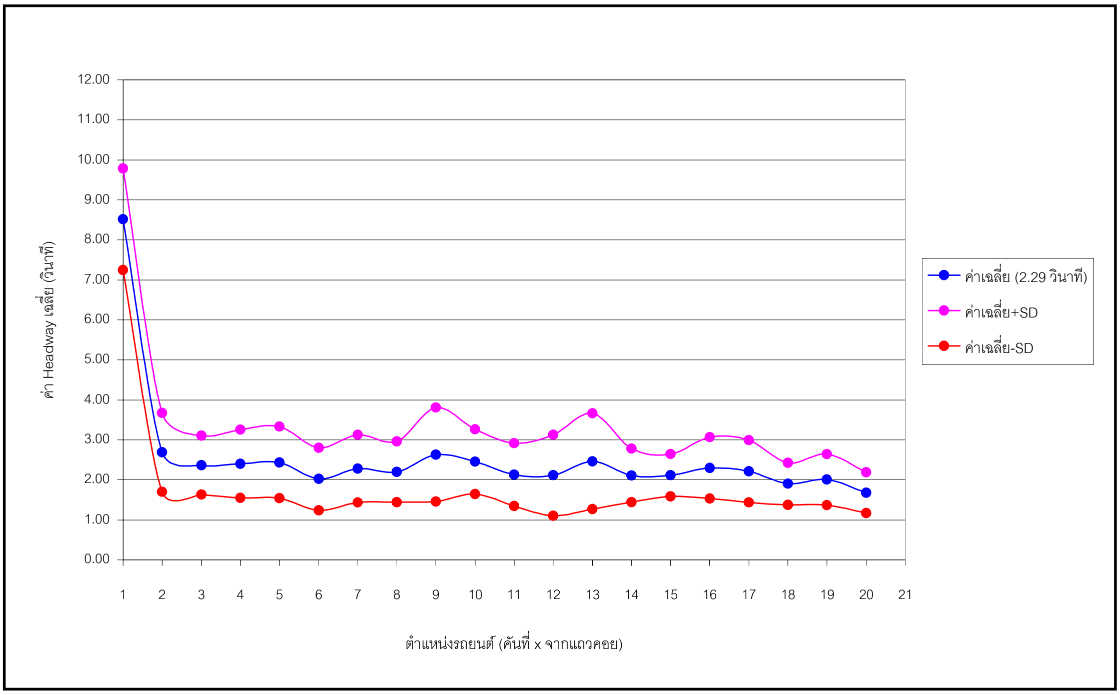
ภาพประกอบ 4.5 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางตรงและช่วงความกว้างช่องจราจร 2.60 - 3.30 เมตร)



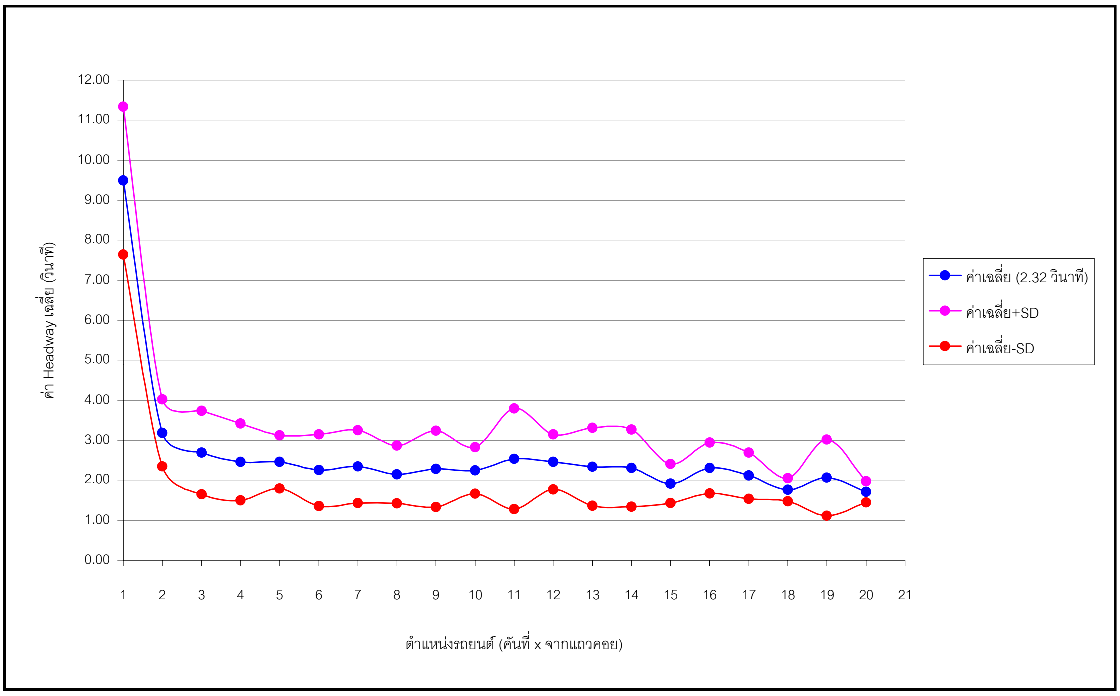
ภาพประกอบ 4.6 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางเลี้ยวขวาและความกว้างช่องจราจร 2.50 เมตร)



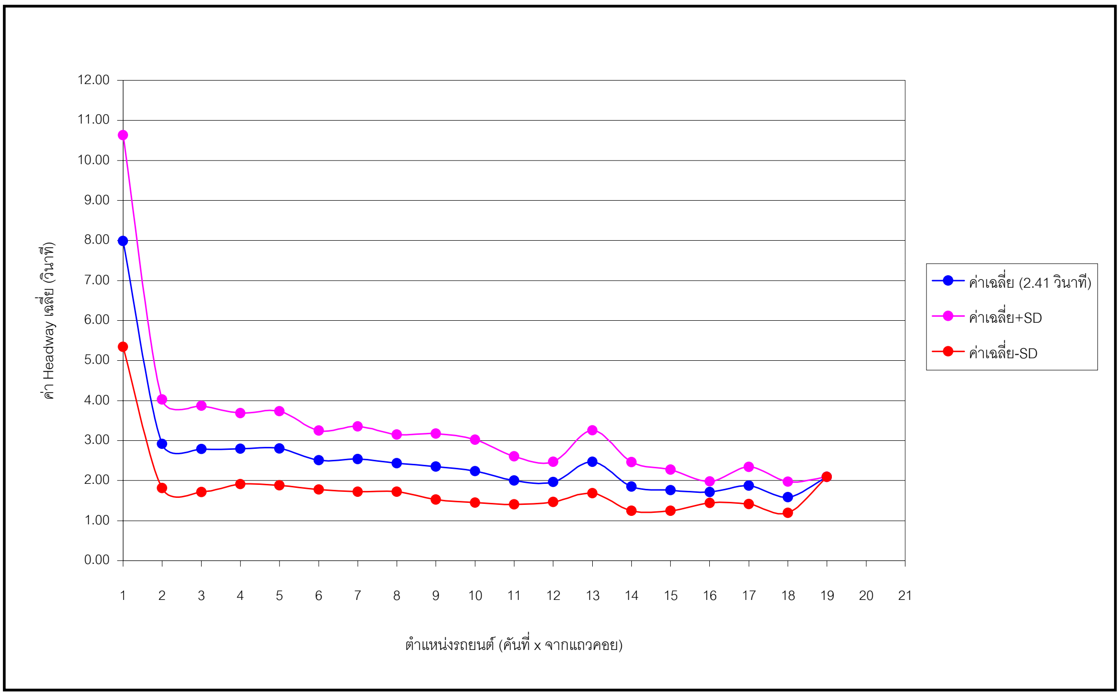
ภาพประกอบ 4.7 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางเลี้ยวขวาและความกว้างช่องจราจร 2.60 เมตร)



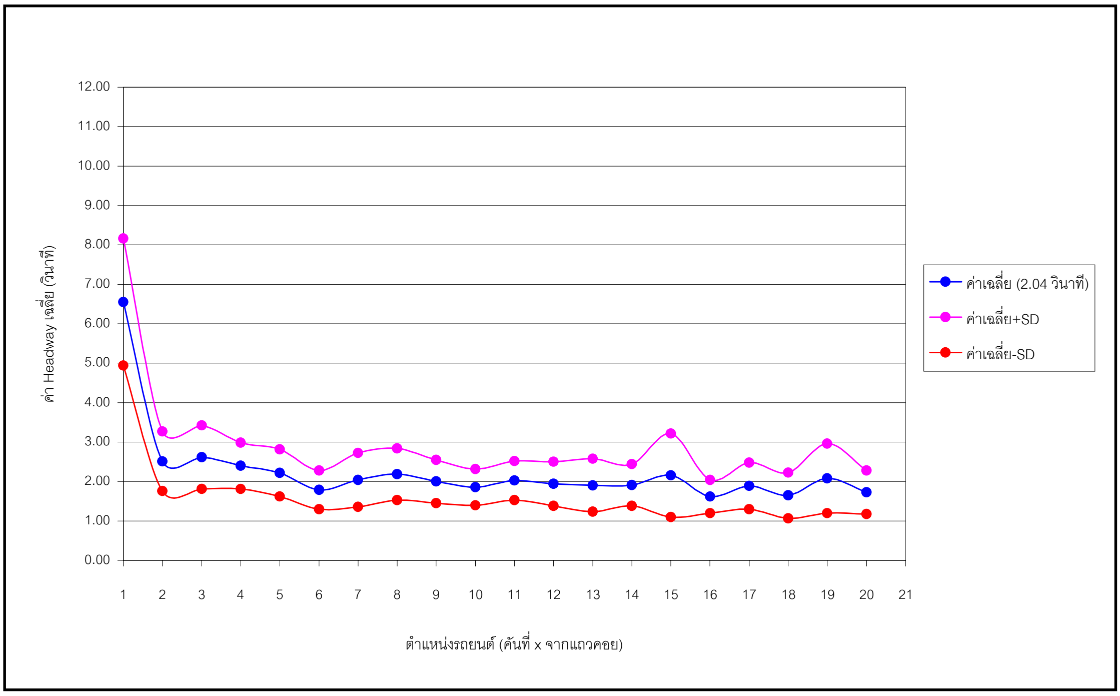
ภาพประกอบ 4.8 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางเลี้ยวขวาและความกว้างช่องจราจร 2.70 เมตร)



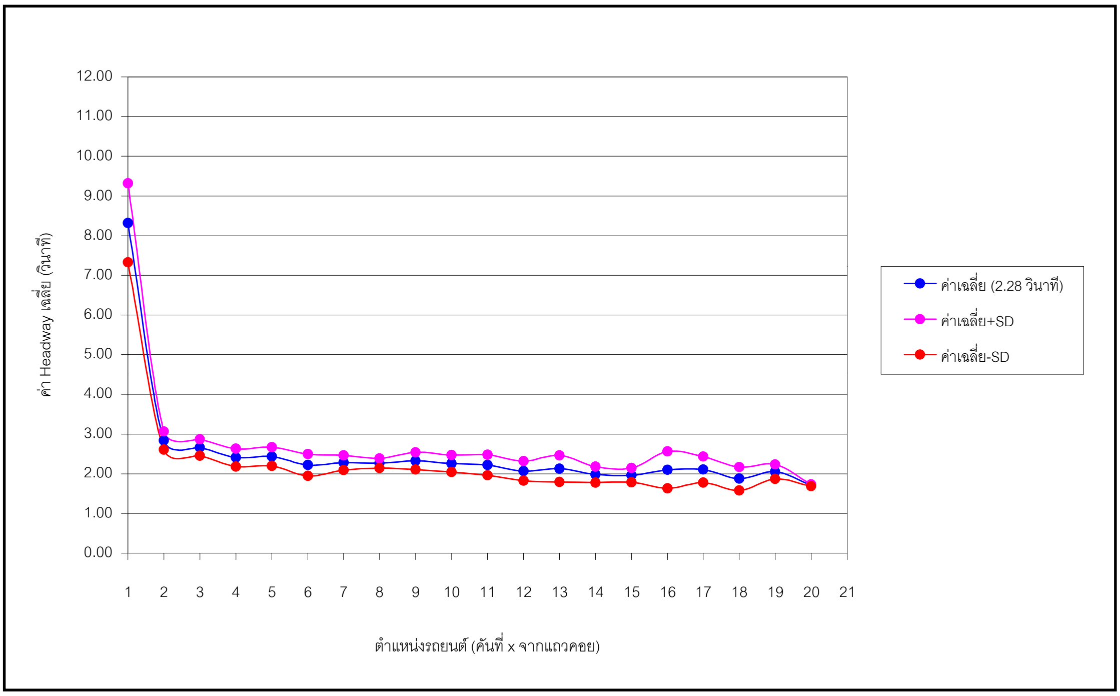
ภาพประกอบ 4.9 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางเลี้ยวขวาและความกว้างช่องจราจร 2.80 เมตร)



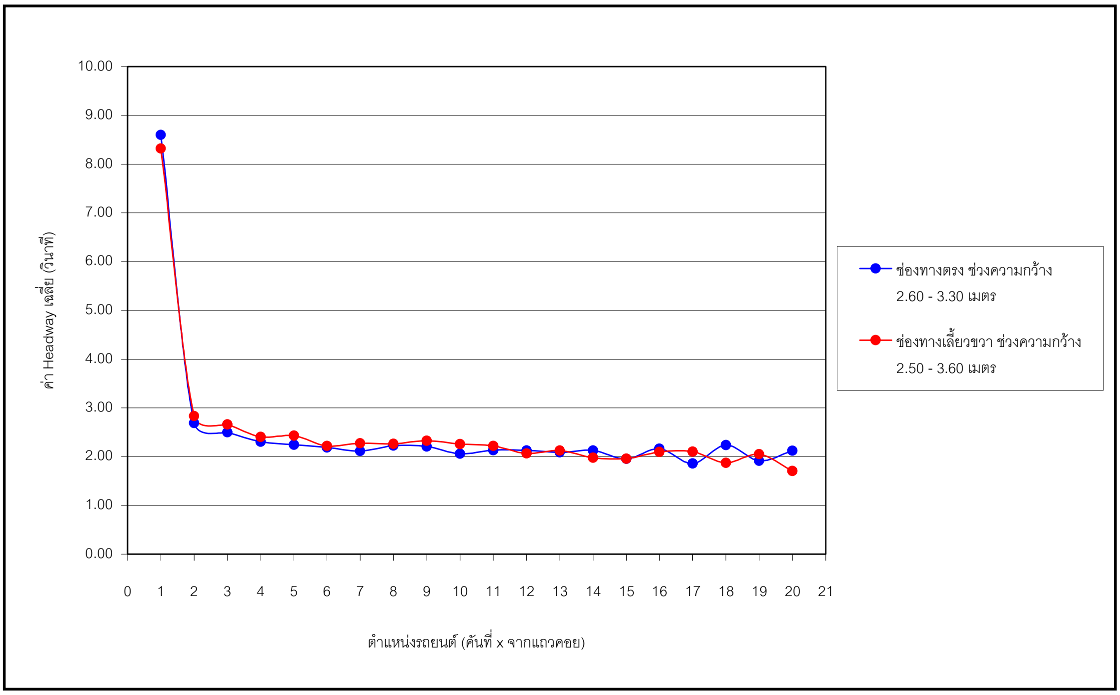
ภาพประกอบ 4.10 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางเลี้ยวขวาและความกว้างช่องจราจร 3.00 เมตร)



ภาพประกอบ 4.11 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางเลี้ยวขวาและความกว้างช่องจราจร 3.60 เมตร)



ภาพประกอบ 4.12 ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย (ช่องทางเลี้ยวขวาและช่วงความกว้างช่องจราจร 2.50 - 3.60 เมตร)



ภาพประกอบ 4.13 เปรียบเทียบระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยกับตำแหน่งรถยนต์ในแถวคอย ระหว่างช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัวโดยเฉลี่ยจากแต่ละค่าความกว้าง (ข้อมูลจากตาราง 4.1 และ 4.2) โดยใช้การทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี t - test ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$t = \frac{\overline{x}_1 - \overline{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \qquad \text{.............(4.1)}$$

โดยมี

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \qquad \text{.............(4.2)}$$

เมื่อ

n_1 และ n_2 คือ จำนวนข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$\overline{x}_1$ และ $\overline{x}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

S_1^2 และ S_2^2 คือ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

จากการทดสอบ พบว่า ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยของแต่ละค่าความกว้างช่องจราจรมีแนวโน้มที่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตาราง 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์โดยเฉลี่ยระหว่างช่องทางตรง (ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.60 - 3.30 เมตร) กับช่องทางเลี้ยวขวา (ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.50 - 3.60 เมตร) พบว่า ค่าทั้งสองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ($t_{Statistic} = 2.95 > t_{Critical}$ (ระดับความเชื่อมั่น 95%, df = 343) = 1.96) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความกว้างของช่องจราจรและคุณลักษณะของการจราจรที่ต่างกันส่งผลกระทบต่อค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์โดยเฉลี่ย

ตาราง 4.5 ผลการทดสอบ t - test ของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจร ของช่องทางตรง

ความกว้าง (เมตร)	2.60	2.65	2.70	3.30
2.60				
2.65	1.77 A			
	2.00 B			
2.70	3.19	1.04		
	1.98	2.00		
3.30	5.59	3.17	2.52	
	1.99	2.01	2.00	

ตาราง 4.6 ผลการทดสอบ t - test ของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจร ของช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้าง (เมตร)	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.60
2.50						
2.60	0.66 A					
	2.05 B					
2.70	0.27	1.24				
	2.05	2.01				
2.80	0.62	1.57	0.48			
	2.04	2.01	2.01			
3.00	1.86	3.36	2.17	1.44		
	2.05	2.00	2.00	2.01		
3.60	3.15	3.35	4.78	4.67	7.09	
	2.06	2.01	2.01	2.02	2.00	

หมายเหตุ: $t_{Statistic} > t_{Critical}$ ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

$A = t_{Statistic}$ และ $B = t_{Critical}$

4.3 ระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้น (Start - Up Lost Time)

การออกรถที่ทางแยกเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวจะเสียเวลาเริ่มต้นช่วงหนึ่ง ก่อนที่รถทุกๆ คันจะวิ่งด้วยความเร็วสม่ำเสมอออกจากด้านของทางแยก ในการศึกษาครั้งนี้ นอกจากคำกล่าวข้างต้นแล้ว ระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นยังเกิดจากการที่ต้องรอให้จำนวนรถจักรยานยนต์ ซึ่งอยู่ในพื้นที่เฉพาะหน้ารถยนต์คันแรกในแถวคอยออกไปก่อนด้วย ซึ่งจำนวนรถจักรยานยนต์ดังกล่าวมีปริมาณมากในช่วงเวลาการจราจรคับคั่ง จากการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละค่าความกว้างของช่องจราจรทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวาโดยใช้สมการที่ 3.3 ผลที่ได้ของค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์แสดงดังตาราง 4.7 และ 4.8 (รายละเอียดการหาค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นในภาคผนวก ค)

ตาราง 4.7 ระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์ในช่องทางตรง

ความกว้าง (เมตร)	ระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นเฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วินาที)	จำนวนรอบสัญญาณไฟ
2.60	6.96	2.36	72
2.65	6.78	2.30	29
2.70	8.43	2.02	42
3.30	6.93	2.23	29
2.60 - 3.30	7.28	2.32	172

ตาราง 4.8 ระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์ในช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้าง (เมตร)	รัศมีการเลี้ยว (เมตร)	ระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นเฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วินาที)	จำนวนรอบสัญญาณไฟ
2.50	20	7.78	2.32	16
2.60	20	7.35	1.90	26
2.70	21	6.70	1.63	30
2.80	21	8.39	1.90	25
3.00	21	6.47	2.87	52
3.60	25	5.56	1.76	26
2.50 - 3.60		6.90	2.35	175

จากตาราง 4.7 และ 4.8 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์ในช่องทางตรง (ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.60 - 3.30 เมตร) และช่องทางเลี้ยวขวา (ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.50 - 3.60 เมตร) มีค่าเท่ากับ 7.28 และ 6.90 วินาที ตามลำดับ และมีความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยค่อนข้างมาก คือ 31.9% ในช่องทางตรง และ 34.1% ในช่องทางเลี้ยวขวา โดยในช่องทางตรงค่าเวลาสูญเสียเริ่มต้นดังกล่าวมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ Surasak (1998), Nguyen (1999) และ วิลาสินี (2545) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.54, 3.64 และ 3.66 วินาที ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นโดยเฉลี่ยในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจร โดยใช้การทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี t - test ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา พบว่า ระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นโดยเฉลี่ยในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจรมีแนวโน้มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตาราง 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นโดยเฉลี่ยระหว่างช่องทางตรงกับช่องทางเลี้ยวขวา พบว่า ค่าทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ($t_{Statistic} = 1.51 < t_{Critical}$ (ระดับความเชื่อมั่น 95%, df = 345) = 1.96)

และเนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้มีการจัดพื้นที่เฉพาะสำหรับจอดรถจักรยานยนต์ในขณะที่รอสัญญาณไฟ ซึ่งกลุ่มของรถจักรยานยนต์เหล่านี้มีจำนวนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในช่องเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล (ช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง) ดังนั้น จากผลการศึกษาที่ได้ อาจกล่าวได้ว่า จำนวนและตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ที่จอดอยู่หน้าแถวคอยของรถยนต์มีผลต่อค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์ แต่ในการศึกษานี้มีเพียงการหาค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์สำหรับเป็นองค์ประกอบเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองการไหลอิ่มตัวเท่านั้น ไม่ได้ทำการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถจักรยานยนต์ที่จอดอยู่หน้าแถวคอยกับระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์

ตาราง 4.9 ผลการทดสอบ t - test ของค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์ในแต่ละค่าความ-กว้างช่องจราจร ของช่องทางตรง

ความกว้าง (เมตร)	2.60	2.65	2.70	3.30
2.60				
2.65	0.35 [A]			
	2.01 [B]			
2.70	3.52	3.12		
	1.99	2.01		
3.30	0.06	0.25	2.89	
	2.01	2.00	2.00	

ตาราง 4.10 ผลการทดสอบ t - test ของค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์ในแต่ละค่าความ-กว้างช่องจราจร ของช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้าง (เมตร)	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.60
2.50						
2.60	0.62 [A]					
	2.05 [B]					
2.70	1.66	1.36				
	2.07	2.01				
2.80	0.88	1.95	3.50			
	2.05	2.01	2.01			
3.00	1.87	1.61	0.46	3.49		
	2.04	2.00	1.99	2.00		
3.60	3.29	3.52	2.51	5.51	1.73	
	2.06	2.01	2.01	2.01	2.00	

หมายเหตุ: $t_{Statistic} > t_{Critical}$ ระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

$A = t_{Statistic}$ และ $B = t_{Critical}$

4.4 ระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถ (Clearance Lost Time)

การหาค่าระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถ จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการจับเวลาโดยตรงของรถคันสุดท้ายที่วิ่งผ่านเส้นหยุดในช่วงเวลาสัญญาณไฟ (ไฟเขียว + ไฟเหลือง) ซึ่งคัดเลือกเฉพาะรอบสัญญาณไฟที่เกิดการไหลอิ่มตัวตลอดช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเท่านั้น โดยการศึกษานี้จะทำการหาค่าระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถเฉลี่ยสำหรับเป็นองค์ประกอบเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองการไหลอิ่มตัวเท่านั้น ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตาราง 4.11 และ 4.12 (รายละเอียดการหาค่าระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถในภาคผนวก ง)

ตาราง 4.11 ระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถในช่องทางตรง

ความกว้าง (เมตร)	ระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถเฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วินาที)	จำนวนรอบสัญญาณไฟ
2.60	2.81	1.43	46
2.65	1.69	1.10	23
2.70	2.00	1.22	33
3.30	1.42	1.26	27
2.60 - 3.30	2.11	1.39	129

ตาราง 4.12 ระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถในช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้าง (เมตร)	รัศมีการเลี้ยว (เมตร)	ระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถเฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วินาที)	จำนวนรอบสัญญาณไฟ
2.50	20	2.70	1.56	21
2.60	20	2.27	1.54	29
2.70	21	2.85	0.83	27
2.80	21	2.14	1.50	21
3.00	21	1.78	1.41	46
3.60	25	1.74	1.34	23
2.50 - 3.60		2.19	1.42	167

เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถโดยเฉลี่ยในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจร โดยใช้การทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี t - test ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา พบว่า ระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถโดยเฉลี่ยในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจรมีแนวโน้มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตาราง 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถโดยเฉลี่ยระหว่างช่องทางตรง (ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.60 - 3.30 เมตร) กับช่องทางเลี้ยวขวา (ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.50 - 3.60 เมตร) พบว่าค่าทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ($t_{Statistic} = 0.49 < t_{Critical}$ (ระดับความเชื่อมั่น 95%, df = 278) = 1.96)

ค่าระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถเฉลี่ยของทุกค่าความกว้างของช่องจราจรในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวามีค่าใกล้เคียงกัน คือ 2.11 และ 2.19 วินาที ตามลำดับ และมีความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูง คือ 65.9% ในช่องทางตรง และ 64.8% ในช่องทางเลี้ยวขวา โดยมีค่าใกล้เคียงกับเวลาไฟแดงทุกเฟส ที่อยู่ในช่วง 2 - 3 วินาที และอยู่ในช่วงเวลาของสัญญาณไฟเหลือง (3 วินาที) จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถเป็นช่วงเวลาที่ผู้ขับขี่กำลังตัดสินใจว่าจะหยุดหรือผ่านสัญญาณไฟไป เมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟเขียวและได้รับสัญญาณไฟเหลือง ซึ่งจากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า ผู้ขับขี่ส่วนใหญ่จะชะลอความเร็วของรถเมื่อได้รับสัญญาณไฟเหลืองกระพริบและมีการฝ่าสัญญาณไฟแดงน้อย โดยระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ซึ่งไม่ได้ทำการศึกษาในที่นี้

ตาราง 4.13 ผลการทดสอบ t - test ของค่าระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถของรถยนต์ในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจร ของช่องทางตรง

ความกว้าง (เมตร)	2.60	2.65	2.70	3.30
2.60				
2.65	3.59 [A]			
	2.00 [B]			
2.70	2.70	0.99		
	2.00	2.01		
3.30	4.33	0.81	1.80	
	2.00	2.01	2.00	

ตาราง 4.14 ผลการทดสอบ t - test ของค่าระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถของรถยนต์ในแต่ละค่าความกว้างช่องจราจร ของช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้าง (เมตร)	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.60
2.50						
2.60	0.97 ^{A}					
	2.02 ^{B}					
2.70	0.40	1.77				
	2.05	2.02				
2.80	1.19	0.30	1.95			
	2.02	2.02	2.05			
3.00	2.31	1.39	4.09	0.93		
	2.03	2.00	2.00	2.02		
3.60	2.18	1.33	3.46	0.93	0.12	
	2.02	2.01	2.03	2.02	2.01	

หมายเหตุ: $t_{Statistic} > t_{Critical}$ ระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

$A = t_{Statistic}$ และ $B = t_{Critical}$

4.5 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถชนิดต่างๆ (Passenger Car Equivalent, PCE)

กระแสจราจรที่ประกอบด้วยรถหลายประเภทในสัดส่วนที่ต่างกัน จำเป็นต้องทำการหาค่าเทียบเท่าในหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถประเภทต่างๆ เพื่อใช้เป็นตัวคูณในการศึกษาอัตราการไหลอิ่มตัวของการจราจร และเนื่องจากประเภทของรถที่ประกอบอยู่ในระบบการจราจรมีผลโดยตรงต่อค่าอัตราการไหลอิ่มตัว ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงได้ทำการทดลองหาค่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถชนิดต่างๆ ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา โดยอาศัยทฤษฎีลักษณะการเกิดอัตราการไหลอิ่มตัวของ TRRL (1963) และขั้นตอนการวิเคราะห์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.3.4 ของบทที่ 3 ซึ่งในการหาช่วงเวลาที่เกิดการไหลอิ่มตัว จำเป็นต้องทราบค่าระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นและระยะเวลาสูญเสียจากการหยุดรถ โดยในที่นี้ค่าทั้งสองดังกล่าวจะใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากหัวข้อที่ 4.3 และ 4.4 ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้แสดงอยู่ในตาราง 4.15 (รายละเอียดของข้อมูลการวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก จ)

ตาราง 4.15 สรุปค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะชนิดต่างๆ

ความกว้าง (เมตร)	pcu สำหรับ รถจักรยานยนต์	ค่า Std. Err.	pcu สำหรับ รถตุ๊กๆ	ค่า Std. Err.	pcu สำหรับ รถโดยสาร 2 แถว	ค่า Std. Err.	pcu สำหรับ รถบรรทุก 4 - 10 ล้อ	ค่า Std. Err.	pcu สำหรับ รถบัสโดยสารประจำทาง	ค่า Std. Err.	จำนวนรอบ สัญญาณไฟ
พิจารณาเฉพาะช่องทางตรง											
2.60	0.66	0.121	0.73	0.226	1.53	0.358	1.02	0.318	1.33	0.749	46
2.65	0.16*	0.223	1.25	0.301	0.31*	1.206	1.73*	1.647	4.44	1.158	23
2.70	0.29*	0.167	0.83	0.288	0.70	0.092	0.98*	0.823	1.20	0.366	33
3.30	0.74	0.277	1.24	0.205	1.43	0.380	1.76	0.306	0.38*	0.815	27
2.60 - 3.30	0.54	0.084	1.00	0.134	0.86	0.066	1.29	0.214	1.87	0.308	129
พิจารณาเฉพาะช่องทางเลี้ยวขวา											
2.50	0.25*	0.454	0.91*	0.447	2.18*	1.036	1.71*	1.097	2.09	0.394	21
2.60	0.01*	0.426	0.85	0.345	1.13*	0.616	1.14	0.253	5.35	1.339	29
2.70	0.42*	0.210	0.58*	0.310	0.09*	0.676	3.02	0.840	0.32*	1.113	27
2.80	0.11*	0.172	0.29*	0.538	0.03*	0.340	1.55*	0.785	1.33*	1.143	21
3.00	0.06*	0.110	0.51	0.191	0.38*	0.706	0.58*	1.013	1.77*	1.713	46
3.60	0.34*	0.601	1.26	0.471	1.04*	1.191	2.40*	1.533	1.14*	1.190	23
2.50 - 3.60	0.41	0.059	0.80	0.136	0.75	0.222	1.57	0.213	2.28	0.244	167
พิจารณาโดยรวมทั้งช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา											
2.50 - 3.60	0.41	0.046	1.00	0.096	1.01	0.064	1.47	0.153	2.11	0.190	296

หมายเหตุ: * หมายถึง ค่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตาราง 4.15 ค่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถชนิดต่างๆ เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา ทุกค่าเป็นค่าที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งในการหาค่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพื่อใช้สร้างแบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัวในการศึกษานี้ ได้ใช้ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลดังกล่าว โดยค่าที่ได้มีดังนี้

1 รถจักรยานยนต์ (MC) = 0.41 หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1 รถตุ๊ก ๆ (TT) = 1.00 หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1 รถโดยสาร 2 แถว (P) = 1.01 หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1 รถบรรทุก (T) = 1.47 หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1 รถบัสโดยสารประจำทาง (B) = 2.11 หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ตาราง 4.16 เปรียบเทียบการใช้ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในพื้นที่ศึกษาเดียวกัน

ประเภทของยานพาหนะ	ค่าใช้งานในการศึกษา*	ผลการศึกษา
รถจักรยานยนต์	0.25	0.41
รถตุ๊กๆ	1.00	1.00
รถเก๋ง, รถกระบะ และรถตู้	1.00	1.00
รถโดยสาร 2 แถว	1.00	1.01
รถบรรทุก 4 - 10 ล้อ	2.00	1.47
รถบรรทุก 10 ล้อขึ้นไป	2.50	
รถบัสโดยสารประจำทาง	2.50	2.11

หมายเหตุ: * ข้อมูลจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545

จากผลการศึกษา ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถตุ๊กๆ และรถโดยสาร 2 แถว มีค่าใกล้เคียง 1.00 แสดงว่า จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2 ชนิดของรถยนต์ 4 ล้อ (รถตุ๊กๆ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถโดยสาร 2 แถว) สามารถใช้เป็นตัวแทนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ ดังนั้น ค่าอัตราการไหลอิ่มตัวที่ได้ จึงมีหน่วยเป็นคันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการใช้ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในพื้นที่ศึกษาเดียวกันจากตาราง 4.16 พบว่า ยังมีค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภทอื่นๆ ซึ่งมีค่าแตกต่างจากผลการศึกษา ได้แก่ ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถจักรยานยนต์ รถบรรทุก 4 - 10 ล้อ และรถบัสโดยสารประจำทาง

ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถจักรยานยนต์ จากผลการศึกษาที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าจากการศึกษานี้ (0.41) มีค่าสูงกว่างานวิจัยอื่นๆ ได้แก่ Chang Chien (1978), ครรชิต (2526), Nguyen (1999) และ วิลาสินี (2545) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.24, 0.24, 0.22 และ 0.22 ตามลำดับ แต่เป็นค่าที่มีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น โดย PWRI (1995) (ตาราง 2.10) ในกรณีที่รถจักรยานยนต์อยู่ระหว่างรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (ภาพประกอบ 2.10) ซึ่งค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถจักรยานยนต์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.56 - 0.83 (สำหรับช่วงความกว้างของช่องจราจร 3.0 - 4.0 เมตร และน้อยกว่า 3.0 เมตร ตามลำดับ) และการศึกษาของ May and Montgomery (1986) ที่ปรากฏใน กมล ปุ่นศิริ (2542) ซึ่งได้ให้คำแนะนำว่าควรใช้ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถจักรยานยนต์เท่ากับศูนย์ สำหรับกลุ่มของรถจักรยานยนต์ที่จอดรอสัญญาณไฟเขียวและสามารถขับผ่านเส้นหยุดไปได้ในช่วง 6 วินาทีแรกของเวลาไฟเขียว (ซึ่งในการศึกษานี้คือจำนวนจักรยานยนต์ที่อยู่ในพื้นที่เฉพาะหน้ารถยนต์คันแรกในแถวคอยที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุดไปได้หมดในช่วงระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นของสัญญาณไฟ) สำหรับรถจักรยานยนต์อื่นๆ จะมีค่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลอยู่ระหว่าง 0.53 - 0.65 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ที่อยู่ในช่องทางจราจร

สำหรับค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถบรรทุก 4 - 10 ล้อ จากการศึกษานี้ (1.47) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ Chang Chien (1978), ครรชิต (2526) และ Tan (1991) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.65, 1.65 และ 1.53 ตามลำดับ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันพอสมควร

จากที่กล่าวมาเกี่ยวกับค่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากผลการศึกษา ซึ่งค่อนข้างมีความแตกต่างเมื่อเทียบกับค่าที่ใช้กันอยู่ในพื้นที่ศึกษาเดียวกัน และค่าจากผลการศึกษาของงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้สาเหตุสำคัญ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการหาค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล อาจเกิดจากในช่วงเวลาที่ทำการสำรวจเก็บข้อมูลเดียวกัน ปริมาณของยานพาหนะชนิดต่างๆ ที่เคลื่อนออกจากแต่ละด้านของทางแยก ในแต่ละรอบสัญญาณไฟมีปริมาณไม่คงที่ (รายละเอียดของข้อมูลในแต่ละรอบสัญญาณไฟในภาคผนวก ฉ และข้อมูลโดยสรุปดังตาราง 4.17 และ 4.18)

ตาราง 4.17 ปริมาณจราจรโดยเฉลี่ยในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัวของแต่ละรอบสัญญาณไฟ ในช่องทางตรง

ความกว้างช่องจราจร (เมตร)	ปริมาณจราจรโดยเฉลี่ยในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว (%)					
	MC	TT	C	P	T	B
2.60	13.00	6.73	74.88	2.00	2.86	0.53
2.65	4.03	9.91	84.44	0.55	0.29	0.79
2.70	6.35	7.96	55.81	25.00	0.60	4.28
3.30	3.39	8.24	81.30	2.27	4.26	0.53

ตาราง 4.18 ปริมาณจราจรโดยเฉลี่ยในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัวของแต่ละรอบสัญญาณไฟ ในช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้างช่องจราจร (เมตร)	ปริมาณจราจรโดยเฉลี่ยในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว (%)					
	MC	TT	C	P	T	B
2.50	3.58	9.04	75.00	1.42	1.07	9.88
2.60	4.10	4.71	81.30	1.11	8.44	0.34
2.70	10.42	4.95	81.66	1.48	1.05	0.44
2.80	22.94	4.03	63.99	6.58	1.64	0.82
3.00	23.86	6.90	68.02	0.49	0.59	0.14
3.60	0.88	5.89	91.37	0.82	0.53	0.51

หมายเหตุ: คำอธิบายตัวย่อของประเภทยานพาหนะอยู่ในหัวข้อที่ 3.3.4 หน้า 60

4.6 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางตรงสำหรับรถเลี้ยว (Through Car Unit, tcu)

หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางตรงสำหรับรถเลี้ยว หมายถึง รถเลี้ยวแต่ละคันในช่วงที่มีการไหลอิ่มตัวจะมีค่าเท่ากับจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจำนวนหนึ่งในช่องทางตรง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ จะวิเคราะห์เฉพาะช่องทางเลี้ยวขวาที่ไม่มีรถสวนเท่านั้น โดยคำนวณค่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางตรงสำหรับรถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน จากสมการ

$$\textit{หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางตรงสำหรับรถเลี้ยวขวา} = \frac{\textit{อัตราการไหลอิ่มตัวในช่องทางตรง (pcu/hr)}}{\textit{อัตราการไหลอิ่มตัวในช่องทางเลี้ยวขวา (pcu/hr)}} \quad (4.3)$$

ตาราง 4.19 หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางตรงสำหรับรถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน

ความกว้าง (เมตร)	อัตราการไหลอิ่มตัวเฉลี่ยในช่องทางตรง (pcu/hr)	อัตราการไหลอิ่มตัวเฉลี่ยในช่องทางเลี้ยวขวา (pcu/hr)	หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางตรงสำหรับรถเลี้ยวขวา (tcu)
2.60	1,548	1,549	1.00
2.70	1,583	1,615	0.98
ค่าเฉลี่ย			0.99

จากผลการศึกษาในตาราง 4.19 (เฉพาะช่องจราจรที่มีความกว้างเท่ากันทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา) พบว่า ค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางตรงสำหรับรถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวนมีค่าเท่ากับ 0.99 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Akcelik (1981) ที่ทำการประมาณค่าปริมาณการจราจรอิ่มตัวในหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางตรงต่อชั่วโมง (ตาราง 2.9) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.0 และจากการศึกษาของ Webster (1964) ที่ปรากฏใน ครรชิต (2526) ซึ่งทำการศึกษารถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน โดยเน้นที่รถเลี้ยวเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ผลการศึกษาที่ได้ คือ รถเลี้ยวขวา 1 คัน เท่ากับ $\left(1+\frac{5}{r}\right)$ รถทางตรง เมื่อ r คือ รัศมีความโค้งของการเลี้ยว (ฟุต) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษานี้โดยมีรัศมีการเลี้ยวขวาของทางแยกมากกว่า 20 เมตร จากสูตรข้างต้น พบว่า รถเลี้ยวขวา 1 คัน เท่ากับ 1.08 รถทางตรง (ที่รัศมีการเลี้ยวเท่ากับ 20 เมตร) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าจากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2 ซึ่งชนิดของรถเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยมีค่าเท่ากับ 1.04

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอิ่มตัวกับลักษณะทางเรขาคณิตและคุณลักษณะการจราจร

สมการถดถอย (Regression Equation) เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ตรวจสอบลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ซึ่งอาศัยความรู้ ประสบการณ์ และการทดลองเป็นหลัก โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเอาลักษณะความสัมพันธ์นั้นไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป การศึกษานี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของสมการในรูปเชิงเส้นระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 3 ชุดขึ้นไป หรือพูดง่ายๆ ก็คือ ตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรตาม (อัตราการไหลอิ่มตัว) และมีตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (ลักษณะทางเรขาคณิตและคุณลักษณะการจราจร) เรียกว่า การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปร (Multiple Linear Regression) ซึ่งองค์ประกอบของสมการถดถอย ประกอบด้วย ตัวแปรตาม (Dependent Variable, *Y*) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable, *X*) ดังสมการ

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \qquad \text{………….(4.4)}$$

4.7.1 การเลือกสมการถดถอยที่ดีที่สุด (Selecting the Best Regression Equation)

ในการศึกษาสมการถดถอยของข้อมูลชุดใดก็ตาม สมการถดถอยดังกล่าวจะดีและมีประสิทธิภาพ ถ้ามีลักษณะดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (b) ต้องแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นสูง (ในการศึกษานี้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95%) และมีเครื่องหมายสอดคล้องกับทฤษฎี

2. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) สูงพอสมควร ในกรณีที่ทราบลักษณะแนวโน้มของข้อมูลว่าจะมีลักษณะแบบจำลองเป็นแบบใด ในทางปฏิบัตินิยมสร้างแบบจำลองหลายๆ แบบแล้วนำมาพิจารณา โดยแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดจะมีค่า R^2 สูงที่สุด นอกจากนี้ค่า R^2 ยังมีประโยชน์ คือ

ก) R^2 เป็นเครื่องวัดความใกล้ชิดระหว่างเส้นสมการถดถอยกับการกระจายของค่าที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งหมายความว่า ถ้า R^2 มีค่ามาก ค่าที่เกิดขึ้นจริงจะอยู่ใกล้ชิดกับเส้นสมการถดถอย

ข) R^2 เป็นเครื่องวัดความเหมาะสมของรูปแบบของเส้นสมการถดถอยว่าจะแสดงแนวโน้มของข้อมูลได้มากน้อยเพียงใด เช่น กรณีที่ใช้สมการถดถอยของข้อมูลเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า ถ้า R^2 มีค่าใกล้เคียง 1.0 แสดงว่า แนวโน้มของข้อมูลจะเป็นลักษณะเส้นตรงมากที่สุด

ค) R^2 เป็นเครื่องแสดงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) ที่มีต่อตัวแปรตาม (Y) ทั้งนี้เนื่องจากค่า R^2 ที่คำนวณได้จะบอกให้ทราบว่า การกระจายทั้งหมดของค่า Y สามารถอธิบายได้จากเส้นสมการถดถอยกี่เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ อาจกล่าวได้อีกอย่างว่า R^2 นั้นบอกให้ทราบว่า การกระจายของค่า Y ทั้งหมดสามารถอธิบายด้วยค่า X ได้กี่เปอร์เซ็นต์ หรือ X มีอิทธิพลต่อ Y กี่เปอร์เซ็นต์ เช่น ถ้าค่า R^2 เท่ากับ 0.7958 หมายความว่า สมการถดถอยนี้สามารถอธิบายการกระจายของ Y ได้ 79.58% หรือค่า X มีอิทธิพลต่อค่า Y 79.58% แต่ในความเป็นจริง นอกจากตัวแปร X ยังมีตัวแปรอิสระอื่นๆ อีกที่มีอิทธิพลต่อค่า Y ซึ่งไม่ได้นำมาพิจารณา ดังนั้น จากค่า R^2 ข้างต้น แสดงว่า ตัวแปรอิสระที่กำลังพิจารณาอยู่เท่านั้น ที่รู้ว่ามีอิทธิพลต่อค่า Y เท่ากับ 79.58% ส่วนตัวแปรอิสระอื่นๆ นอกเหนือไปจาก X รวมแล้วยังมีอิทธิพลต่อค่า Y เท่ากับ 20.42%

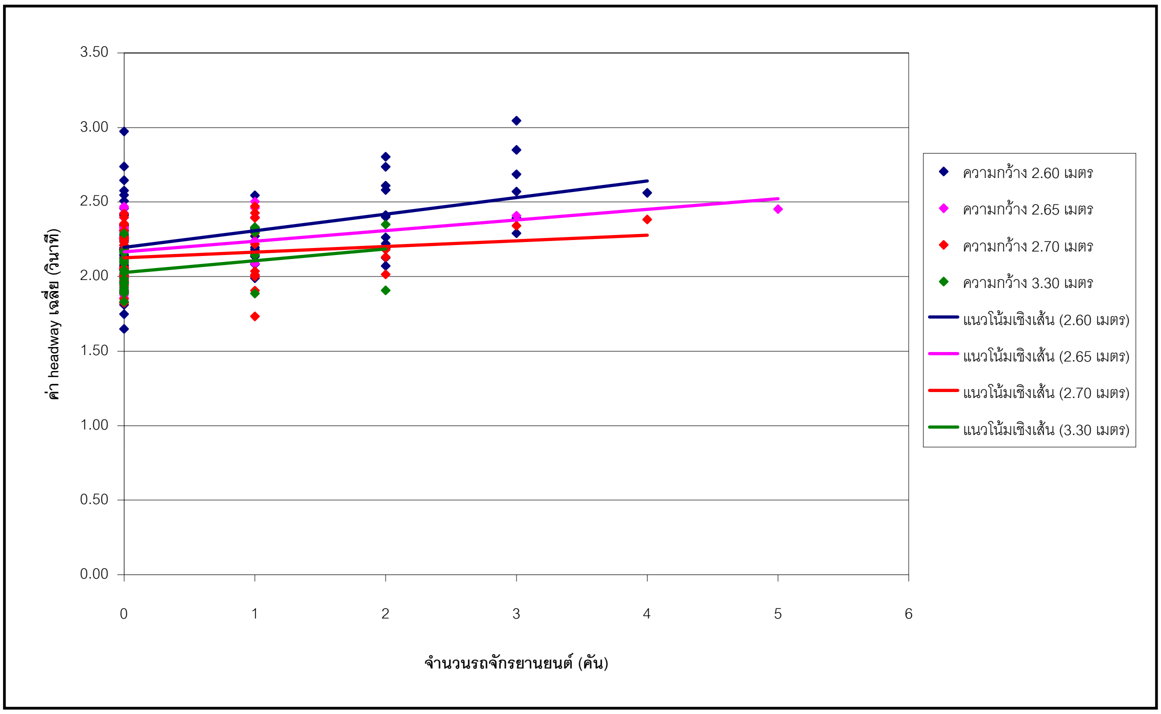
3. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted Coefficient of Determination, $\overline{R^2}$) กรณีข้อมูลที่นำมาศึกษามีจำนวน (n) น้อย การใช้ R^2 เป็นตัวบ่งชี้ว่าสมการถดถอยดังกล่าวสามารถอธิบายการกระจายของค่า Y ทั้งหมดได้เท่านั้นเท่านี้เปอร์เซ็นต์นั้น อาจมีข้อผิดพลาดและมีความคลาดเคลื่อน เพื่อขจัดปัญหานี้ จึงต้องนำค่า R^2 มาปรับเสียใหม่ เรียกว่า Adjusted R^2 ($\overline{R^2}$) โดยที่ ถ้า n มีจำนวนน้อย จะทำให้ค่า $\overline{R^2}$ น้อยกว่า R^2 และถ้า n มีจำนวนมาก จะทำให้ค่า $\overline{R^2}$ ใกล้เคียงกับ R^2 (ในทางปฏิบัติถือว่า $n < 30$ เป็นตัวอย่างขนาดเล็ก)

4. การใช้ตัวแปรอิสระหลายๆ ตัว อาจทำให้เกิดความยุ่งยากทั้งในด้านการคำนวณ และการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากตัวแปรอิสระบางตัวที่อยู่ในสมการอาจไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติจะตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตามทิ้งไป

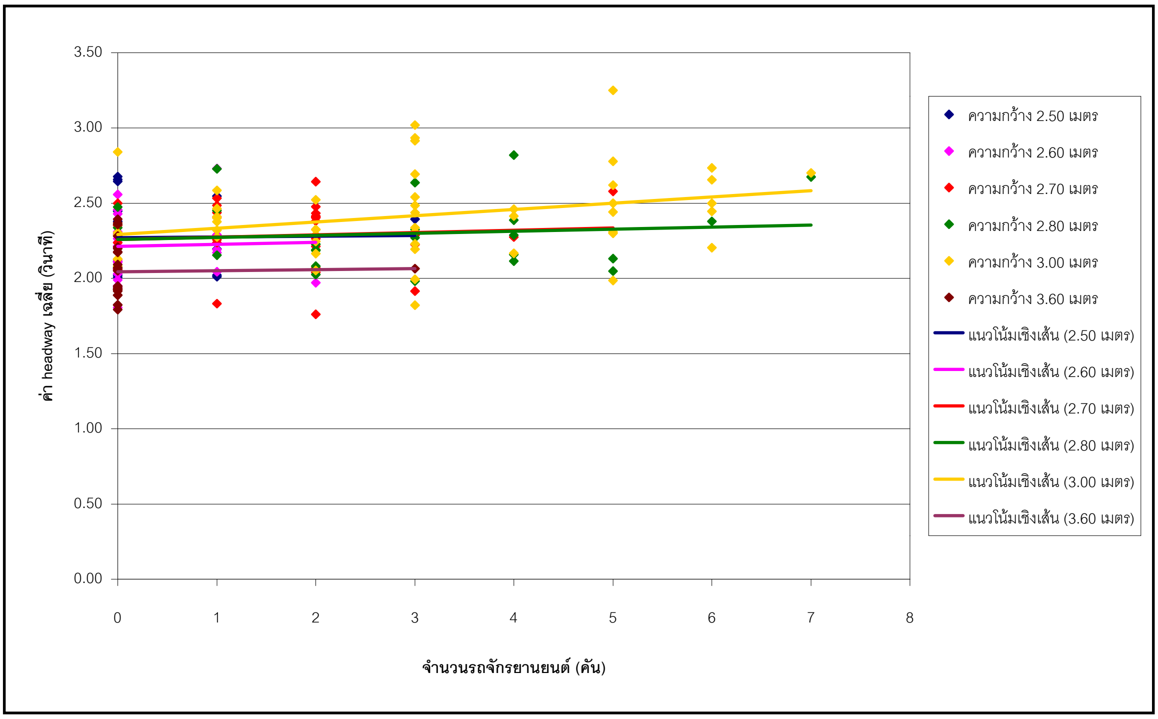
ในการศึกษาแบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัวครั้งนี้ ใช้วิธีหาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีการคำนวณสมการถดถอยทุกกรณี (All Possible Regression) กล่าวคือ การพิจารณาสมการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรตามจากตัวแปรอิสระในทุกกรณี โดยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ว่าจะใส่ตัวแปรอิสระเท่าไร จึงใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งต้องพิจารณาเองว่าสมการใดที่เหมาะกับการนำมาใช้ โดยใช้เกณฑ์ดังที่กล่าวมาแล้วเพื่อพิจารณาเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด

4.7.2 แบบจำลองระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์

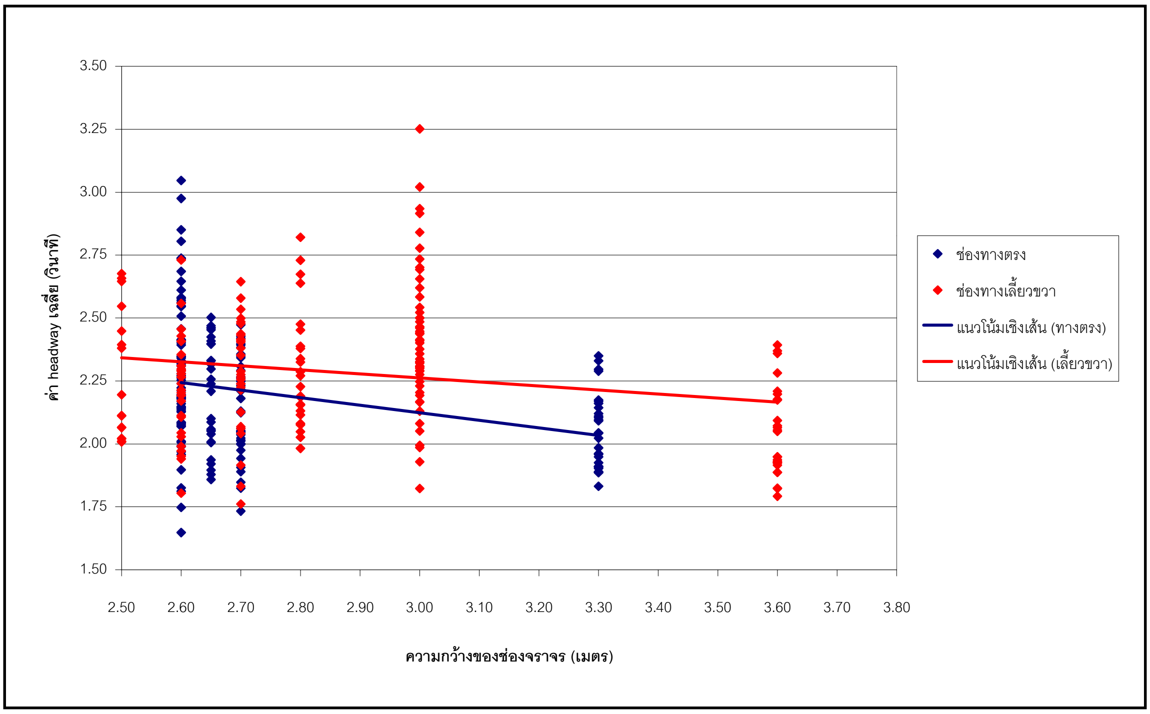
เป็นการสร้างแบบจำลองจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอิ่มตัวกับระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ ในกรณีที่กระแสจราจรประกอบด้วยรถยนต์ 4 ล้อ (จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 4.5 สามารถใช้เป็นตัวแทนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้) และรถจักรยานยนต์ จากหัวข้อที่ 4.2 การศึกษาระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา เนื่องจากชนิดของยานพาหนะไม่ได้มีเพียงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่านั้น แต่ประกอบด้วยรถยนต์ 4 ล้อและจำนวนรถจักรยานยนต์ในแถวคอย (นอกเหนือจากที่จอดในบริเวณที่จัดไว้สำหรับรถจักรยานยนต์ ซึ่งอยู่หน้ารถยนต์คันแรกในแถวคอย และมีลักษณะตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ดังภาพประกอบ 3.8) ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ (ภาพประกอบ 4.14 และ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์กับจำนวนรถจักรยานยนต์ในแถวคอย ซึ่งอยู่ระหว่างรถยนต์ในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว ของช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา ตามลำดับ) นอกจากนี้ ยังมีผลกระทบเนื่องจากความกว้างของช่องจราจรที่เปลี่ยนแปลง (ภาพประกอบ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์กับความกว้างของช่องจราจร) และลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะ ได้แก่ รถซึ่งอยู่ในช่องทางตรงแต่เลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา และรถซึ่งอยู่ในช่องทางเลี้ยวขวาแต่ไปตรง ผลจากองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ ส่งผลกระทบต่อค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว ดังนั้น จึงใช้สมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัวกับผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว



ภาพประกอบ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์กับจำนวนรถจักรยานยนต์ในแถวคอย ของช่องทางตรง



ภาพประกอบ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์กับจำนวนรถจักรยานยนต์ในแถวคอย ของช่องทางเลี้ยวขวา



ภาพประกอบ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์กับความกว้างช่องจราจร

ในการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม สำหรับช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวาในลักษณะการจราจรของพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ที่นำมาพิจารณาสร้างความสัมพันธ์กับระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ ได้แก่ ตัวแปรด้านลักษณะทางเรขาคณิต (ความกว้างของช่องจราจรและรัศมีการเลี้ยว) ตัวแปรด้านปริมาณของยานพาหนะแต่ละชนิด (จำนวนรถจักรยานยนต์ จำนวนรถตุ๊กๆ จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจำนวนรถโดยสาร 2 แถว) และตัวแปรด้านลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว (จำนวนยานพาหนะที่ไปตรงและจำนวนยานพาหนะที่เลี้ยวขวา) ผลการพิจารณาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์กับตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมาโดยใช้เกณฑ์ทางสถิติจากหัวข้อที่ 4.7.1 คัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด พบว่า มีเพียงตัวแปร ซึ่งประกอบด้วย ความกว้างของช่องจราจร จำนวนรถจักรยานยนต์ที่อยู่ระหว่างรถยนต์ และจำนวนยานพาหนะที่ไปตรงหรือเลี้ยวขวาในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัวเท่านั้น ที่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p - value < 0.05) และถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มตัวแปรอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้นเข้าไปในสมการ แล้วทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ได้มากขึ้นก็ตาม แต่ตัวแปรที่มีจำนวนมากขึ้นนั้นทำให้เกิดความยุ่งยากทั้งในการคำนวณและการนำไปใช้ประโยชน์ เมื่อเทียบกับความสามารถในการอธิบายค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งตัวแปรบางตัวที่เพิ่ม

ขึ้นในสมการยังไม่มีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย จึงจำเป็นต้องตัดตัวแปรนั้นทิ้งไป ซึ่งจากเกณฑ์ดังกล่าวสุดท้ายแล้วทำให้ได้สมการ ดังนี้

$$headway = 2.82 - 0.19(w) - 0.017(t_s) + 0.11(MC) \qquad \ldots\ldots(4.5)$$

$$headway = 2.94 - 0.11(w) - 0.042(t_s) - 0.041(t_r) + 0.092(MC) \qquad \ldots\ldots(4.6)$$

เมื่อ

$headway$ คือ ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ย ช่วงคันที่ 4 - 15 (วินาที)

w คือ ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)

t_s คือ จำนวนยานพาหนะที่ไปตรง ในช่วงรถยนต์คันที่ 4 - 15 (คัน)

t_r คือ จำนวนยานพาหนะที่เลี้ยวขวา ในช่วงรถยนต์คันที่ 4 -15 (คัน)

MC คือ จำนวนรถจักรยานยนต์ที่อยู่ระหว่างรถยนต์ ในช่วงรถยนต์คันที่ 4 - 15 (คัน)

สมการ 4.5 สำหรับช่องทางตรง ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.60 - 3.30 เมตร และ**สมการ 4.6 สำหรับช่องทางเลี้ยวขวา** ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.50 - 3.60 เมตร (รายละเอียดของสมการใน ตาราง ข - 11 และ ข - 12 ตามลำดับ ในภาคผนวก ข)

จากสมการทั้งสอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.253 และ 0.303 ตามลำดับ และทำการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โดยใช้การทดสอบค่า F (F - test) พบว่า ในช่องทางตรง จากความสัมพันธ์ดังกล่าว $F = 18.98 > F_{(3, 168)} = 2.67$ และในช่องทางเลี้ยวขวา $F = 18.47 > F_{(4, 170)} = 2.66$ แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการทั้งสองมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ มีความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์กับตัวแปรต่างๆ ในสมการอย่างมีนัยสำคัญนั่นเอง โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์กับตัวแปรทั้งหมดดังกล่าวในระดับปานกลาง ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) เท่ากับ 0.503 และ 0.55 ตามลำดับด้วยสมการทั้งสองนี้ แสดงว่า ผลกระทบที่มีต่อระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพ (ความกว้างของช่องจราจร) ชนิดของยานพาหนะ (จำนวนรถจักรยานยนต์) และลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะ (จำนวนรถไปตรงและเลี้ยวขวา) รวมกันแล้วมีอิทธิต่อค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ 25.3% ในช่องทางตรง และ 30.3% ในช่องทางเลี้ยวขวา หรือกล่าวได้ว่า ตัวแปร ซึ่งประกอบด้วยความกว้างของช่องจราจร จำนวนรถจักรยานยนต์ และลักษณะการเลี้ยวของยาน-พาหนะสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ได้ 25.3% ในช่องทาง

ตรง และ 30.3% ในช่องทางเลี้ยวขวา ซึ่งยังมีตัวแปรอื่นๆ นอกเหนือจากที่พิจารณาดังกล่าว ที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์สูงถึง 74.7% และ 69.7% ตามลำดับ

และจากสมการทั้งสอง สามารถอธิบายได้ว่า ในช่องทางตรง ความกว้างของช่องจราจรที่เพิ่มขึ้น (ทำให้เกิดความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ของรถยนต์ เนื่องจากมีผลกระทบลดลงจากการที่ต้องระวังรถจักรยานยนต์ที่อยู่ด้านข้างของช่องจราจรในระหว่างการขับขี่) และจำนวนยานพาหนะในช่องทางตรงแล้วไปตรงจริงๆ (อยู่ในช่วงรถยนต์ตั้งแต่คันที่ 4 - 15) ซึ่งทำให้ไม่เกิดความล่าช้าในการรอยานพาหนะบางคันที่อยู่ในช่องทางตรงแต่ต้องการเลี้ยวขวา ทั้งในกรณีที่ในช่วงเวลาเดียวกันนั้นอาจมียานพาหนะที่อยู่ในช่องทางเลี้ยวขวาแต่ต้องการไปตรงหรือไม่ก็ตาม มีผลทำให้ค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยลดลง (อัตราการไหลอิ่มตัวเพิ่มขึ้น) โดยมีผลในทางตรงกันข้ามกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถจักรยานยนต์ที่อยู่ระหว่างรถยนต์ ซึ่งทำให้เวลาห่างระหว่างรถยนต์โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ส่วนในช่องทางเลี้ยวขวา (รัศมีการเลี้ยวขวาอย่างน้อย 20 เมตร ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการเลี้ยวของผู้ขับขี่) ความกว้างของช่องจราจรและจำนวนรถจักรยานยนต์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เฉลี่ยเช่นเดียวกับในช่องทางตรง และจำนวนยานพาหนะที่อยู่ในช่องทางเลี้ยวขวาแต่ไปตรงทำให้ค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ของช่องทางเลี้ยวขวามีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง โดยส่งผลกระทบต่อการลดลงของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ในระดับเดียวกันกับกรณีที่ช่องทางเลี้ยวขวามีเฉพาะรถเลี้ยวขวาเท่านั้น

4.7.3 แบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัวของการจราจร

เป็นการสร้างแบบจำลองการไหลอิ่มตัวของการจราจรในกรณีที่กระแสจราจรประกอบด้วยยานพาหนะหลายประเภท โดยจะต้องทราบค่าเทียบเท่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภทต่างๆ ที่มีอยู่ในกระแสจราจร เพื่อใช้เป็นตัวคูณในการหาค่าอัตราการไหลอิ่มตัวในหน่วยคันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว โดยในที่นี้จะใช้ค่าหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะแต่ละชนิดจากหัวข้อที่ 4.5 ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ลักษณะการจราจรของพื้นที่ศึกษาโดยตรง ถึงแม้ว่าค่าดังกล่าวบางค่าจะมีความแตกต่างจากค่าที่เคยใช้กันมาก็ตาม (ตาราง 4.16) และสร้างความสัมพันธ์ของอัตราการไหลอิ่มตัวโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอย

การคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม สำหรับช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวาในกรณีนี้ใช้หลักการเดียวกับการคัดเลือกแบบจำลองระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ตัวแปรด้านลักษณะทางเรขาคณิต (ความกว้างของช่องจราจรและรัศมีการเลี้ยว) ตัวแปรด้านปริมาณของยานพาหนะแต่ละชนิด (ร้อยละของจำนวนรถจักรยานยนต์ ร้อยละของจำนวนรถตุ๊กๆ ร้อยละของจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ร้อยละของจำนวนรถโดยสาร 2 แถว ร้อยละของ

จำนวนรถบรรทุก 4 - 10 ล้อ ร้อยละของจำนวนรถบัสโดยสารประจำทาง ร้อยละของจำนวนรถยนต์ 4 ล้อ และร้อยละของผลรวมระหว่างจำนวนรถบรรทุกและรถบัสโดยสารประจำทาง) และตัวแปรด้านลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว (ร้อยละของจำนวนยานพาหนะที่ไปตรงและร้อยละของจำนวนยานพาหนะเลี้ยวขวา) ผลการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอิ่มตัวกับตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมา พบว่า มีเพียงตัวแปร ซึ่งประกอบด้วย ความกว้างของช่องจราจร และร้อยละของจำนวนยานพาหนะที่ไปตรงหรือเลี้ยวขวาเท่านั้น ที่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนตัวแปรด้านปริมาณของยานพาหนะในสมการ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยมีความใกล้เคียงกับการมีนัยสำคัญ มีเพียงร้อยละของจำนวนรถตุ๊กๆ และร้อยละของจำนวนรถโดยสาร 2 แถวเท่านั้น และถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มตัวแปรอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้นเข้าไปในสมการ แล้วทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ตัวแปรที่มากขึ้นนั้นทำให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณและการนำไปใช้ เมื่อเทียบกับความสามารถในการอธิบายค่าอัตราการไหลอิ่มตัวที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งตัวแปรบางตัวที่เพิ่มขึ้นในสมการไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงต้องพิจารณาตัดตัวแปรนั้นทิ้งไป ซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากการวิเคราะห์มีดังสมการ (รายละเอียดข้อมูลการวิเคราะห์ในภาคผนวก ฉ)

$$S = 1245 + 135(w) - 3.38(pTT) - 2.81(pt_r) \qquad \ldots\ldots(4.7)$$

$$S = 1274 + 103(w) + 2.49(pP) + 1.38(pt_s) \qquad \ldots\ldots(4.8)$$

เมื่อ

S คือ อัตราการไหลอิ่มตัวในหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (คันต่อชั่วโมงไฟเขียว)

w คือ ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)

pt_s คือ ร้อยละของจำนวนยานพาหนะที่ไปตรงในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว

pt_r คือ ร้อยละของจำนวนยานพาหนะที่เลี้ยวขวาในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว

pTT คือ ร้อยละของจำนวนรถตุ๊กๆ ในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว

pP คือ ร้อยละของจำนวนรถโดยสาร 2 แถวในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว

สมการ 4.7 สำหรับช่องทางตรง ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.60 - 3.30 เมตร และ**สมการ 4.8 สำหรับช่องทางเลี้ยวขวา** ช่วงความกว้างช่องจราจร 2.50 - 3.60 เมตร (รายละเอียดของสมการในตาราง ฉ - 11 และ ฉ - 12 ตามลำดับ ในภาคผนวก ฉ)

จากสมการทั้งสอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ค่าประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.121 และ 0.114 ตามลำดับ และทำการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โดยใช้การทดสอบค่า F (F - test) พบว่า ในช่องทางตรง จากความสัมพันธ์ดังกล่าว F = 5.74 > $F_{(3, 125)}$ = 2.68 และในช่องทางเลี้ยวขวา F = 6.96 > $F_{(3, 163)}$ = 2.67 แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการทั้งสองมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอิ่มตัวกับตัวแปรต่างๆ ในสมการอย่างมีนัยสำคัญนั่นเอง โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอิ่มตัวกับตัวแปรทั้งหมดดังกล่าวในระดับปานกลาง ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) เท่ากับ 0.35 และ 0.34 ตามลำดับ ในการอธิบายค่าอัตราการไหลอิ่มตัวที่เกิดขึ้นด้วยสมการทั้งสอง ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรลักษณะทางกายภาพ (ความกว้างของช่องจราจร) ชนิดและปริมาณของยานพาหนะ (ร้อยละของจำนวนรถตุ๊กๆ และรถโดยสาร 2 แถว) และลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะ (ร้อยละของจำนวนยานพาหนะที่ไปตรงและเลี้ยวขวา) รวมกันแล้วตัวแปรดังกล่าวสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการไหลอิ่มตัวได้ 12.1% ในช่องทางตรง และ 11.4% ในช่องทางเลี้ยวขวา โดยยังมีตัวแปรอื่นๆ นอกเหนือจากที่พิจารณา ที่มีอิทธิพลต่อค่าอัตราการไหลอิ่มตัวที่เกิดขึ้นสูงถึง 87.9% และ 88.6% ตามลำดับ

และจากสมการทั้งสอง สามารถอธิบายได้ว่า ในช่องทางตรง การเพิ่มขึ้นของค่าความกว้างช่องจราจร (ทำให้เกิดความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในกระแสจราจรและเป็นการลดผลกระทบระหว่างยานพาหนะแต่ละชนิด โดยเฉพาะผลกระทบเนื่องจากรถจักรยานยนต์และยานพาหนะขนาดใหญ่) มีผลทำให้อัตราการไหลอิ่มตัวเพิ่มขึ้น โดยมีผลในทางตรงกันข้ามกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถตุ๊กๆ (เป็นรถโดยสารขนาดเล็กในเขตตัวเมืองที่มีการเคลื่อนที่ออกจากทางแยกได้ค่อนข้างช้า เมื่อเทียบกับรถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถโดยสาร 2 แถว) และจำนวนยานพาหนะที่อยู่ในช่องทางตรงแต่เลี้ยวขวา ส่วนในช่องทางเลี้ยวขวา การเพิ่มขึ้นของค่าความกว้างของช่องจราจร จำนวนรถโดยสาร 2 แถว (เป็นรถโดยสารในเขตชานเมือง รับส่งผู้โดยสารเข้าและออกจากตัวเมือง ซึ่งมีพฤติกรรมการขับขี่ด้วยความเร็วสูงในขณะผ่านทางแยก) และจำนวนยานพาหนะที่อยู่ในช่องทางเลี้ยวขวาแต่ไปตรงในช่วงที่เกิดการไหลอิ่มตัว มีผลทำให้อัตราการไหลอิ่มตัวเพิ่มขึ้น

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าสมการที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่อนข้างต่ำ จนอาจคิดได้ว่า การอธิบายค่าอัตราการไหลอิ่มตัวที่เกิดขึ้นด้วยสมการในรูปแบบเส้นตรงนั้น อาจจะไม่ถูกต้อง ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ทำการทดลองเปลี่ยนรูปแบบของสมการที่อาจเป็นไปได้ที่จะสามารถอธิบายค่าอัตราการไหลอิ่มตัวได้ดีกว่ารูปแบบของสมการเส้นตรง แต่พบว่า การอธิบาย

ค่าอัตราการไหลอิ่มตัวด้วยรูปแบบสมการเส้นตรงให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ดีที่สุดแล้ว จึงสรุปได้ว่า การอธิบายค่าอัตราการไหลอิ่มตัวด้วยตัวแปรที่พิจารณาข้างต้นอาจจะยังไม่เพียงพอที่จะสามารถทำการพยากรณ์ค่าอัตราการไหลอิ่มตัวได้ถูกต้องที่สุด

4.8 การตรวจสอบแบบจำลองสำหรับการนำไปใช้งาน

การตรวจสอบแบบจำลองจะใช้วิธีการทางสถิติ โดยมีหลักการพื้นฐาน คือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอิ่มตัวที่เกิดขึ้นจริงว่ามีความใกล้เคียงกับอัตราการไหลอิ่มตัวจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพียงใด ซึ่งในที่นี้ ข้อมูลที่นำมาใช้ในการตรวจสอบเป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่นำมาสร้างแบบจำลอง โดยปกติค่าสถิติที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่มักนำมาวิเคราะห์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ซึ่งเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าจากการสำรวจจริงว่ามีความใกล้เคียงกันอย่างไร โดยที่ค่า R^2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.00 หมายความว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าจากการสำรวจจริงมีความสัมพันธ์อย่างหาที่แตกต่างไม่ได้ และอีกค่าหนึ่ง คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of Estimates) โดยถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อย แสดงว่า สมการถดถอยที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือสูง สามารถนำไปใช้พยากรณ์ได้โดยมีโอกาสถูกต้องกับความเป็นจริงมาก

ในการใช้สมการถดถอยนำไปพยากรณ์นั้น จะถูกต้องแค่ไหนขึ้นอยู่กับข้อมูลที่รวบรวมมาได้นั้นกระจัดกระจายไปจากค่าของสมการถดถอยมากน้อยเพียงใด กล่าวคือ ถ้าค่าของข้อมูลกระจัดกระจายจากค่าสมการถดถอยน้อย ค่าจากการคาดคะเน (Y_c) ก็มีโอกาสถูกต้องกับค่าที่แท้จริง (Y) ได้มาก โดยการตรวจสอบจะจัดอยู่ในรูปของความแตกต่างระหว่างค่า Y กับ Y_c โดยมีสูตร คือ

$$R^2 = \frac{\sum\left(Y_C - \bar{Y}\right)^2}{\sum\left(Y - \bar{Y}\right)^2} \qquad \text{......(4.9)}$$

$$Standard\ Error = \sqrt{\frac{\sum\left(Y - Y_c\right)^2}{N - k - 1}} \qquad \text{......(4.10)}$$

เมื่อ

N คือ จำนวนข้อมูล

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

4.8.1 การตรวจสอบแบบจำลองระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์

การใช้แบบจำลองพยากรณ์ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เพื่อใช้ในการหาค่าอัตราการไหลอิ่มตัว สามารถกล่าวถึงการนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้พยากรณ์ได้ 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 การพยากรณ์โดยใช้ค่าตัวแปรจากรอบสัญญาณไฟเพียงรอบใดรอบหนึ่ง

ผลการใช้แบบจำลองพยากรณ์ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ พบว่า ค่าความแตกต่างระหว่างผลจากการสำรวจข้อมูลจริงกับค่าจากแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 วินาทีต่อคัน คิดเป็นอัตราการไหลอิ่มตัว 159 คันต่อชั่วโมง ในช่องทางตรง (สมการ 4.5) และเท่ากับ 0.24 วินาทีต่อคัน คิดเป็นอัตราการไหลอิ่มตัว 171 คันต่อชั่วโมงในช่องทางเลี้ยวขวา (สมการ 4.6) ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณที่ค่อนข้างสูง โดยรายละเอียดของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละค่าความกว้างของช่องจราจรของแต่ละช่องทางแสดงดังตาราง 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ

ตาราง 4.20 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการประมาณในแต่ละรอบสัญญาณไฟของแบบจำลองระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ ในช่องทางตรง

ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)	ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการประมาณในแต่ละรอบสัญญาณไฟ	
	หน่วย วินาที	หน่วย คันต่อชั่วโมง
2.60	0.25	175
2.65	0.20	157
2.70	0.20	166
3.30	0.16	136
2.60 - 3.30	0.20	159

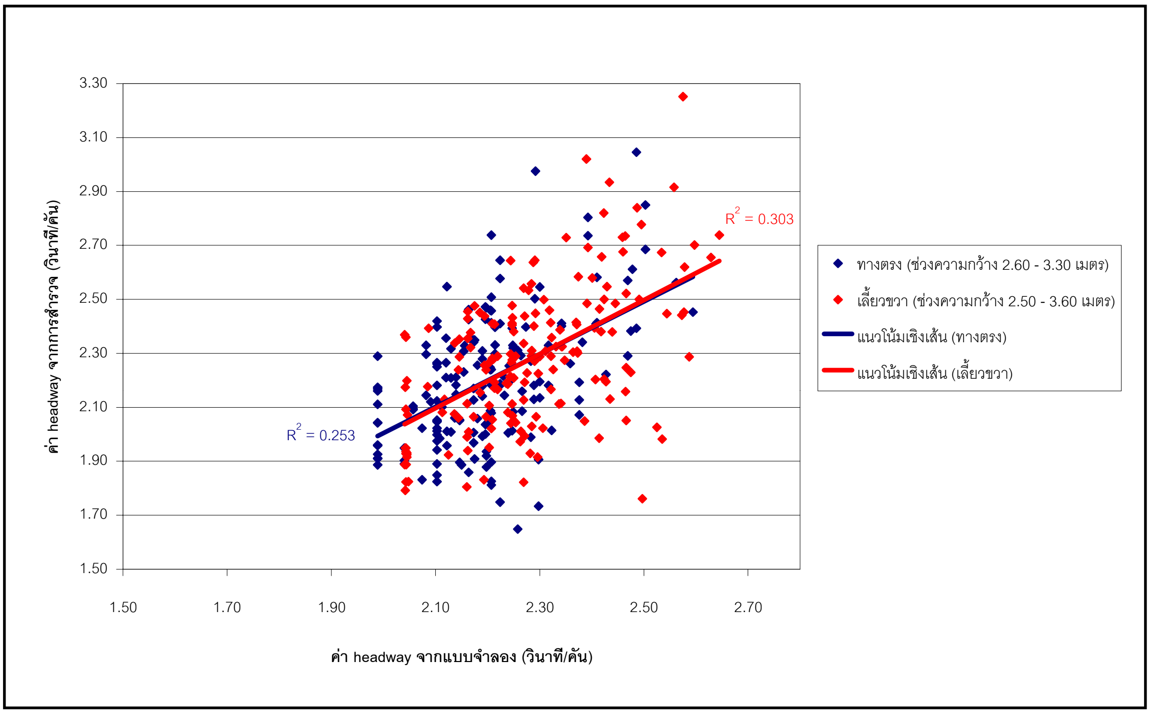
ตาราง 4.21 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการประมาณในแต่ละรอบสัญญาณไฟของแบบจำลองระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ ในช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)	ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการประมาณในแต่ละรอบสัญญาณไฟ	
	หน่วย วินาที	หน่วย คันต่อชั่วโมง
2.50	0.24	170
2.60	0.21	158
2.70	0.25	187
2.80	0.29	193
3.00	0.25	153
3.60	0.19	162
2.50 - 3.60	0.24	171

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งเป็นการวัดระดับความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์จากการสำรวจกับค่าจากแบบจำลอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.253 ในช่องทางตรง และ 0.303 ในช่องทางเลี้ยวขวา ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.00 ค่อนข้างมาก (ภาพประกอบ 4.17) หมายความว่า ด้วยสมการดังกล่าว จากค่าตัวแปรซึ่งประกอบด้วย ความกว้างของช่องจราจร จำนวนรถจักรยานยนต์ และลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะ สามารถพยากรณ์ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์โดยใช้ข้อมูลจากรอบสัญญาณไฟเพียงรอบใดรอบหนึ่งได้ในระดับที่ยังมีความแตกต่างค่อนข้างสูงระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าจากแบบจำลอง

กรณีที่ 2 การพยากรณ์โดยเฉลี่ยจากหลายๆ รอบสัญญาณไฟในช่วงเวลาที่สำรวจข้อมูล

ด้วยสมการเดียวกัน ผลการใช้แบบจำลองพยากรณ์ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าจากการสำรวจเมื่อเทียบกับในกรณีแรก โดยมีความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าจากการสำรวจกับค่าจากแบบจำลองเพียง 0.02 วินาทีต่อคัน คิดเป็นอัตราการไหลอิ่มตัว 11 คันต่อชั่วโมง ในช่องทางตรง และ 0.03 วินาทีต่อคัน คิดเป็นอัตราการไหลอิ่มตัว 24 คันต่อชั่วโมง ในช่องทางเลี้ยวขวา โดยรายละเอียดของค่าความแตกต่างในแต่ละค่าความกว้างของช่องจราจรของแต่ละช่องทางแสดงดังตาราง 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.17 เปรียบเทียบค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์จากการสำรวจกับแบบจำลอง ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ

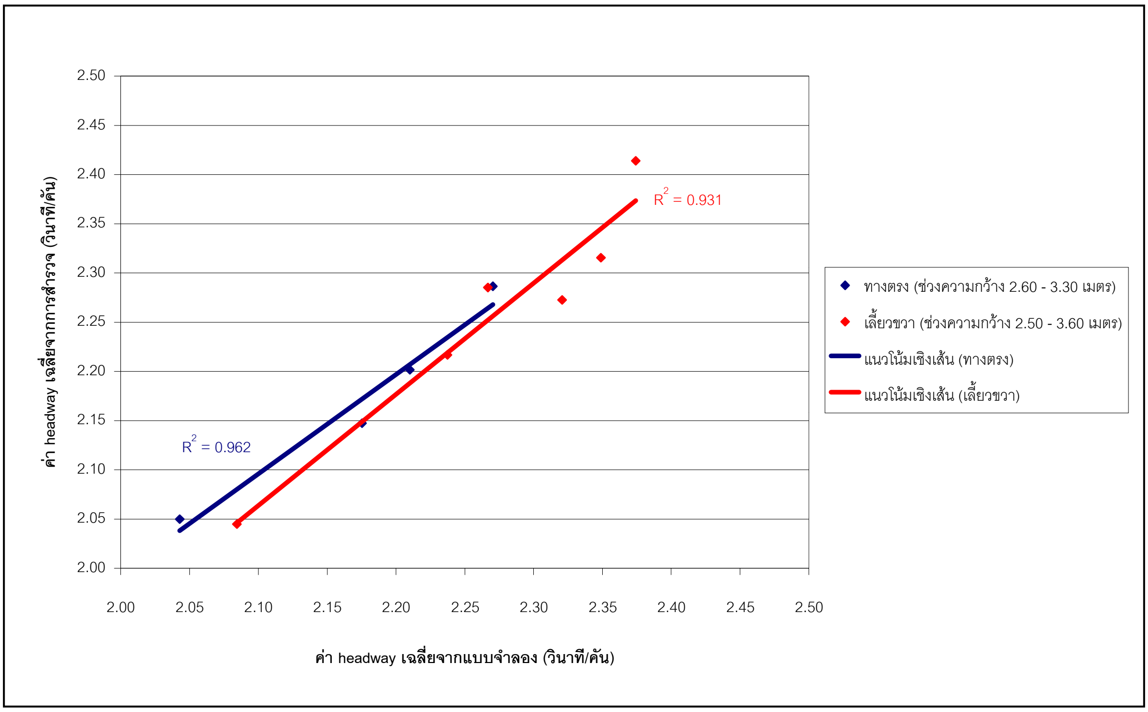
ตาราง 4.22 ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์จากการสำรวจกับแบบจำลอง ในช่องทางตรง

ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยในช่วงเวลาที่สำรวจเก็บข้อมูล	
	หน่วย วินาที	หน่วย คันต่อชั่วโมง
2.60	0.02	11
2.65	0.01	6
2.70	0.03	22
3.30	0.01	6
2.60 - 3.30	0.02	11

ตาราง 4.23 ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์จากการสำรวจกับแบบจำลอง ในช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยในช่วงเวลาที่สำรวจเก็บข้อมูล	
	หน่วย วินาที	หน่วย คันต่อชั่วโมง
2.50	0.05	33
2.60	0.02	15
2.70	0.02	13
2.80	0.03	22
3.00	0.04	25
3.60	0.04	33
2.50 - 3.60	0.03	24

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์โดยเฉลี่ยจากการสำรวจกับค่าจากแบบจำลองเท่ากับ 0.962 ในช่องทางตรง และ 0.931 ในช่องทางเลี้ยวขวา ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1.00 (ภาพประกอบ 4.18) หมายความว่า ด้วยสมการดังกล่าว จากค่าตัวแปรซึ่งประกอบด้วย ความกว้างของช่องจราจร จำนวนรถจักรยานยนต์ และลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะ สามารถพยากรณ์ระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์โดยการเฉลี่ยจากหลายๆ รอบสัญญาณไฟในช่วงเวลาที่สำรวจเก็บข้อมูลได้ในระดับที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าจากแบบจำลอง



ภาพประกอบ 4.18 เปรียบเทียบค่าระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์จากการสำรวจกับแบบจำลองโดยเฉลี่ยในแต่ละค่าความกว้างของช่องจราจร

4.8.2 การตรวจสอบแบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัว

เช่นเดียวกับการตรวจสอบแบบจำลองระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ การใช้แบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัวเพื่อพยากรณ์ สามารถกล่าวถึงการนำแบบจำลองไปใช้ในการพยากรณ์ได้ 2 กรณีเช่นกัน คือ

กรณีที่ 1 การพยากรณ์โดยใช้ค่าตัวแปรจากรอบสัญญาณไฟเพียงรอบใดรอบหนึ่ง

ผลการใช้แบบจำลองในการพยากรณ์ พบว่า ค่าความแตกต่างระหว่างผลจากการสำรวจข้อมูลจริงกับค่าจากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 156 คันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว ในช่องทางตรง (สมการ 4.7) และเท่ากับ 183 คันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว ในช่องทางเลี้ยวขวา (สมการ 4.8) ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณที่ค่อนข้างสูง โดยรายละเอียดของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละค่าความกว้างของช่องจราจรของแต่ละช่องทางดังแสดงในตาราง 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ

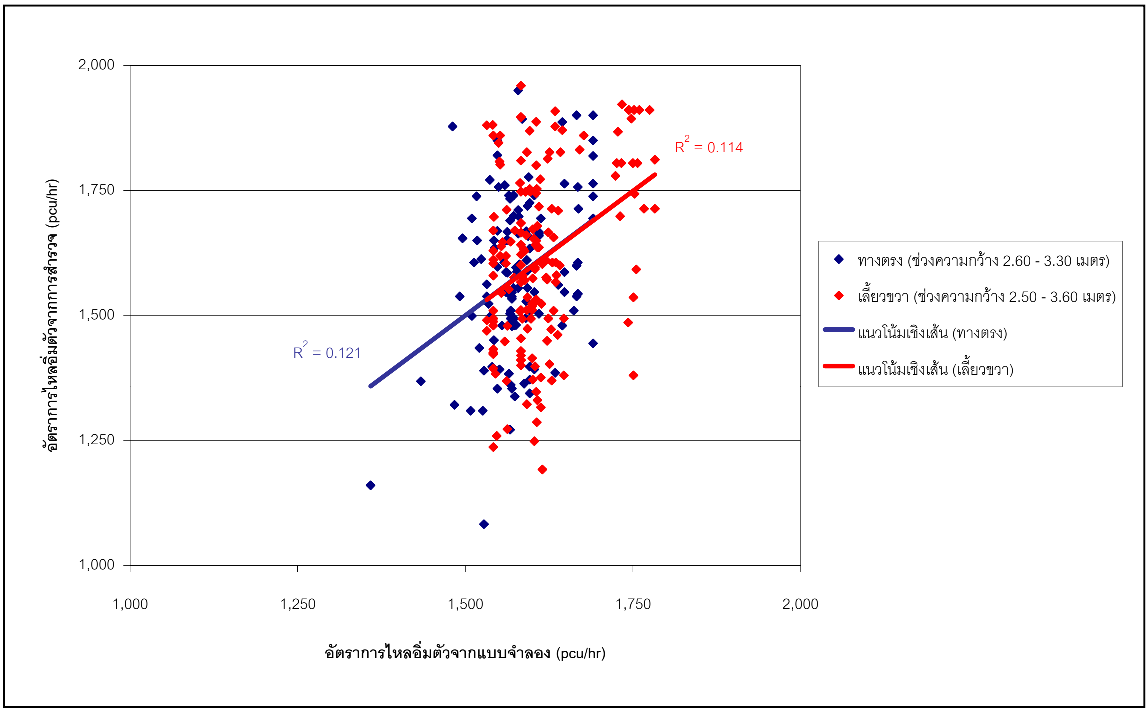
ตาราง 4.24 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการประมาณในแต่ละรอบสัญญาณไฟของแบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัว ในช่องทางตรง

ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)	ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการประมาณในแต่ละรอบสัญญาณไฟ หน่วย คันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว
2.60	168
2.65	168
2.70	143
3.30	146
2.60 - 3.30	156

ตาราง 4.25 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการประมาณในแต่ละรอบสัญญาณไฟของแบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัว ในช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)	ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการประมาณในแต่ละรอบสัญญาณไฟ หน่วย คันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว
2.50	206
2.60	158
2.70	151
2.80	201
3.00	213
3.60	168
2.50 - 3.60	183

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างค่าอัตราการไหลอิ่มตัวจากการสำรวจกับค่าจากแบบจำลองเท่ากับ 0.121 ในช่องทางตรง และ 0.114 ในช่องทางเลี้ยวขวา ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.00 ค่อนข้างมาก (ภาพประกอบ 4.19) หมายความว่า ด้วยสมการดังกล่าว จากค่าตัวแปรซึ่งประกอบด้วย ความกว้างของช่องจราจร ปริมาณและชนิดของยานพาหนะ (ร้อยละของจำนวนรถตุ๊กๆ และรถโดยสาร 2 แถว) และลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะ (ร้อยละของจำนวนรถไปตรงและเลี้ยวขวา) สามารถพยากรณ์อัตราการไหลอิ่มตัวโดยใช้ข้อมูลจากรอบสัญญาณไฟเพียงรอบใดรอบหนึ่งได้ในระดับที่ยังมีความแตกต่างค่อนข้างสูงระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าจากแบบจำลอง



ภาพประกอบ 4.19 เปรียบเทียบค่าอัตราการไหลอิ่มตัวจากการสำรวจกับแบบจำลองในแต่ละรอบสัญญาณไฟ

กรณีที่ 2 การพยากรณ์โดยเฉลี่ยจากหลายๆ รอบสัญญาณไฟในช่วงเวลาที่สำรวจข้อมูลด้วยสมการเดียวกัน ผลการใช้แบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลอิ่มตัว พบว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าจากการสำรวจเมื่อเทียบกับในกรณีแรก โดยมีความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าจากการสำรวจกับค่าจากแบบจำลองเพียง 1.27% คิดเป็นอัตราการไหลอิ่มตัว 20 คันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว ในช่องทางตรง และเท่ากับ 2.11% คิดเป็นอัตราการไหลอิ่มตัว 34 คันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว ในช่องทางเลี้ยวขวา โดยรายละเอียดของค่าความแตกต่างในแต่ละค่าความกว้างของช่องจราจรของแต่ละช่องทางแสดงดังตาราง 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ

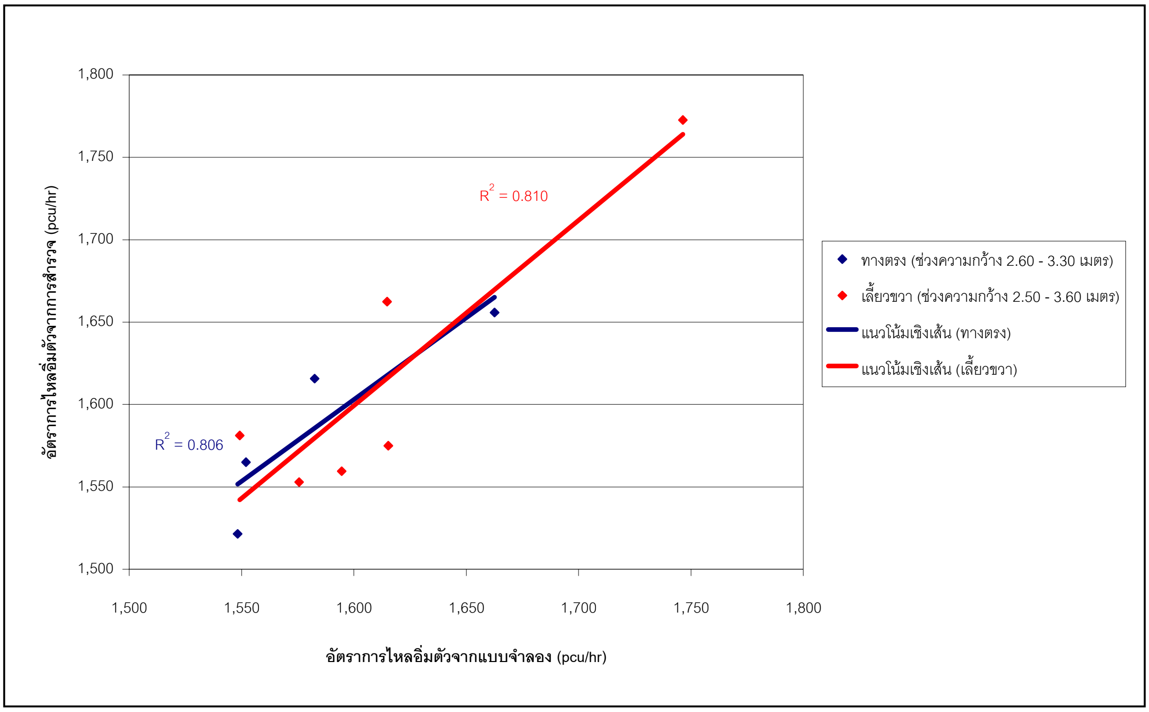
ตาราง 4.26 ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าอัตราการไหลอิ่มตัวจากการสำรวจกับแบบจำลองในช่องทางตรง

ความกว้างของช่องจราจร (เมตร)	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยในช่วงเวลาที่สำรวจเก็บข้อมูล	
	หน่วย คันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว	คิดเป็น %
2.60	27	1.77
2.65	13	0.84
2.70	33	2.05
3.30	7	0.42
2.60 - 3.30	20	1.27

ตาราง 4.27 ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าอัตราการไหลอิ่มตัวจากการสำรวจกับแบบจำลองในช่องทางเลี้ยวขวา

ความกว้างช่องจราจร (เมตร)	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยในช่วงเวลาที่สำรวจเก็บข้อมูล	
	หน่วย คันของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงไฟเขียว	คิดเป็น %
2.50	23	1.47
2.60	32	2.02
2.70	48	2.87
2.80	40	2.56
3.00	35	2.25
3.60	26	1.48
2.50 - 3.60	34	2.11

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างค่าอัตราการไหลอิ่มตัวโดยเฉลี่ยจากการสำรวจกับค่าจากแบบจำลองเท่ากับ 0.806 ในช่องทางตรง และ 0.810 ในช่องทางเลี้ยวขวา ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1.00 (ภาพประกอบ 4.20) หมายความว่า ด้วยสมการดังกล่าว จากค่าตัวแปรซึ่งประกอบด้วย ความกว้างของช่องจราจร ปริมาณและชนิดของยานพาหนะ (ร้อยละของจำนวนรถตุ๊กๆ และรถโดยสาร 2 แถว) และลักษณะการเลี้ยวของยานพาหนะ (ร้อยละของจำนวนรถไปตรงและเลี้ยวขวา) สามารถพยากรณ์ค่าอัตราการไหลอิ่มตัวโดยการเฉลี่ยจากหลายๆ รอบสัญญาณไฟในช่วงเวลาที่สำรวจเก็บข้อมูลได้ในระดับที่มีความแตกต่างระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าจากแบบจำลองค่อนข้างต่ำ



ภาพประกอบ 4.20 เปรียบเทียบค่าอัตราการไหลอิ่มตัวจากการสำรวจกับแบบจำลองโดยเฉลี่ยในแต่ละค่าความกว้างของช่องจราจร

4.8.3 สรุปผลการตรวจสอบแบบจำลอง

ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการสำรวจข้อมูลจริงของทั้งแบบจำลองระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ และแบบจำลองอัตราการไหลอิ่มตัว ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลจากรอบสัญญาณไฟเพียงรอบใดรอบหนึ่ง และกรณีการพยากรณ์โดยเฉลี่ยจากหลายๆ รอบสัญญาณไฟในช่วงที่สำรวจข้อมูล พบว่าในกรณีแรก ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยในแต่ละรอบสัญญาณไฟของแบบจำลองทั้งสองมีค่าค่อนข้างสูง ทั้งในช่องทางตรงและช่องทางเลี้ยวขวา (ตาราง 4.20 4.21 4.24 และ 4.25) ส่วนในกรณีที่สอง ความแตกต่างที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยของแบบจำลองทั้งสองมีค่าลดลงค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับในกรณีแรก (ตาราง 4.22 4.23 4.26 และ 4.27) เนื่องจากในกรณีแรก ข้อมูลปริมาณจราจรของตัวแปรต่างๆ ในแต่ละรอบสัญญาณไฟมีค่าค่อนข้างไม่คงที่ เมื่อนำไปแทนค่าในสมการ ทำให้ค่าที่ได้มีความแตกต่างค่อนข้างสูงระหว่างค่าจริงกับค่าจากแบบจำลองในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในการนำแบบจำลองไปใช้เพื่อพยากรณ์หรือประมาณค่าอัตราการไหลอิ่มตัวที่เกิดขึ้นในสนามควรใช้ค่าอัตราการไหลอิ่มตัวจากการเฉลี่ยหลายๆ รอบสัญญาณไฟที่เกิดการไหลอิ่มตัวในช่วงเวลาที่สำรวจเก็บข้อมูล