บทที่ ๔

การวิเคราะห์และประเมินข้อมูล

๔.๑ การเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัว

Leong[9] ได้กล่าวว่า การไหลอิ่มตัวในขณะที่มีคิวต่อเนื่องของรถ ที่ออกจากทางแยกในช่วงไฟเขียวร้อยละ ๑๐๐ เนื่องจากสาเหตุของการที่รถหยุดและตอนที่รถออกไปจากทางแยกตลอดจนเวลาที่ต้องใช้เพิ่มสำหรับในการเร่งความเร็วของรถ ทำให้เกิดการไหลอิ่มตัว จะเกิดขึ้นต่อเมื่อเวลาของช่วงไฟเขียวได้ผ่านไปชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้ว ในงานวิจัยการศึกษาครั้งนี้ใช้อิงหลักเกณฑ์ของ Leong โดยพยายามตรวจสอบการเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัว หลังจากได้รับสัญญานไฟเขียว ซึ่งวัดจากปริมาณยวดยานที่ออกจากทางแยก ตามวิธีการเก็บข้อมูลของ TRRL ด้วยตารางที่ ๔.๑ ที่แสดงการไหลอิ่มตัวของยวดยานในช่วงเวลาละ ๕ วินาที ของช่วงสัญญานไฟเขียวสำหรับรถทางตรงและรถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน โดยมีจำนวนช่องทางรถตรง ๑๔ ช่องทาง และจำนวนช่องทางรถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน ๕ ช่องทาง ผลจากตารางดังกล่าว สามารถนำมาพิจารณาหาสภาวะของการเกิดการไหลอิ่มตัวได้ ดังตัวอย่างจากรูป ๔.๑ , ๔.๒, ๔.๓, และ ๔.๔ ตามลำดับ

จากรูปพบว่า การวิเคราะห์ได้ทำตลอดทั้งช่วงเวลาไฟเขียว แต่การเกิดการไหลอิ่มตัวจะอยู่ภายในช่วงหนึ่ง ประมาณ ๔-๑๐ ช่วงเท่านั้น ช่วงเวลาไฟเขียวที่เหลือ จะเป็นการไหลที่ไม่เต็มทางแยก ดังนั้นในการวิจัยได้หาค่า headway ในแต่ละช่วงจราจร มาพล็อตกับตำแหน่งคิวของรถ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของ headway จะต้องบันทึกค่าเฉลี่ยของรถคันที่ ๑, ๒, ๓,..... จนกระทั่งถึงคันที่ ๑๒ เป็นอย่างน้อย ในคิวของแต่ละช่องจราจร และ headway ของรถหลังจากคันที่ ๑๒ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังแสดงตัวอย่างในรูป ๔.๕, ๔.๖, ๔.๗, ๔.๘, และ ๔.๙ ตามลำดับ สำหรับ ๕ ช่องจราจรในการศึกษา ๑๒ ช่องจราจร ในการวิเคราะห์รถที่ผ่านออกจากทางแยก ให้คิดสำหรับรถทางตรงและมีหน่วยเป็นรถเก๋งเท่านั้น เพื่อให้ได้การไหลอิ่มตัวสูงสุดก่อนมีการเปลี่ยนแปลง อันเนื่องจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น ชนิดของยวดยาน ทั้งนี้เนื่องจากรถประเภทอื่น จะไม่ให้ค่า headway เป็นปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รถเก๋งวิ่งทางตรง ซึ่งเป็นวิธีการ

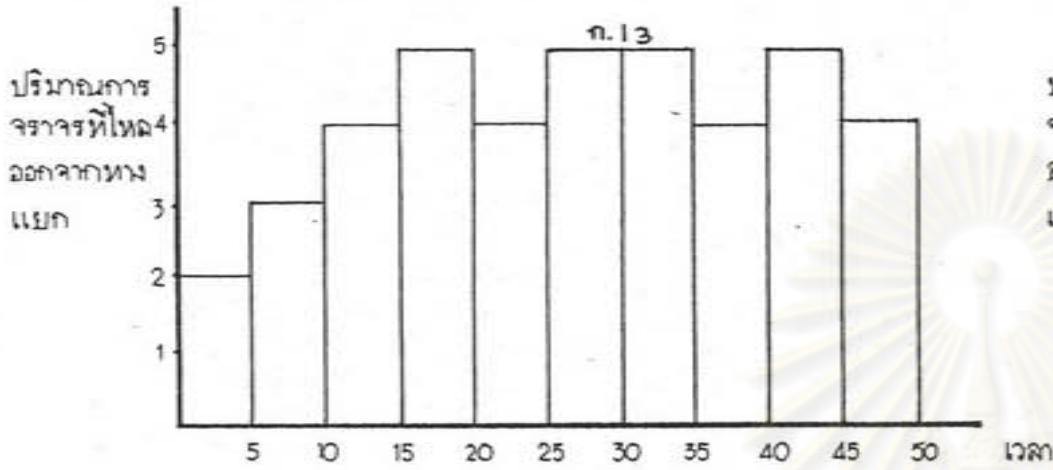
ตารางที่ 4.1 แสดงการไหลอิ่มตัวของรถเก๋งในช่วงเวลา 5 วินาที ตามจำนวนช่องที่มีการไหลอิ่มตัวเกิดขึ้น

ลำดับที่	ระหัสด้านของทางแยก	ช่องทางจราจรที่	ปริมาณการจราจรช่วง 5 วินาที หลังจากเริ่มเดินสัญญาณไฟเขียว ตามจำนวนช่องที่มีการไหลอิ่มตัว สำหรับรถเก๋งเท่านั้น	ค่าเฉลี่ยปริมาณการจราจร X	STANDARD DEVIATION
1	ก 13	3	2, 3, 4, 5, 4, 5, 5, 4, 5, 4, 3, 2,	3.83	1.11
2	ก 14	1	2, 3, 3, 4, 4, 4, 5, 4, 5, 4, 2, 2,	3.5	1.08
3	ก 23	2	2, 4, 3, 4, 5, 5, 5, 4, 3, 4, 2, 2, 1,	3.83	1.32
4	ก 23	3	3, 2, 3, 4, 4, 5, 5, 4, 4, 4, 2, 2,	3.5	1.08
5	ก 24	3	2, 3, 3, 4, 4, 4, 5, 5, 4, 3, 3, 2,	3.5	1.09
6	ก 24	4*	1, 3, 2, 4, 5, 4, 4, 4, 3, 2, 3, 2, 1,	2.92	1.25
7	ก 31	2	1, 2, 3, 4, 3, 5, 5, 4, 4, 3, 5, 3, 2,	3.83	1.26
8	ก 32	3	2, 3, 5, 5, 4, 4, 4, 3, 2, 2,	3.4	1.17
9	ก 32	4*	2, 3, 2, 3, 4, 3, 3, 4, 3, 3, 2,	2.90	0.70
10	ก 41	1	2, 4, 3, 3, 4, 5, 5, 4, 4, 2, 3, 2,	3.42	1.08
11	ก 42	2	2, 2, 3, 4, 5, 5, 5, 4, 3, 4, 4, 3, 2, 1,	3.28	1.38
12	ก 42	5*	1, 2, 2, 3, 5, 5, 4, 4, 3, 3, 2, 3, 2,	3.00	1.22
13	ก 58	3*	2, 3, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 3, 2, 2,	3.07	0.75
14	ก 54	2	2, 3, 3, 4, 5, 5, 4, 4, 3, 4, 3, 2,	2.83	0.93
15	ก 61	2	2, 2, 3, 2, 2, 3, 4, 5, 3, 3, 3, 2,	2.83	0.93
16	ก 62	2	2, 3, 3, 4, 4, 5, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 2,	3.61	0.86
17	ก 71	2*	2, 3, 3, 4, 4, 3, 4, 4, 2, 4, 4, 2, 3, 2,	3.14	0.86
18	ก 81	2	2, 3, 4, 5, 5, 5, 4, 4, 3, 4, 4, 2, 2,	3.61	1.15
19	ก 82	2	2, 3, 3, 4, 3, 4, 5, 5, 4, 5, 2, 2,	3.5	1.16

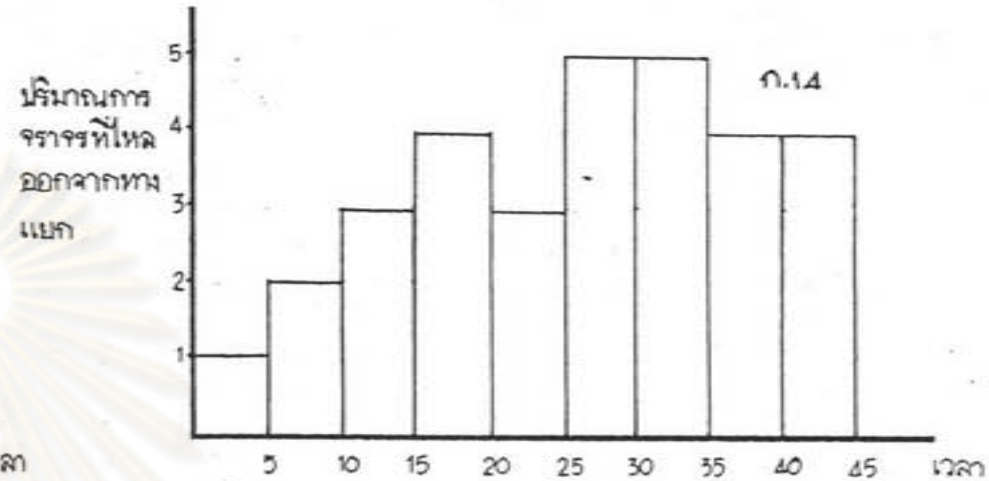
หมายเหตุ * ช่องจราจรเลี้ยวขวา

ช่องทางจราจรที่ 1 อยู่ชิดขอบทางเท้า ที่ 2,3 ออกห่างจากขอบทางเท้าตามลำดับ

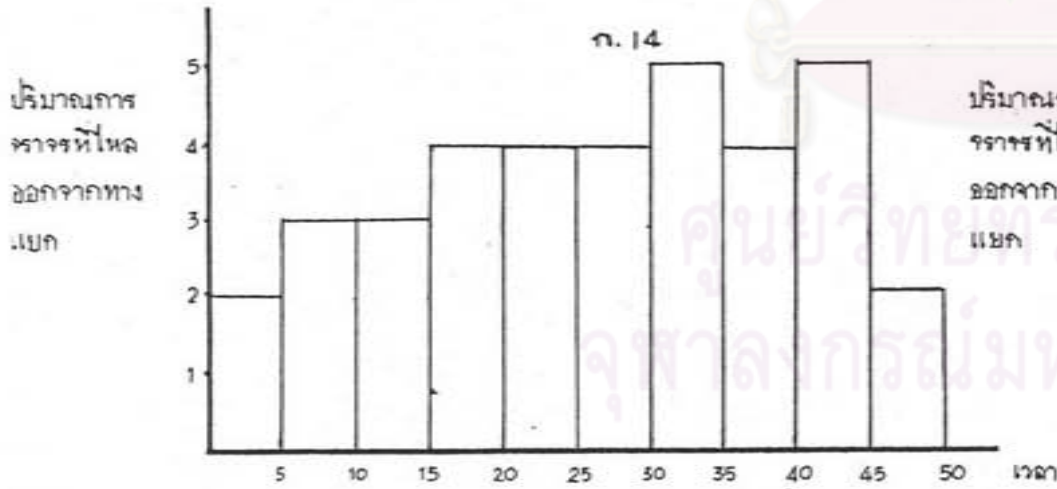
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



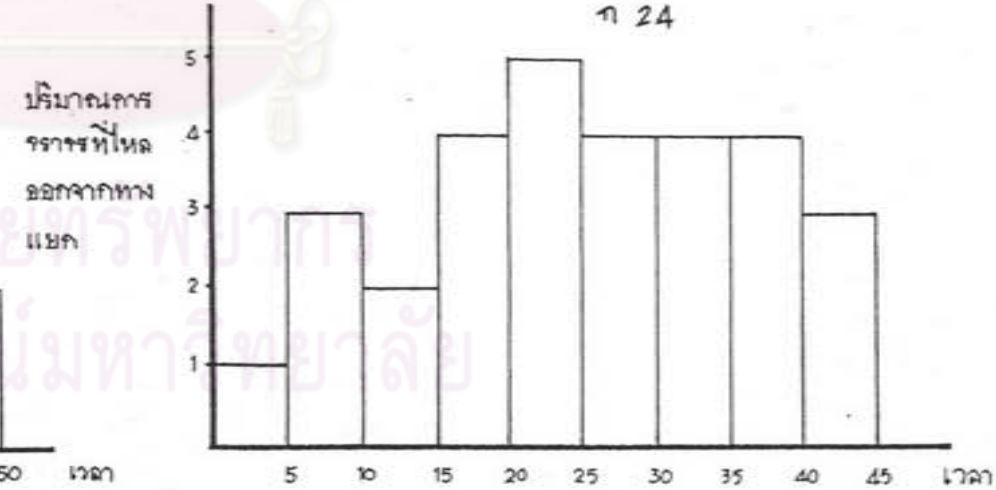
รูปที่ 4.1 แสดงการไหลของยวดยานออกจากทางแยกหลังจากเริ่มไฟเขียว (เฉพาะรถเก๋งทางตรง)



รูปที่ 4.2 แสดงการไหลของยวดยานออกจากทางแยกหลังจากเริ่มไฟเขียว (เฉพาะรถเก๋งทางตรง)

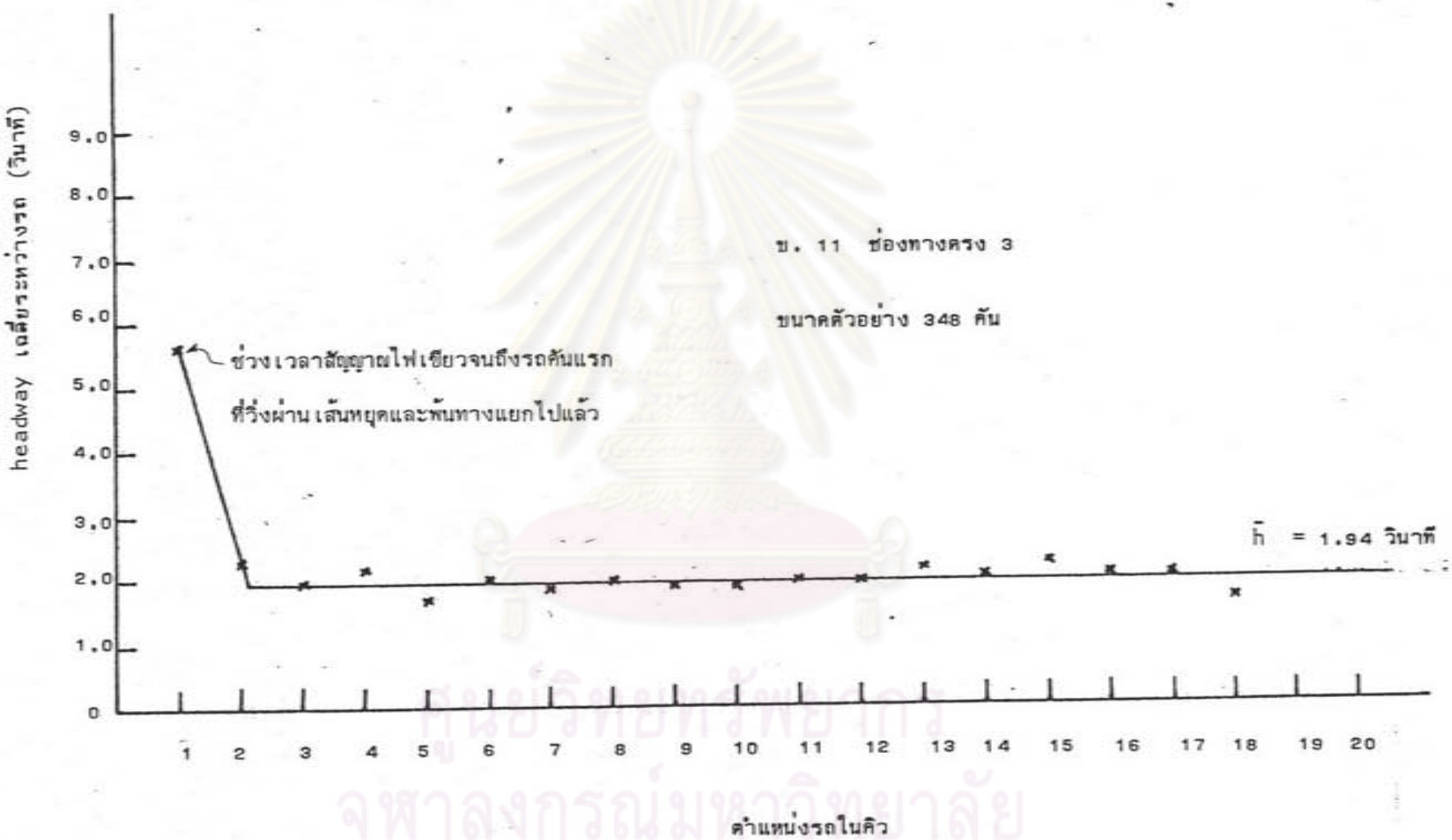


รูปที่ 4.3 แสดงการไหลอิ่มตัวของยวดยานออกจากทางแยกหลังจากเริ่มสัญญาณไฟเขียว (รถยนต์หลายชนิด)



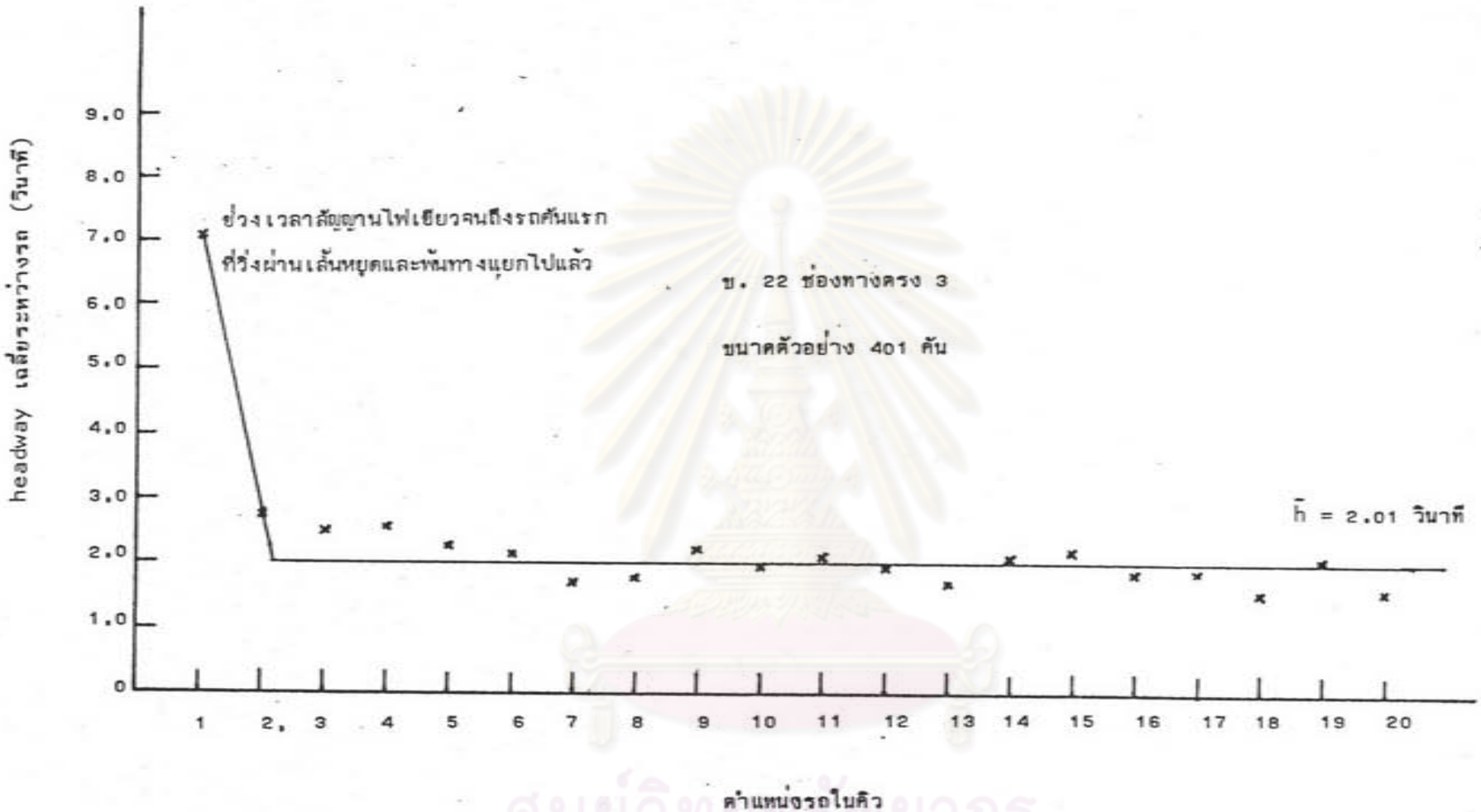
รูปที่ 4.4 แสดงการไหลอิ่มตัวของยวดยานออกจากทางแยกหลังจากสัญญาณไฟเขียว (เฉพาะรถเก๋งเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



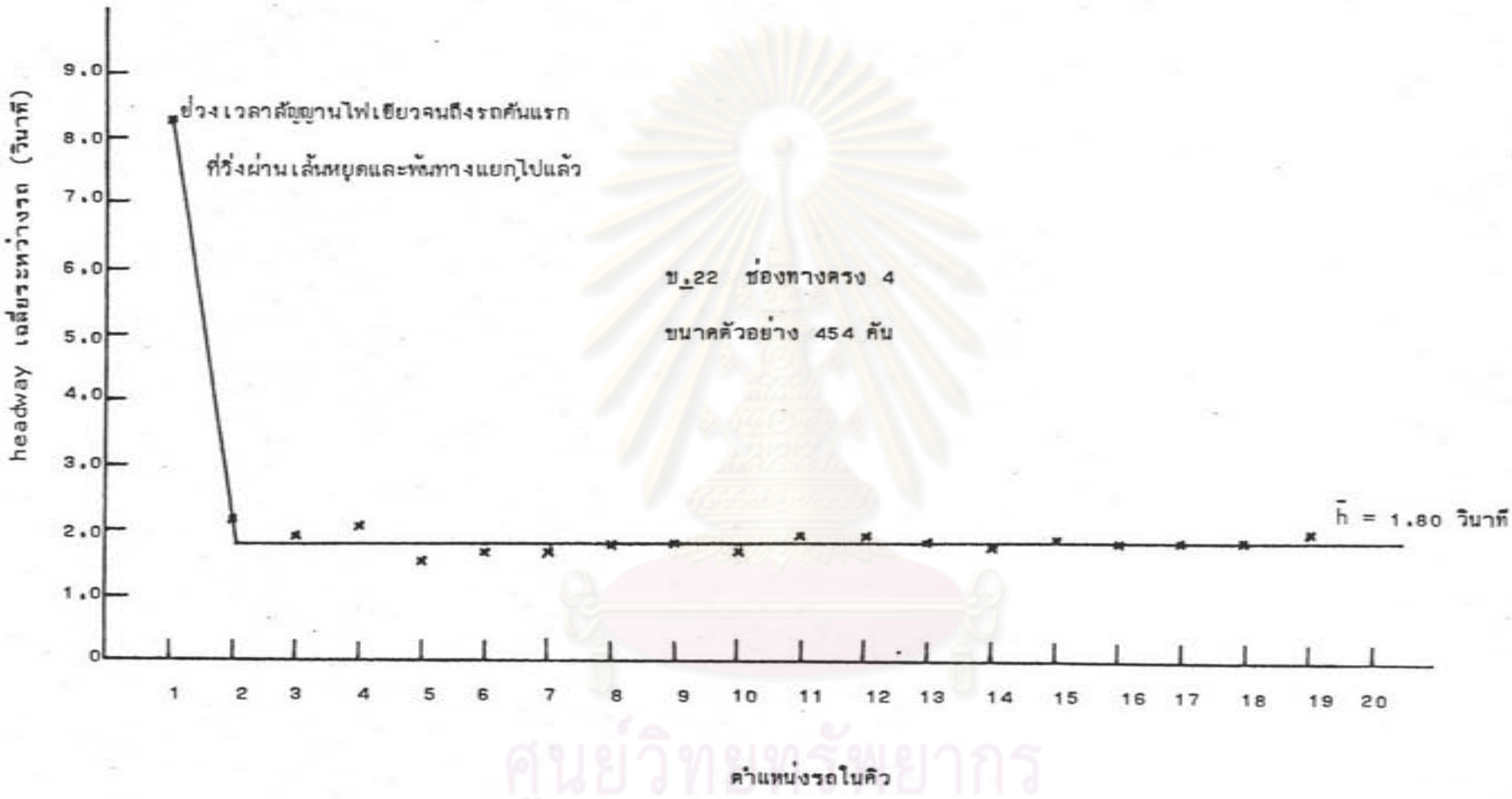
รูปที่ 4.5 แสดงค่า headway กับตำแหน่งของรถในคิว เมื่อเริ่มสัญญานไฟเขียว (เฉพาะรถเก๋งทางตรง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



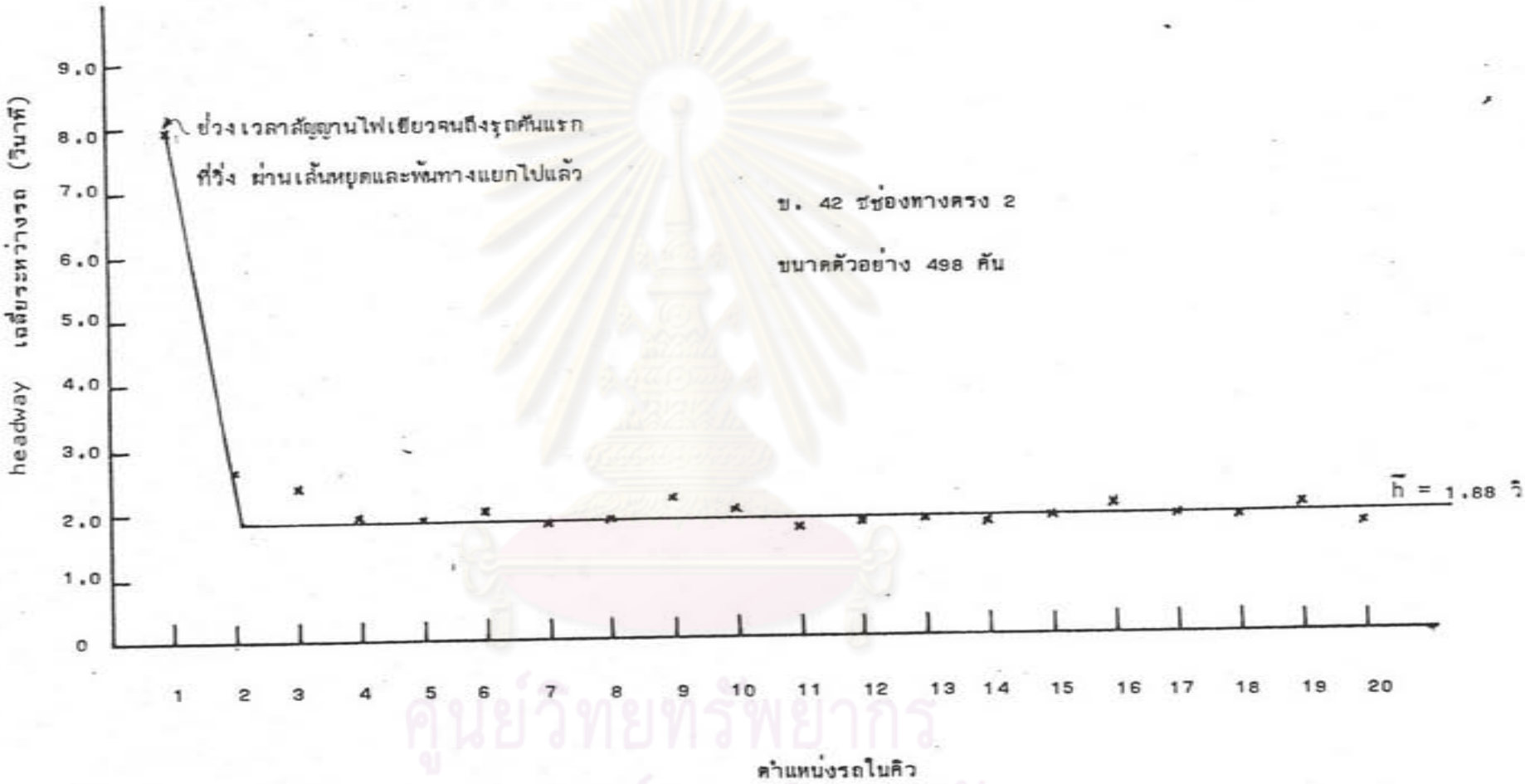
รูปที่ 4.6 แสดงค่า headway กับตำแหน่งของรถในคิว เมื่อเริ่มสัญญานไฟเขียว (เฉพาะรถเก่งทางตรง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



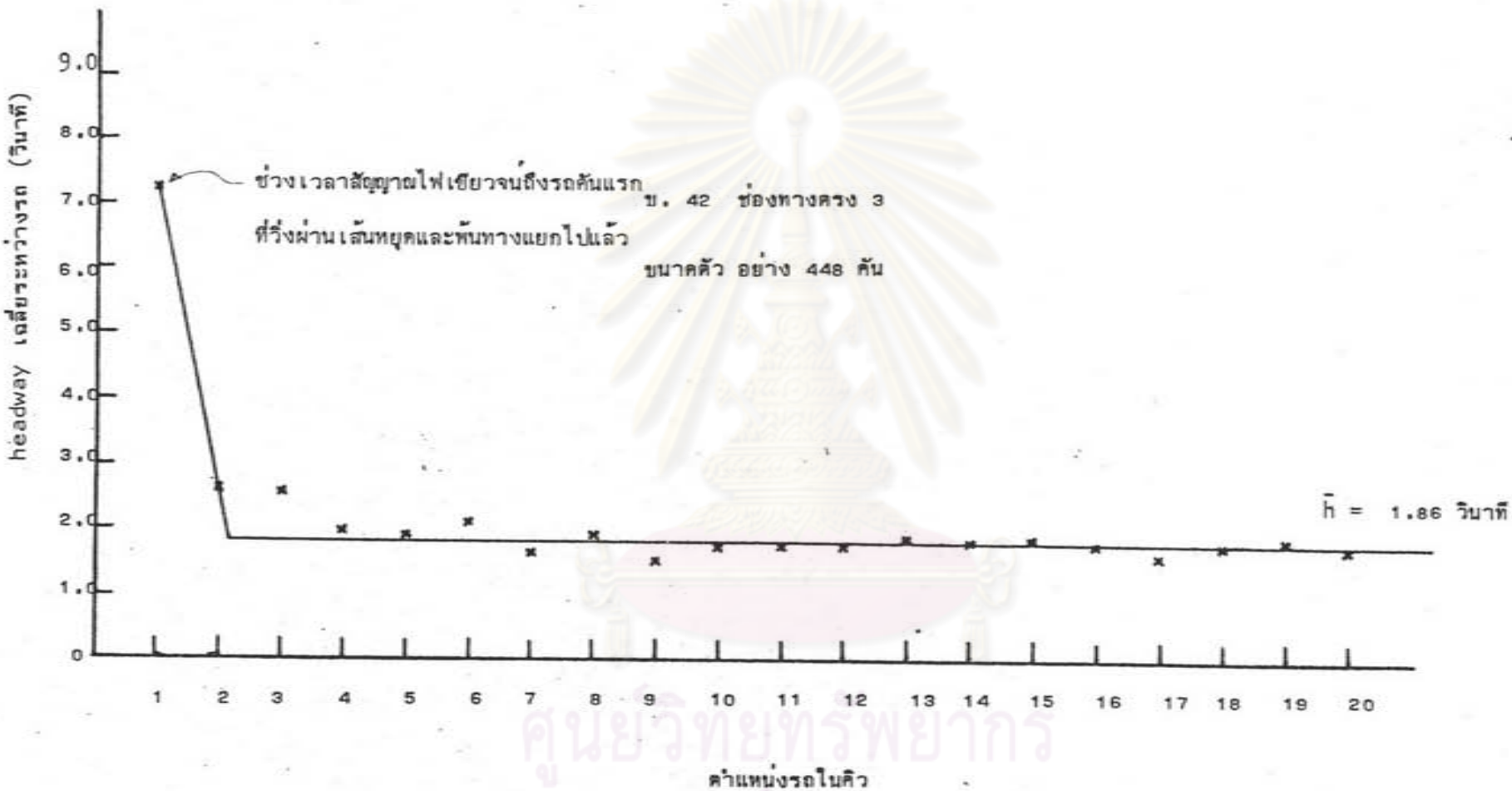
รูป 4.7 แสดงค่า headway กับตำแหน่งของรถในคิว เมื่อเริ่มสัญญานไฟเขียว (เฉพาะรถเก่งทางตรง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 แสดงค่า headway กับตำแหน่งของรถในคิว เมื่อเริ่มสัญญานไฟเขียว (เฉพาะรถเก่งทางตรง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 แสดงค่า headway กับตำแหน่งรถในคิว เมื่อเริ่มสัญญานไฟเขียว (เฉพาะรถเก่งทางตรง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของ Miller และ Leong

๔.๑.๑ การเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัวของรถเก๋งทางตรง

การหาค่าเฉลี่ยของ headway ของรถทางตรง คำนวนได้จาก mean และ standard deviation โดยใช้ระดับความเชื่อมั่น ๙๙% สูตรที่ใช้หาค่าเฉลี่ย headway

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \hat{h} < \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{\sigma}{n} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4.1)$$

ซึ่ง $\bar{x}$ = ค่า mean headway ของรถที่ตำแหน่งใด ๆ ในคิว

t = ค่าของ t-distribution

n = ขนาดของตัวอย่าง

$\hat{h}$ = ค่า headway ที่หาได้ ซึ่งถูกจำกัดโดยระดับความเชื่อมั่นที่ ๙๙%

จากตารางที่ ๔.๒ ในจำนวนช่องจราจรทั้งหมด ๑๒ ช่องจราจร ได้พบว่าค่า headway หลังจากรถคันที่ ๒ จะเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัว และหาค่า headway เฉลี่ยได้ที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙% ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า จะเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัวต่อเมื่อหลังจากรถคันที่ ๒ ไปแล้ว เฉพาะรถเก๋งทางตรงเท่านั้น โดยเริ่มพิจารณาจากการเริ่มของสัญญาณไฟเขียว ในพื้นที่กรุงเทพมหานครนี้ ผลที่ได้ตามมาคือ ค่า headway ในสภาพการไหลอิ่มตัวจะไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของรถ

๔.๑.๒ การเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัวของรถเก๋งเลี้ยวขวาที่ไม่มีรถสวน

เพื่อศึกษาผลของช่องจราจรที่มีเฉพาะรถเก๋งเลี้ยวขวา โดยมีสัญญาณไฟแยกต่างหาก จากการศึกษาช่องจราจรของรถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน ๔ ช่องจราจร ดังแสดงในตารางที่ ๔.๒ ใน ๔ แถวสุดท้ายได้พบว่า ค่า headway เฉลี่ยจะคงที่หลังจากรถคันที่ ๒ เช่นเดียวกับการเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัวของรถเก๋งทางตรง

๔.๑.๓ การหาค่าการไหลอิ่มตัวของช่องจราจรทางตรง

เมื่อรู้สภาวะการเกิดการไหลอิ่มตัวของรถเก๋งทางตรง หลังจากรถคันที่ ๒ ไปแล้ว สามารถคำนวนค่าเฉลี่ย headway ขณะที่เกิดการไหลอิ่มตัว และค่า standard deviation ดังแสดงอยู่ในตารางที่ ๔.๓ ส่วนค่าการไหลอิ่มตัวต่อชั่วโมงไฟเขียว (S.F.) หาได้จากสูตร

$$S.F. = \frac{3600}{\text{ค่า headway เฉลี่ย หลังจากรถคันที่ ๒ เฉพาะรถเก๋งทางตรง}} \quad \ldots\ldots (4.2)$$

ตารางที่ ๔.๒ แสดงค่าheadway เฉลี่ยหลังจากเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัว

ระยะทางแยก	ช่องจราจรที่ *	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	headway เฉลี่ย $\bar{x}$ (วินาที)	Standard Deviation (วินาที)	ค่านวณค่าheadway เฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น๑๕%	การเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัวหลังจากรถคันที่ x	headway เฉลี่ยหลังจากรถคันที่x
ข.11	3	5.63	2.28	1.95	2.17	1.68	2.00	1.84	1.96	1.87	1.83	1.94	2.12	2.00	2.20	2.00	1.60					2.17	0.88	1.57 ≤ μ ≤ 2.77	2	1.94
ข.11	4	4.80	2.38	2.19	1.86	2.05	2.23	2.36	2.09	2.08	2.13	2.04	1.80	1.96	1.76	2.04	2.08	1.96	1.84	1.91	2.00	2.23	0.69	1.78 ≤ μ ≤ 2.68	2	2.02
ข.21	2	8.15	2.34	2.09	2.19	1.61	1.76	1.73	1.80	1.92	1.73	1.65	1.83	1.90	1.78	1.69	1.84	1.77	1.81	1.94	2.08	2.18	1.42	1.27 ≤ μ ≤ 3.09	2	1.84
ข.21	3	8.56	3.12	2.24	1.96	2.25	2.17	1.56	1.63	1.91	1.63	1.96	1.77	1.89	1.94	1.78	1.80	2.07	1.85	1.87	1.75	2.28	1.51	1.31 ≤ μ ≤ 3.25	2	1.89
ข.22	3	7.04	2.76	2.52	2.56	2.25	2.17	1.73	1.80	2.25	1.96	2.12	1.95	1.70	2.11	2.20	1.86	1.87	1.55	2.08	1.57	2.30	1.16	1.56 ≤ μ ≤ 3.04	2	2.01
ข.22	4	8.24	2.16	1.92	2.04	1.52	1.65	1.68	1.79	1.79	1.87	1.92	1.90	1.83	1.71	1.86	1.80	1.80	1.78	1.91		2.16	1.48	1.18 ≤ μ ≤ 3.14	2	1.80
ข.32	2	7.29	2.67	2.19	1.92	1.80	2.09	1.90	1.73	2.03	1.61	1.85	1.97	1.76	1.81	2.08	1.94	1.83	1.76	1.85	1.72	2.29	1.34	1.43 ≤ μ ≤ 3.15	2	1.88
ข.32	3	8.25	2.52	1.86	2.04	1.87	2.00	1.76	2.04	2.08	2.00	1.68	1.92	2.00	1.79	1.72	1.76	3.00	2.08	1.78	1.84	2.30	1.43	1.38 ≤ μ ≤ 3.21	2	1.95
ข.32	5	7.32	3.00	2.13	2.04	1.97	1.86	1.75	1.87	2.06	1.69	1.91	1.87	1.90	1.83	1.96	1.79	1.95	2.01	1.87	2.10	2.24	1.22	1.46 ≤ μ ≤ 3.02	2	1.92
ข.41	3	7.52	2.42	2.10	1.98	1.85	2.14	1.96	1.78	1.92	1.87	1.91	1.77	1.90	1.86	1.95	1.82	1.74	1.85	1.93	1.87	2.21	1.28	1.40 ≤ μ ≤ 3.02	2	1.90
ข.42	2	7.96	2.64	2.36	1.92	1.88	2.00	1.80	1.84	2.16	1.96	1.68	1.76	1.80	1.72	1.80	2.50	1.80	1.78	1.92	1.64	2.22	1.37	1.34 ≤ μ ≤ 3.09	2	1.88
ข.42	3	7.25	2.63	2.58	2.00	1.91	2.13	1.86	1.95	1.52	1.75	1.79	1.78	1.88	1.81	1.88	1.79	1.81	1.79	1.88	1.74	2.16	1.23	1.37 ≤ μ ≤ 2.95	2	1.86
ข.11	6	6.21	2.91	2.19	2.08	1.80	1.92	1.87	1.95	1.73	1.84	2.02	1.80	1.75	1.65	1.90	1.77	1.81	1.68			2.17	1.05	1.40 ≤ μ ≤ 2.94	2	1.86
ข.32	6	8.21	2.52	2.30	2.28	2.29	2.34	2.27	2.24	2.22	2.09	1.96	2.05	1.98	2.20	2.06	2.11	2.12	2.23	2.49		2.52	1.39	1.54 ≤ μ ≤ 3.50	2	2.19
ข.41	6	7.23	3.05	2.80	2.31	2.02	1.91	1.84	1.75	1.90	1.67	1.75	1.84	1.56	1.86	1.88	1.94	1.60				2.29	1.33	1.27 ≤ μ ≤ 3.31	2	1.91
ข.42	6	8.15	2.93	2.80	2.06	2.23	2.00	2.06	2.17	2.03	1.68	1.84	1.93	2.01	1.86	1.98	2.10	2.08	1.81			2.43	1.46	1.35 ≤ μ ≤ 3.51	2	2.04

* ช่องจราจรที่ ๑ อยู่ชิดขอบทางเท้า ที่ 2,3 ออกห่างจากขอบทางเท้าตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๔.๓ แสดงช่องจราจรที่เกิดการไหลอิ่มตัว (เฉพาะรถเก๋ง)

ระหัสทางแยก	ช่องจราจร	ความกว้างช่องจราจร (ม.)	headway เฉลี่ยหลังจากรถคันที่ ๒ (วินาที)	Standard Deviation	การไหลอิ่มตัว tcu/g.hr.
ข.11	3	2.85	1.94	0.16	1856
ข.11	4	2.75	2.02	0.15	1782
ข.21	2	3.00	1.84	0.16	1958
ข.21	3	2.80	1.89	0.20	1904
ข.22	3	2.80	2.01	0.29	1791
ข.22	4	3.00	1.80	0.13	2000
ข.32	2	2.85	1.88	0.15	1914
ข.32	3	2.75	1.95	0.30	1846
ข.32	5	2.85	1.92	0.12	1873
ข.41	3	2.90	1.90	0.10	1893
ข.42	2	2.90	1.88	0.18	1914
ข.42	3	2.90	1.86	0.23	1935

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๔.๑.๑ การไหลอิ่มตัวของ รถเก๋งทางตรง

จากตารางที่ ๔.๓ Column สุดท้าย ให้ค่าการไหลอิ่มตัวของข้อมูลของรถทางตรง โดยใช้ข้อมูลของรถเก๋งซึ่งกำลังอยู่ในสภาวะการไหลอิ่มตัว และไม่มีรถประเภทอื่น ๆ ไม่มีรถเลี้ยวตลอดจนรถจอดข้างถนน หรือป้ายหยุดของรถโดยสารประจำทาง ค่าการไหลอิ่มตัวที่ได้นี้ มีความสัมพันธ์กับความกว้างของช่องจราจร โดยใช้ข้อสมมติฐานตาม Webster และ Cobbe ว่า ความสัมพันธ์ของการไหลอิ่มตัว และความกว้างช่องจราจรเป็นเส้นตรง จากการวิเคราะห์ linear regression ที่ใช้ความกว้างช่องจราจรตั้งแต่ ๒.๗๕-๓.๑๐ เมตร กับค่าการไหลอิ่มตัวที่คำนวนได้ ผลของ regression Y (S.F) และ x (W) มีดังนี้

$$S.F. = 660\ W_1 \quad pcu/_{green\ hr.} \quad \text{หรือ} \quad 201\ W_2 \quad pcu/_{green\ hr.} \quad \ldots\ldots (4.3)$$

W_1 = ความกว้างช่องจราจร มีหน่วย เมตร

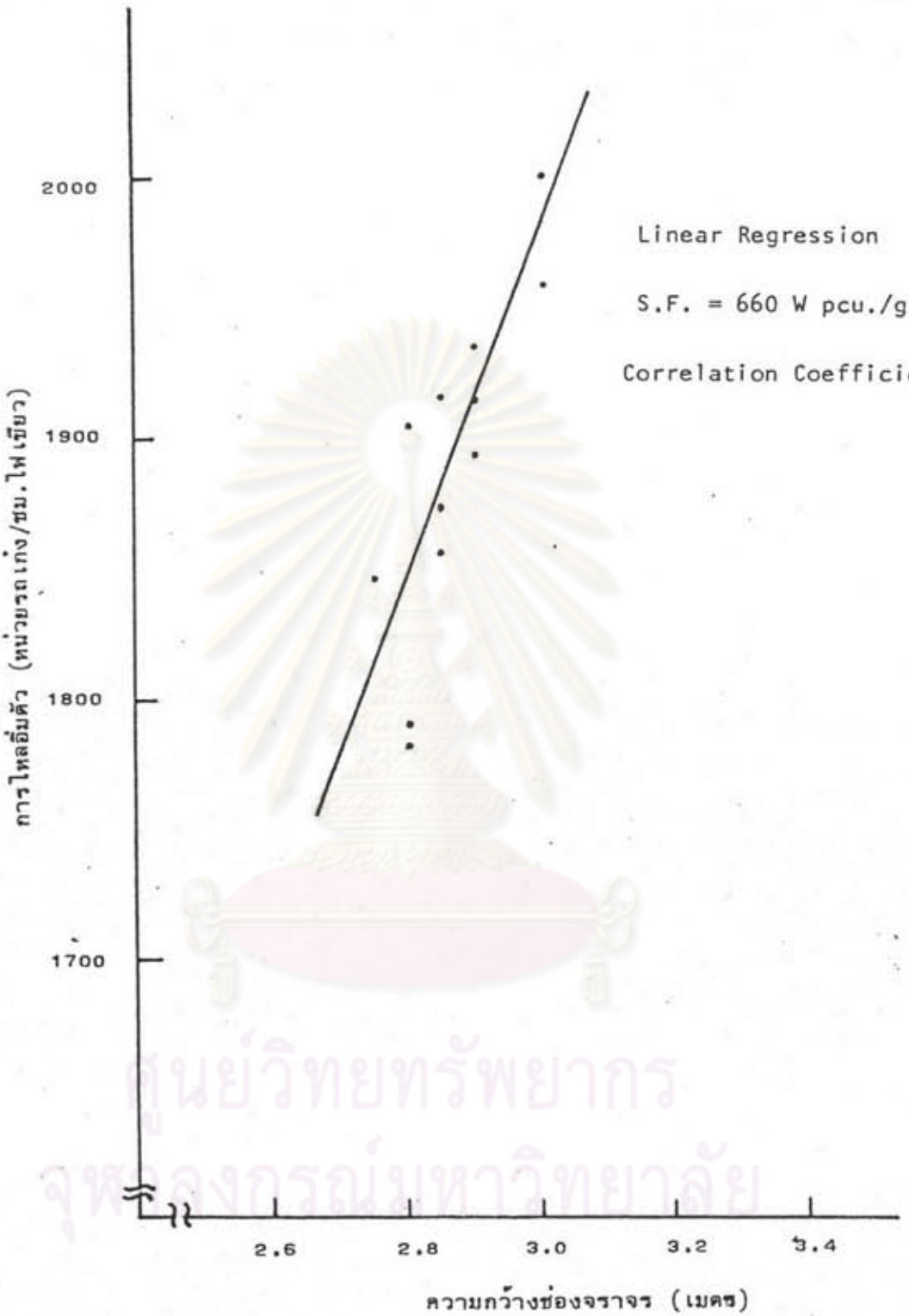
W_2 ความกว้างช่องจราจร มีหน่วย ฟุต

รายละเอียดของการวิเคราะห์ดูจากภาคผนวก ข (๑๐)

เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของค่าการไหลอิ่มตัว กับ ความกว้างของช่องจราจรได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการนำมาเขียนรูปกราฟ ให้แกน x เป็นค่าความกว้างของช่องจราจร และแกน Y เป็นค่าการไหลอิ่มตัวจากข้อมูล ดังแสดงในรูป ๔.๑๐ ค่าความสัมพันธ์ที่ได้เป็นเส้นตรงนี้ มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) = 0.86 ถูกนำมาใช้กับช่วงความกว้างของช่องจราจร ตั้ง ๒.๗๕ - ๓.๑๐ เมตร มากที่สุด ถ้าช่องจราจรไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว คือ มีความกว้างของช่องจราจรมากกว่า แต่ไม่กว้างพอที่แบ่งเป็นสองช่องจราจร ก็ให้คิดเป็นหนึ่งช่องจราจร เพราะถ้าแบ่งช่องจราจรนั้น ออกเป็นสองช่องจราจร ในบางครั้งรถจะวิ่งแถวเดียวในหนึ่งช่องจราจร แต่บางครั้งรถจะวิ่งสองแถวในหนึ่งช่องจราจร และบางครั้งจะมีรถวิ่งคล่อมช่องจราจร ถ้าช่องจราจรนั้นแคบ

๔.๑.๒ การไหลอิ่มตัวของรถทั่วไปทางตรง

ชนิดของรถที่วิ่งอยู่ในระบบการจราจรที่ทางแยก มีผลโดยตรงอย่างมาก ต่อการไหลอิ่มตัวที่ทางแยก ดังนั้นเพื่อความแน่นอนในการศึกษา จึงได้เปลี่ยนชนิดของรถต่าง ๆ ให้เป็นหน่วยรถเก๋งต่อชั่วโมงของไฟเขียว แทนที่จะใช้หน่วยรถต่อชั่วโมงของไฟเขียว ซึ่งการศึกษาเช่นนี้ได้



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการไหลอิ่มตัว กับความกว้างช่องจราจร (เทียบจากเฉพาะรถเก๋งทางตรง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ใช้มาแล้ว ทั้งในยุโรปและสหรัฐอเมริกา Webster และ Cobbe ได้ศึกษา และให้ค่าของหน่วยรถต่าง ๆ ที่แปลงมาเป็นหน่วยรถเก๋ง ดังแสดงในบทที่ ๒

แต่เนื่องจากความผันแปรของสิ่งต่าง ๆ เช่น ระบบการจราจร การออกแบบทางเรขาคณิต ขนาดและชนิดของยวดยาน รวมทั้งรถเลี้ยว ความแตกต่างของอุปนิสัยของคนขับ ระบบการควบคุมสัญญาน กฎข้อบังคับจราจร และความแตกต่างของขนาดรถในพื้นที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าของหน่วยรถต่าง ๆ ที่แปลงมาเป็นหน่วยรถเก๋ง จึงแตกต่างกันออกไปตามสถานที่ ดังนั้นจึงมีการศึกษาหาค่าหน่วยรถเก๋งในกรุงเทพมหานคร ซึ่งอาจสามารถนำไปใช้ ในที่อื่น ๆ ทั่งประเทศได้

วิธีหาค่าหน่วยรถเก๋งของรถทางตรงทุกชนิด[๑๑] กระทำโดยการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ในแต่ละรอบสัญญานไฟของแต่ละช่วงจราจร โดยทั่วไปชนิดของรถต่าง ๆ บนถนน แบ่งออกเป็น ๔ ชนิด คือ รถเก๋ง (c) รถสามล้อ (S) รถบรรทุก (CV) และรถมอเตอร์ไซด์ (M) พร้อมกับเก็บข้อมูลความยาวหรือระยะเวลาที่เกิดการไหลอิ่มตัว (T- วินาที) และใช้ความสัมพันธ์ทางพีชคณิต กำหนดให้ a,b และ c เป็นหน่วยรถเก๋ง ของรถสามล้อ, รถบรรทุก และรถมอเตอร์ไซด์ตามลำดับ ในช่วงเวลาที่เกิดสภาพการไหลอิ่มตัว ในแต่ละช่องทางจราจร ถ้า F คือ การไหลอิ่มตัวในหน่วยของหน่วยรถเก๋ง ของยวดยานที่ผ่านเส้นหยุดในแต่ละช่องทาง ต่อ ๑ นาที

$$F = (C+a.S+b.CV+c.M) \times 60 \quad \text{.....4.4}$$

เนื่องจากค่า C $\frac{}{T}$ ค่า จึงอาจเปลี่ยนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$Y = \frac{60C}{T}$$

$$X_1 = \frac{60.S}{T}$$

$$X_2 = \frac{60.CV}{T} \quad \text{.....(4.5)}$$

และ $$X_3 = \frac{60.M}{T}$$

แทนค่าใน 4.4 $F = Y + a.x_1 + b.x_2 + c.x_3$

หรือ $$Y = F - a.x_1 - b.x_2 - c.x_3 \quad \text{.....(4.6)}$$

ในแต่ละช่องทางจราจร ค่าของ Y, x_1, x_2^2 และ x_3 จะถูกบันทึกในแต่ละรอบสัญญานไฟ และหาค่าที่ดีที่สุดของ a, b และ ในแต่ละช่องทางจราจร โดยใช้วิธี Multiple Linear Regression Analysis ผลที่ได้รับแสดงอยู่ในตารางที่ ๔.๔

ตารางที่ ๔.๔ แสดงค่าหน่วยรถเก๋งของรถทางตรงทุกชนิด

ชนิดของรถ	หน่วยรถเก๋ง
1 รถสามล้อ	0.71
1 รถบรรทุก	1.65
1 รถมอเตอร์ไซค์	0.24

ที่มา ครรชิต ผิวนวล[11]

เมื่อทราบผลกระทบจากชนิดของยวดยานดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสมการ (4.3) ซึ่งเป็นสมการ การไหลอิ่มตัวของรถเก๋งทางตรง ในการหาค่าการไหลอิ่มตัวของรถทั่วไปทางตรงได้ โดยเก็บข้อมูล ของรถสามล้อ รถบรรทุก และรถมอเตอร์ไซค์ ที่วิ่งอยู่ในสภาวะการไหลอิ่มตัว ให้อยู่ในรูป ของร้อยละ ประมาณ ๑๐ รอบสัญญานไฟ ต่อหนึ่งด้านของทางแยก แล้วแปลงชนิดของรถทุกชนิดให้เป็นหน่วยรถเก๋ง ตามตารางที่ ๔.๔ จากนั้น สามารถหาค่าการไหลอิ่มตัวของรถทั่วไปในแต่ละช่องจราจรทางตรงได้

เหตุผลที่ไม่สามารถสร้างสมการของการไหลอิ่มตัว ของรถทั่วไปทางตรง เนื่องจากปริมาณรถชนิดต่าง ๆ ที่ออกจากทางแยก เมื่อได้รับสัญญานไฟเขียว จะมีปริมาณชนิดของรถไม่คงที่ในแต่ละทางแยก หรือแม้แต่ในทางแยกเดียวกัน แต่คนละช่วงเวลา ที่จะทำให้สมการที่ได้รับมีค่า Multiple Coefficient of Correlation (R) ต่ำ อีกประการหนึ่งเกี่ยวกับรถมอเตอร์ไซค์ ซึ่งมีเป็นจำนวนมากในกรุงเทพมหานคร ทำให้ค่าการไหลอิ่มตัวของรถทุกชนิด เปลี่ยนไปในทางที่มากขึ้นกว่า ค่าการไหลอิ่มตัวของรถเก๋งทางตรง

ดังนั้น การหาค่าการไหลอิ่มตัวของรถทั่วไปทุกชนิดในทางตรง จะคำนวนหาได้จากการประยุกต์ของสมการของการไหลอิ่มตัวของรถเก๋งทางตรง โดยการเปลี่ยนชนิดของรถทุกชนิดที่วิ่งออกจากทางแยก เมื่อได้รับสัญญานไฟเขียวให้เป็นหน่วยรถเก๋งก่อน แล้วจึงใช้สมการ (๔.๓) หาค่าการไหลอิ่มตัวของรถทั่วไปทางตรง

๔.๑.๓ การไหลอิ่มตัวของรถเลี้ยวไม่มีรถสวน

การไหลของรถเลี้ยว จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบ เนื่องจากองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น รัศมีความโค้ง ความเร็วของยวดยานที่เลี้ยว รถที่สวนมา และคนเดินเท้าข้ามถนน การเลี้ยวของ รถเก๋ง จะแสดงในรูปของ "หน่วยรถเก๋ง" Z(passenger car unit) และเป็นหน่วยรถทางตรง (through car unit) ซึ่งหมายถึงรถเลี้ยวแต่ละคันในช่วงสัญญาณไฟเขียวที่มีการไหลอิ่มตัว จะเทียบเท่าจำนวนรถเก๋งทางตรงจำนวนหนึ่ง

สำหรับการไหลของรถเลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาโดยมีสัญญาณไฟแยกต่างหาก ได้มีผู้ศึกษาในเรื่องนี้มาแล้วหลายราย งานวิจัยของ Webster ในปี ๑๙๖๔ ที่ TRRL ประเทศอังกฤษ ให้ค่ารถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน $= (1 + \frac{5}{r})$ ของรถทางตรง ซึ่ง r คือ ค่ารัศมีความโค้งของการเลี้ยว (ฟุต) กฎเกี่ยวกับผลกระทบของความโค้งต่อรถเลี้ยวขวา สามารถนำมาใช้กับรถเลี้ยวซ้ายได้ โดยเปลี่ยนค่า r มาเป็นรัศมีความโค้งของรถเลี้ยวซ้าย ถ้ารถเลี้ยวซ้ายมีมากกว่าร้อยละ ๑๐ ของรถทั้งหมดที่ด้านของทางแยก รถเลี้ยวซ้ายแต่ละคันจะประมาณ ๑.๒๕ คันของรถทางตรง โดยสมมติว่าไม่มีช่องทางสำหรับรถเลี้ยวซ้ายโดยเฉพาะ

Miller ได้ทั้งสมการสำหรับรถเลี้ยวที่ไม่มีรถสวนไว้ดังนี้

$$E_{turn} = 1 + (\bar{e}_{turn} / \bar{h}c) \quad \text{.....(4.7)}$$

E_{turn} = หน่วยรถตรงสำหรับรถเลี้ยว

$\bar{e}_{turn}$ = ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาระหว่างรถที่เพิ่มขึ้นสำหรับรถเลี้ยว

$\bar{h}c$ = ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาระหว่างรถ สำหรับรถทางตรง

Miller พบว่ารถเลี้ยวซ้าย ๑ คัน มีค่าเทียบเท่า ๑.๒๕ ของรถทางตรง และการเลี้ยวมีผลกระทบมาจากรัศมีความโค้ง ซึ่งมักมีค่าประมาณ ๑๕-๒๕ ฟุต สำหรับรถเลี้ยวขวาที่ไม่มีรถสวน จะมีค่าเทียบเท่ากับรถทางตรง โดยรัศมีความโค้งจะต้องยาวมากพอ และความกว้างของ ช่องจราจร จะต้องกว้างอย่างน้อยเท่ากับ ความกว้างของช่องจราจรที่รถเลี้ยวเข้ามา

ในปี ๑๙๗๒ Wohl & Martin ได้สรุปผลงานของ Greenshield ดังนี้ จะต้องเพิ่มค่าเฉลี่ย ๑.๓ วินาที เข้ากับช่วงไฟเขียว สำหรับรถเลี้ยวขวาแต่ละคัน ค่าที่เพิ่มนี้จะต้องนำมาใช้กับผลรวมของรถเลี้ยวขวา ซึ่งวิ่งเข้าสู่ทางแยก ไม่ว่าทางใดในไฟเขียว ถ้าช่วง ระยะห่างของรถทางตรง ๒.๑ วินาที/คัน โดยไม่คิดความล่าช้า (Delay) และรถเลี้ยวขวาต้องการเวลาเพิ่ม

= ๑.๓ วินาที/คัน ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาระหว่างรถของรถเลี้ยวขวา = ๒.๑ + ๑.๓ = ๓.๔ วินาที หรือ ๓.๔/๒.๑ = ๑.๖ เท่าของรถทางตรง นั่นคือ รถเลี้ยวขวาแต่ละคันจะเท่ากับ ๑.๖ เท่าของรถทางตรง การคำนวนหน่วยรถเก๋งทางตรงสำหรับรถเลี้ยว หาได้จาก

$$\text{หน่วยรถเก๋ง} = \frac{\text{การไหลอิ่มตัวที่คำนวนได้ทางทฤษฎี (หน่วยรถเก๋ง/ชั่วโมงไฟเขียว)}}{\text{การไหลอิ่มตัวของรถเลี้ยว (หน่วยรถเก๋ง/ชั่วโมงไฟเขียว)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (๔.๘)$$

จากวิธีดังกล่าว ถูกนำมาใช้ในการหาค่าเทียบเท่าของหน่วยรถทางตรงสำหรับรถเลี้ยว ครั้งแรก หาค่าการไหลอิ่มตัวจากข้อมูลที่เก็บมาสำหรับรถเลี้ยว แล้วนำค่าการไหลอิ่มตัว ของรถเลี้ยวที่คำนวนได้ มาเปรียบเทียบกับค่าการไหลอิ่มตัวที่คำนวนได้จากทฤษฎี จากนั้นสามารถหาค่าเทียบเท่าหน่วยรถเก๋งสำหรับรถเลี้ยวได้ ตามสมการ (๔.๘) ดังแสดงในตารางที่ ๔.๕

ตารางที่ ๔.๕ แสดงหน่วยเทียบเท่ารถเก๋งทางตรง สำหรับรถเลี้ยวขวาไม่มีรถสวน

ระหัสทางแยก	ช่องจราจรที่	ความกว้างช่องจราจร (เมตร)	รัศมีของวงเลี้ยว (เมตร)	การไหลอิ่มตัวจากข้อมูล (pcu./hr.)	การไหลอิ่มตัวจากทฤษฎี (pcu./hr.)	ค่าเทียบเท่ารถเก๋งทางตรงสำหรับเลี้ยวขวา
11	6	2.90	21.1	1806	1914	1.06
32	6	2.60	19.0	1519	1716	1.13
41	6	2.90	21.2	1756	1914	1.09
42	6	2.90	21.2	1650	1914	1.16
เฉลี่ย						1.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ ๔.๕ แสดงค่าของรถเลี้ยวขวาเมื่อเทียบกับรถทางตรง = 1.11 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากทางแยกที่ทำการศึกษาเป็นทางแยกใหญ่ มีรัศมีความโค้งยาว ความเร็วในการขับรถ และความคล่องตัวค่อนข้างสูง ทำให้มีผลต่อการไหลอิ่มตัวของรถเลี้ยวขวาที่ไม่มีรถสวนค่อนข้างน้อยมาก ข้อสรุปนี้ไปคล้องจองมากกับข้อกล่าวของ Australian Road Research Board ซึ่งได้ทำการศึกษาในปี ๑๙๖๘ รถเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาจะมีผลกระทบมาจากรัศมีความโค้งแต่ค่าผิดแผกแตกต่างของการเปลี่ยนเป็นค่ารถทางตรง จะแตกต่างกันน้อยในภาคปฏิบัติส่วนใหญ่ ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จาก Webster คือ ถ้ารัศมีความโค้งของรถเลี้ยวมีค่าไม่น้อยกว่า ๕๐ ฟุต ผลกระทบจากรัศมีความโค้งต่อการเลี้ยวจะน้อยมาก วิธีการวัดรัศมีความโค้งของการเลี้ยว แสดงในภาคผนวก ค.

๔.๑.๔ การไหลอิ่มตัวของรถเลี้ยว เมื่อมีรถสวน

Webster และ Cobbe ได้ทำการศึกษาแปลงค่าของรถเลี้ยวขวาที่มีรถสวน เท่ากับ ๑.๗๕ ของรถทางตรง ส่วนวิธีของ National Research Council ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งแสดงไว้ในหนังสือ Highway Capacity Manual ในปี ๑๙๖๕ ได้แสดงกราฟของรถเลี้ยวชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับร้อยละของชนิดรถบรรทุก หรือรถเก่งที่ต้องการจะเลี้ยว และวิธีการสุดท้ายที่ได้รับการปรับปรุงขึ้นโดย Miller ในปี ๑๙๖๘ ได้กำหนดสูตรสำหรับอธิบายพฤติกรรมของการเลี้ยวขวาที่มีรถสวน ไว้ดังนี้

$$E_{rt} = \frac{1.5}{f\left[\frac{sg-qc}{g(s-q)}\right]+\frac{4.5}{g}} \qquad \text{..... (4.9)}$$

โดยที่ q และ s เป็นปริมาณการไหล และการไหลอิ่มตัวของรถทางตรงที่สวนมา

ส่วน g และ c เป็นช่วงไฟเขียวประสิทธิภาพ (effective green time) รอบเวลาสัญญาณไฟ (cycle time) ตามลำดับ และค่า f ขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลของการจราจรของรถทางตรงที่สวนมา มีค่าดังนี้

q (คัน/ชม.)	0	200	400	600	800
f	1.00	0.81	0.65	0.54	0.45

วิธีของ Websterและ Cobbe กับ National Research Council พร้อมทั้งวิธีของ Miller ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับ การวิจัยในครั้งนี้ ทั้งนี้เนื่องจากที่ทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟ สำหรับรถเลี้ยวขวา มักจะมีตำรวจคอยกั้นรถให้ ทำให้รอบเวลาและช่วงไฟเขียวประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงอยู่เรื่อยๆ นอกจากนี้ยังมีแฟคเตอร์เกี่ยวกับการไหลอิ่มตัวของรถเลี้ยวขวาที่มีรถสวน เช่น การไหลอิ่มตัวของรถทางตรงที่วิ่งสวนมา ค่าไฟเขียวประสิทธิผล และค่ารอบเวลาสัญญาณไฟ ความสลับซับซ้อนเหล่านี้อยู่นอกเหนือการวิจัยนี้ เนื่องจากเหตุผลนี้ จึงใช้ค่าของการเลี้ยวของรถเลี้ยวขวาที่มีรถสวนมา เมื่อเปลี่ยนเป็นรถทางตรง จะมีค่าประมาณ ๒.๔๔ (๑๐)

๔.๒ องค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งมีผลกระทบต่อการไหลอิ่มตัว

การไหลอิ่มตัวของการจราจรที่ทางแยกเป็นพฤติกรรมที่สำคัญมากของการจราจรและเป็นตัวชี้ลักษณะและคุณภาพของทางแยก ในทางกลับกันลักษณะของทางแยกก็จะมีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณการไหลอิ่มตัวด้วย เช่น ระดับของทางแยก (Gradient) การจอดรถที่ทางแยก การเบียดแบ่งเพื่อใช้ช่องทางจราจร และการสูญเสียเวลาก่อนออกรถ

๔.๒.๑ ผลกระทบของระดับ (Gradient)

โดยทั่วไปการศึกษาเรื่องระดับจะวัดด้วยกล้องระดับโดยหาค่าออกมาเป็นร้อยละของระยะทางในแนวดิ่งต่อระยะทางในแนวราบ ๒๐๐ ฟุต ก่อนถึงเส้นหยุด เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ในกรุงเทพฯ อยู่ในระดับแนวราบ นอกจากบริเวณที่เป็นสะพานหรือสะพานลอย ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีค่าความลาดชันมาเกี่ยวข้องเลย แต่หากมีความลาดชันเข้ามาเกี่ยวข้องในการนำไปใช้งานในที่อื่นๆ อาจพิจารณาใช้ผลของ Webster และ Cobbe เข้ามาใช้ ซึ่งได้กล่าวว่าในแต่ความลาดชันเมื่อขึ้นเนินร้อยละ ๑ จะทำให้ค่าการไหลอิ่มตัวลดลงร้อยละ ๓ และค่าการไหลอิ่มตัวจะเพิ่มร้อยละ ๓ ต่อความลาดชันที่ลงเนินร้อยละ ๑

๔.๒.๒ การจอดรถที่ทางแยก (Parking)

การจอดรถที่ทางแยกจะมีผลต่อการไหลของการจราจรเมื่ออยู่ในระยะประมาณ ๒๕ ฟุต ขึ้นไป ถึงระยะประมาณ ๒๕๐ ฟุต ของทางแยก หรือระยะทางเท่ากับความยาวของคิวที่มาพร้อมที่ทางแยก ในระยะที่ต่ำกว่า ๒๕ ฟุต ให้ถือเสมือนทางแยกนั้นเสียช่องทางจราจรไป ๑ ช่องทาง และเสียความกว้างของตัวรถที่จอด

ตามปกติทางแยกใน กทม. จะห้ามจอดที่บริเวณทางลยกประกอบกับเวลาที่ไปทำการเก็บข้อมูล ไม่มีการจราจรที่บริเวณทางแยกโดยเฉพาะในด้านทางแยกที่ได้ไปเก็บข้อมูล จึงไม่มีการวิเคราะห์ข้อมูลประเภทนี้ แต่ผู้วิจัยคิดว่าสามารถใช้แบบจำลองการลดความกว้างของทางแยกซึ่งได้คำนวนไว้ในต่างประเทศ นำมาใช้ได้เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่เกี่ยวพันกับตัวรถและความกว้างของช่องทางจราจรเท่านั้น ไม่มีตัวแปรอื่นที่จะสะท้อนถึงสภาพการจราจร หรือสภาพอื่นๆ เฉพาะในแต่ละประเทศ

๔.๒.๓ <u>การสูญเสียเวลากับสัญญาณไฟเขียว</u> (Lost Time at the Start of the Green Peroid)

การออกรถที่ทางแยกสัญญาณไฟเมื่อเริ่มได้รับสัญญาณไฟเขียว จะต้องเสียเวลาช่วงหนึ่งก่อนในการเร่งความเร็วรถ หรือบางครั้งเพื่อให้เวลาแก่คนข้ามถนนให้ข้ามหมดไปช่วงหนึ่งก่อน หลังจากนั้นรถจะวิ่งด้วยความเร็วออกจากทางแยกคงที่ ในการศึกษานี้ได้พบว่า การเกิดสภาวะการไหลอิ่มตัวจะเกิดขึ้นหลังจากรถคันที่สองไปแล้วในแต่ละรอบสัญญาณไฟเขียว ดังนั้นจึงได้ทำการวัดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มสัญญาณไฟเขียว จนถึงเวลาที่ล้อหลังของรถคันที่สองวิ่งผ่านเส้นหยุด จากค่านี้สามารถหาค่า headway เฉลี่ยของรถเก๋งสองคันแรกได้

ค่าการสูญเสียเวลาในการเริ่มออกรถเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว ทำการศึกษาวัดจากช่องจราจรแต่ละช่อง ยกเว้นช่องทางสำหรับรถเลี้ยวขวาและช่องทางสำหรับรถเลี้ยวซ้าย ผลที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ ๔.๗ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่สูญเสียไปประมาณ ๖.๓๕ วินาที ซึ่งค่อนข้างสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเวลา ๑.๑๒ วินาที โดยการศึกษาของ Leong ในปี ๑๙๖๔ และสูงกว่าการศึกษาของ Miller ในปี ๑๙๖๘ ซึ่งได้ค่าเท่ากับ ๒.๑ วินาที ทั้งนี้เนื่องจากวิธีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ดัดแปลงมาจากวิธีของ Miller แต่การเก็บข้อมูลหาค่า headway ที่ เส้นหยุดของรถที่วิ่งออกจากทางแยกไม่ใช้เส้นหยุดตรงที่รถหยุดรอสัญญาณไฟเขียว เพราะในบางครั้งเกิดปัญหารถที่วิ่งออกจากเส้นหยุดนี้แล้วยังไม่สามารถวิ่งผ่านพ้นทางแยกไปได้ ทำให้เกิดปัญหาการไหลของรถออกจากทางแยกในอีกด้านหนึ่งของทางแยกเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว ดังนั้นในการเก็บข้อมูลช่วงหลังนี้ จึงใช้เส้นหยุดของทางแยกที่อยู่ตรงข้ามกับรถที่วิ่งออกจากทางแยก เพื่อที่จะเป็นค่าการไหลอิ่มตัวที่พ้นทางแยก

ตารางที่ ๔.๑ แสดงค่าการสูญเสียเวลาต้นสัญญาณไฟเขียว

ด้านของทางแยก	ช่องทางจราจรที่	เวลาเฉลี่ยของรถ ๒ คันแรก, วินาที	ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาของรถในช่วงการไหลอิ่มตัว เฉพาะรถเก่ง, วินาที	การสูญเสียเวลาต้นสัญญาณไฟเขียว, วินาที
1	2	3	4	5
ข.11	3	7.91	1.94	4.03
ข.11	4	8.18	2.02	4.14
ข.21	2	10.49	1.84	6.81
ข.21	3	11.68	1.89	7.90
ข.22	3	9.80	2.01	5.78
ข.22	4	10.40	1.80	6.8
ข.32	2	11.96	1.88	8.2
ข.32	3	10.77	1.95	6.87
ข.32	5	10.32	1.92	6.48
ข.51	3	9.94	1.90	6.14
ข.52	2	10.60	1.88	6.84
ข.52	3	9.88	1.86	6.16
เฉลี่ย				6.35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย