



บทที่ 4

การวิเคราะห์สภาพการจราจรทางแยกเดี่ยว

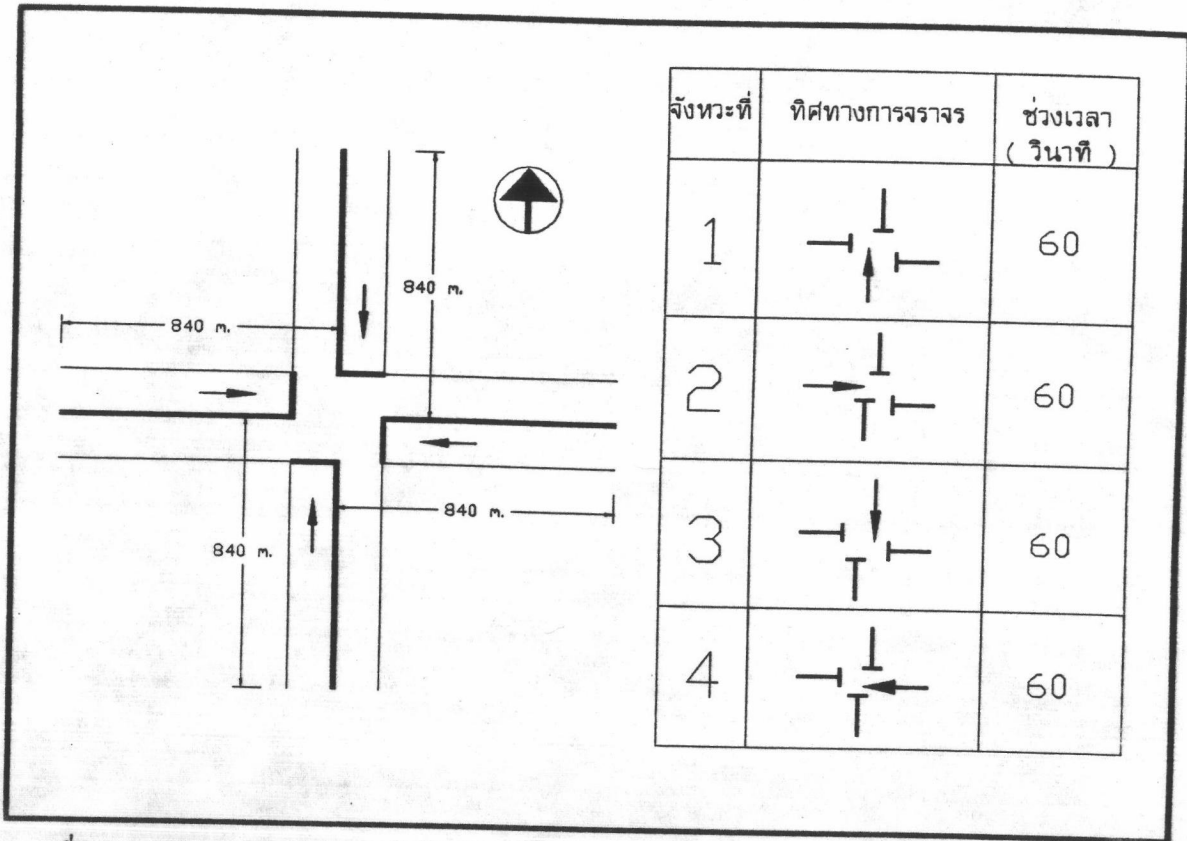
4.1 สภาพการจราจรที่ทำการศึกษา

ทางแยกเดี่ยวเป็นทางแยกที่ง่ายต่อการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคิวอันเนื่องมาจากสัญญาณไฟกับตัวแปรที่ได้จากการตรวจวัดโดย detector สภาพการจราจรที่ใช้ในการจำลองจึงสมมติขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดข้อมูลให้กับโปรแกรม เหตุผลในการเลือกทางแยกเดี่ยวการวิเคราะห์ คือ

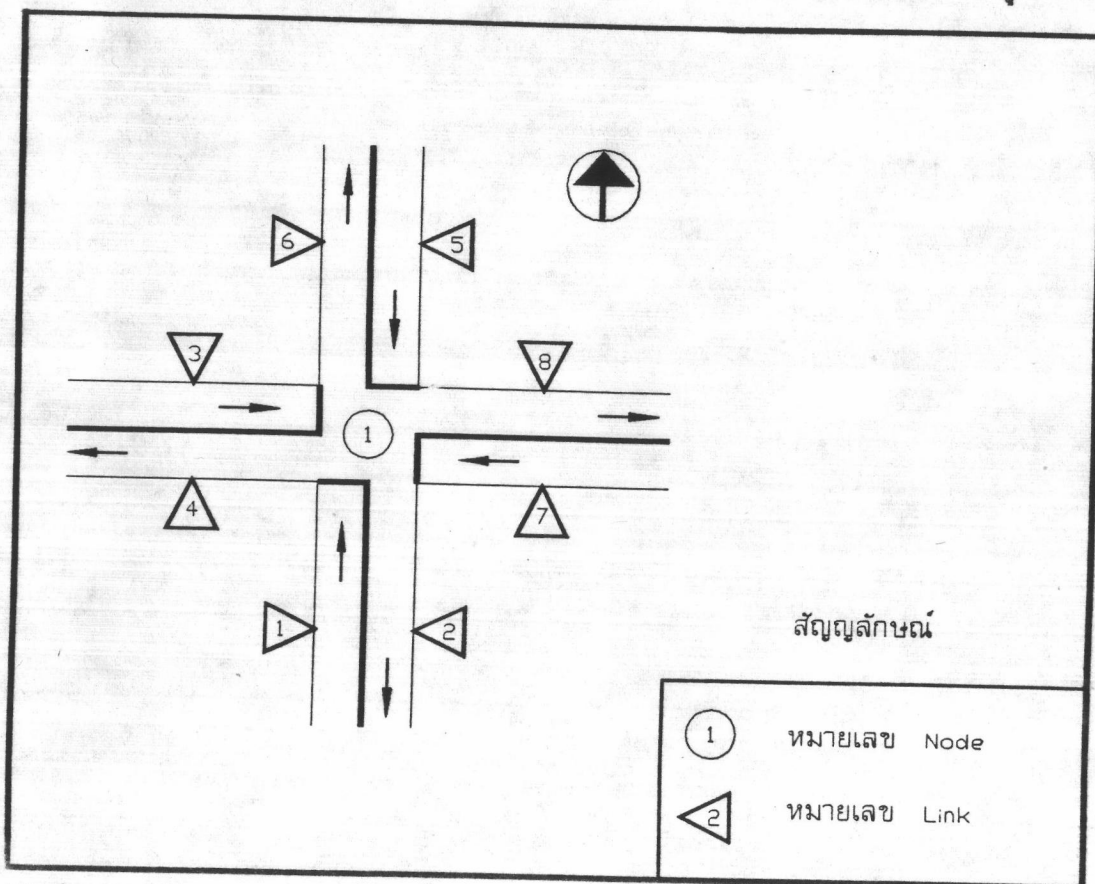
- ไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบ อันเนื่องมาจากทางแยกที่อยู่ถัดขึ้นไป (Upstream) ผลกระทบดังกล่าวเนื่องมาจากการจัด Offset ของสัญญาณไฟ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความยาวคิวที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยกที่กำลังพิจารณา
- สามารถควบคุมปริมาณ และรูปแบบความน่าจะเป็นของการเข้าสู่ทางแยก (Probability of Arrival) ได้ตามที่ต้องการ โดยเฉพาะรูปแบบความน่าจะเป็นของการเข้าสู่ทางแยก สามารถกำหนดให้เป็นแบบที่เข้ามาห่างกันอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) หรือเข้ามาแบบสุ่ม (Random)

สัญญาณไฟเป็นการควบคุมแบบตั้งเวลาไว้ก่อน (Pretimed) เนื่องจากต้องการให้รอบเวลาสัญญาณไฟมีค่าคงที่ตลอดเวลา รอบเวลาที่ใช้เป็นระยะเวลาเท่ากับคาบเวลาของปริมาณการจราจร เนื่องจากต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจรไปในแต่ละรอบเวลาและกำหนดให้สัมพันธ์กับช่วงเวลาทำการพิมพ์ผลลัพธ์ ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร

กรณีศึกษาของทางแยกเดี่ยวนี้ แสดงลักษณะทางกายภาพของทางแยกไว้ในรูปที่ 4.1 และสรุปข้อมูลที่ใช้ในการจำลองไว้ในตารางที่ 4.1 การกำหนดหมายเลข Node และ Link แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพและจังหวะสัญญาณไฟของทางแยกเดี่ยวที่ใช้ในการทำขีมิูละชั้น



รูปที่ 4.2 การจำลอง Node และ Link ของทางแยกเดี่ยวที่ใช้ในการทำขีมิูละชั้น

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองทางแยกเดี่ยว

หมวด	การจำลอง
โครงข่ายถนน	
- จำนวน Input Link	4 Link Link ละ 1 ช่องทาง
- จำนวน Output Link	4 Link Link ละ 1 ช่องทาง
- จำนวน block	ทุก Link ยาว 840 เมตร (1 block = 14 เมตร) ดังนั้น จำนวน block = $840/14 = 60$ block
- อัตราการไหลอ้อมตัว	1800 คัน/ชั่วโมง หรือเท่ากับ $1800/3600 = 0.5$ คัน/วินาที
- ความยาวของ block	14.0 เมตร/block
- ความหนาแน่นสูงสุด (Jam density)	143 คัน/กิโลเมตร หรือ 0.143 คัน/เมตร
สัญญาณไฟ	
- รอบเวลา	240 วินาที
- จังหวะเวลา	4 จังหวะ จังหวะละ 60 วินาที รายละเอียดแสดงในรูปที่ 4.1
- ประเภทการควบคุม	แบบตั้งเวลาไว้ล่วงหน้า (Pretimed)
ยวดยานที่เข้าสู่ทางแยก	
- ปริมาณยวดยาน	ให้ยวดยานเข้ามาเฉพาะ Link #1 โดยแบ่งเป็น 12 ช่วงๆละ 1 รอบเวลา (240 วินาที) ตามลำดับดังนี้ (คัน) 5 5 10 15 20 25 30 35 15 10 5 0 หรือคิดเป็นอัตราการไหล ในหน่วยคัน/ชม.ตามลำดับดังนี้ 75 75 150 225 300 375 450 525 225 150 75 และ 0
- รูปแบบการเข้าสู่ทางแยกของยวดยาน	จำลองทั้งแบบสม่ำเสมอ (Uniform) และแบบสุ่ม (Random)

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองทางแยกเดี่ยว

หมวด	การจำลอง
<p><u>การติดตั้ง detector</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - จำนวนที่ติดตั้ง - ตำแหน่งที่ติดตั้ง 	<p>9 ตัว</p> <p>บน Link# 1 ติดตั้งที่ตำแหน่งห่างจากทางแยก ทุก 1 ใน 10 ของความยาว Link คือ block ที่ 6 12 18 24 30 36 42 48 54 หรือคิดเป็นระยะทางห่างจากทางแยก 77 161 245 329 413 497 581 665 และ 749 เมตร ความล่าช้า</p>
<p><u>การควบคุมผลลัพธ์</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ความล่าช้า - ความยาวคิว - detector 	<p>พิมพ์ผลทุกๆ 60 วินาที</p> <p>พิมพ์ผลทุกๆ 1 รอบเวลา หรือ 240 วินาที</p> <p>พิมพ์ผลทุกๆ 1 รอบเวลา หรือ 240 วินาที</p>

4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยกับสูตรของ Webster

ความล่าช้าเฉลี่ยที่ได้จากการทำซิมูเลชัน นำไปเปรียบเทียบกับความล่าช้าเฉลี่ยที่คำนวณจากสูตรของ Webster มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$d = \frac{C [1-(q/C)]^2}{2 [1-(q/S)]} + \frac{X^2}{2q \cdot (1-X)} - 0.65 [C/q^2]^{1/3} X^{(2+5g/C)}$$

โดยที่ d = ความล่าช้าเฉลี่ยที่เกิดกับขบวน (หน่วย วินาที)

X = องศาความอิ่มตัว (Degree of Saturation) ซึ่งเท่ากับ $(q \cdot C)/(S \cdot g)$

C = รอบเวลาสัญญาณไฟ (หน่วย วินาที)

g = ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (หน่วย วินาที)

q = ปริมาณขบวนที่ต้องการผ่านทางแยก (หน่วย คัน/วินาที)

S = อัตราการไหลอิ่มตัว (หน่วย คัน/วินาที)

ค่าความล่าช้าเฉลี่ยจากทั้งสองวิธี เปรียบเทียบกับในตารางที่ 4.2 ก และ 4.2 ข โดยตารางที่ 4.2 ก เป็นกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอ ส่วนตารางที่ 4.2 ข เป็นกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบลุ่ม การเปรียบเทียบนำไปแสดงเป็นกราฟเพื่อแสดงให้เห็นชัดเจนในรูปที่ 4.3 ก และ 4.3 ข ตามลำดับ

การทำซิมูเลชันเพื่อนำค่าความล่าช้าเฉลี่ยนั้นได้พิจารณาถึงผลกระทบจากการที่ยวดยานที่ต้องเสียเวลาในการเดินทางบน Link จนกว่าจะถึงทางแยก ดังนั้นจึงได้พิจารณาความล่าช้าที่ได้จาก Link ที่ยวดยานคันแรกเคลื่อนที่มาถึงทางแยกแล้วได้รับจังหวะสัญญาณไฟแดงพอดี ส่วนค่าความล่าช้าเฉลี่ยเป็นค่าที่คำนวณจากความล่าช้ารวม ซึ่งความล่าช้ารวมนี้จะส่งผลออกมาทุกๆ 60 วินาที เพื่อให้ลงตัวพอดีกับจังหวะเวลาสัญญาณไฟเขียวและรอบเวลาสัญญาณไฟ ดังนั้นความล่าช้ารวมที่นำมาใช้คำนวณจึงพิจารณาตั้งแต่วินาทีที่ 60 เป็นต้นไป อันจะช่วยขจัดปัญหาในช่วง 60 วินาทีแรกที่ยวดยานต้องเสียเวลาเดินทางจนกว่าจะถึงทางแยก ดังนั้นแม้ว่าจะมีการทำซิมูเลชันถึง 12 รอบเวลาก็ตาม แต่ค่าที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบใช้ได้เพียง 11 รอบเวลาเท่านั้น รอบเวลาที่หายไป 1 รอบเนื่องจากนำไปแก้ปัญหาการเหลื่อมเวลาจากการเดินทางที่กล่าวมาแล้ว

จากตารางที่ 4.2 ก และ 4.2 ข สังเกตว่า ปริมาณขบวนที่เข้าสู่ทางแยก (

ตารางที่ 4.2 ก เปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยจากการทำขมิเลขันกับความล่าช้าเฉลี่ยที่คำนวณ
จากสูตรของ Webster (ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอ)

COMPARE AVERAGE DELAY by Simulation VS. by Webster's formula

Arrival Type : UNIFORM
Green Time 60 sec.
Cycle Time 240 sec.
Split 0.25

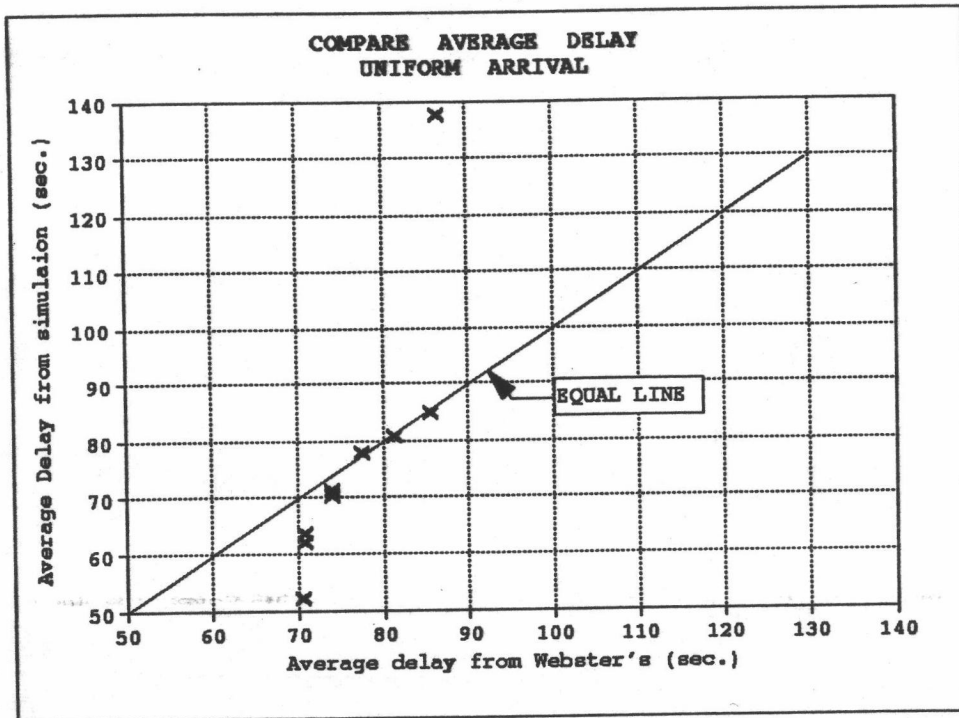
i th Cycle	Arrival Rate (veh./hr.)	Arrival (veh.)	Demand (veh.)	Total Delay from simulation (veh.-sec.)	Degree of Saturation X	Average Delay (sec)		Percent Different (%)	Square of Different
						from Webster	from Simulation		
1	75	5	5.0	261	0.17	70.4	52.2	-25.9	332.5
2	75	5	5.4	336	0.18	70.7	62.2	-12.0	71.5
3	150	10	10.6	756	0.35	74.0	71.3	-3.6	7.3
4	225	15	15.5	1209	0.52	77.5	78.0	0.7	0.3
5	300	20	20.6	1663	0.69	81.4	80.7	-0.8	0.4
6	375	25	25.5	2164	0.85	85.5	84.9	-0.8	0.5
7	450	30	30.5	2805	1.02	N.A.	92.0	N.A.	N.A.
8	525	35	38.8	4159	1.29	N.A.	107.2	N.A.	N.A.
9	225	15	26.6	3657	0.89	86.5	137.5	58.9	2594.2
10	150	10	10.6	744	0.35	74.0	70.2	-5.2	14.7
11	75	5	5.5	351	0.18	70.7	63.8	-9.8	47.9
									3069.3

ตารางที่ 4.2 ข เปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยจากการทำซิมูเลชันกับความล่าช้าเฉลี่ยที่คำนวณ
จากสูตรของ Webster (ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม)

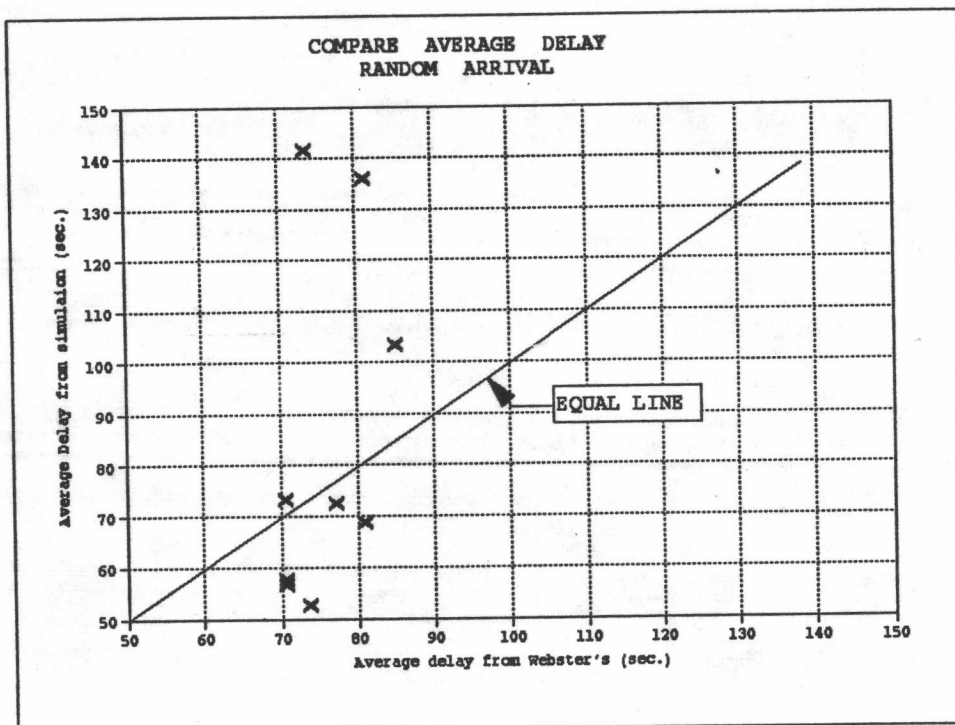
COMPARE AVERAGE DELAY by Simulation VS. by Webster's formula

Arrival Type : RANDOM
Green Time 60 sec.
Cycle Time 240 sec.
Split 0.25

i th Cycle	Arrival Rate (veh./hr.)	Arrival (veh.)	Demand (veh.)	Total Delay from simulation (veh.-sec.)	Degree of Saturation X	Average Delay (sec)		Percent Different (%)	Square of Different
						from Webster	from Simulation		
1	75	5	5.0	367	0.17	70.4	73.4	4.2	8.8
2	75	5	5.0	284	0.17	70.4	56.8	-19.4	185.9
3	150	10	10.0	526	0.33	73.6	52.6	-28.6	441.8
4	225	15	15.0	1089	0.50	77.1	72.6	-5.8	20.2
5	300	20	20.0	1375	0.67	80.9	68.8	-15.0	147.3
6	375	25	25.0	2587	0.83	85.1	103.5	21.6	338.4
7	450	30	30.0	2658	1.00	N.A.	88.6	N.A.	N.A.
8	525	35	35.0	2920	1.17	N.A.	83.4	N.A.	N.A.
9	225	15	20.4	2771	0.68	81.2	135.8	67.3	2984.1
10	150	10	10.0	1416	0.33	73.6	141.6	92.3	4621.3
11	75	5	5.0	288	0.17	70.4	57.6	-18.2	164.7
									8912.4



รูปที่ 4.3 ก เปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยจากการทำซิมูเลชั่น กับความล่าช้าเฉลี่ยที่คำนวณจากสูตรของ Webster (ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอ)



รูปที่ 4.3 ข เปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยจากการทำซิมูเลชั่น กับความล่าช้าเฉลี่ยที่คำนวณจากสูตรของ Webster (ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม)

Arrival) กับขบวนการที่ต้องการผ่านทางแยกมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณจราจรสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณขบวนการที่ตกค้างจากรอบเวลาสัญญาณไฟรอบที่ผ่านมา และปริมาณขบวนการที่ต้องการผ่านทางแยกจะมีค่าไม่ลงตัวเป็นจำนวนเต็มคั่ง เช่น ปริมาณขบวนการที่เข้าสู่ทางแยก ทั้งนี้เนื่องมาจากแบบจำลองที่ใช้ในซิมูเลชันเป็นแบบ Macroscopic ซึ่งไม่ได้มีการจำลองขบวนการเป็นคั่นๆไป การระบุจำนวนขบวนการจึงเป็นจำนวนจริงได้

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของความแตกต่างจากตารางที่ 4.2 ก พบว่าส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินร้อยละ 25 ยกเว้นในรอบเวลาที่ 9 ค่าร้อยละของความแตกต่างมีค่าสูงถึง 58.9 แม้ว่าค่าองศาความอึดตัวจะสูงกว่ารอบเวลาที่ 6 เล็กน้อย แต่ค่าร้อยละของความแตกต่างมีค่ามากอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณขบวนการที่ตกค้างจากรอบเวลาที่ 8 ส่วนค่าความแตกต่างในตารางที่ 4.2 ข มีค่าสูงกว่าในตารางที่ 4.2 ก และมีค่าสูงมากอย่างเห็นได้ชัดในรอบเวลาที่ 9 และรอบเวลาที่ 10 ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณขบวนการที่ตกค้างจากรอบเวลาที่ 8 และผลจากขบวนการเข้าสู่ทางแยกแบบลุ่ม ความแตกต่างของความล่าช้าที่ได้จากการทำซิมูเลชันในตารางที่ 4.2 ก และตารางที่ 4.2 ข เนื่องมาจากรูปแบบการเข้าสู่ทางแยกของขบวนการเป็นสาเหตุหลัก

จากการเพิ่มปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกเพิ่มขึ้นทุกๆรอบเวลา ตั้งแต่ 75 คัน ต่อชั่วโมงจนถึง 525 คัน ต่อชั่วโมง ซึ่งทำให้องศาความอึดตัวมีค่ามากกว่า 1.00 เล็กน้อยแล้วลดปริมาณจราจรลงจนมีค่าเท่ากับ 75 คันต่อชั่วโมงเหมือนเดิม ทั้งนี้เพื่อทดสอบคุณลักษณะต่อความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่เริ่มต้นจากองศาความอึดตัวต่ำกว่า 1.00 ไปจนถึงเกินค่า 1.00 หรืออยู่ในสภาพที่เรียกว่า " Oversaturated Condition " หรือเป็นสภาพที่ขบวนการทั้งหมดที่เข้ามาสู่ทางแยกในรอบเวลาหนึ่งๆ ไม่สามารถออกไปได้หมดภายในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว จึงเกิดปริมาณจราจรตกค้างจอร์อสัญญาณไฟในรอบเวลาถัดไป ช่วงที่ความล่าช้าเฉลี่ยจากการทำซิมูเลชันใกล้เคียงกับความล่าช้าที่ได้จากการคำนวณจากสูตร Webster คือ ช่วงที่มีค่าองศาการไหลอึดตัวไม่เกิน 0.85 กรณีที่ขบวนการเข้ามาอย่างสม่ำเสมอ จะมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยใกล้เคียงมากกว่ากรณีที่ขบวนการเข้ามาแบบลุ่ม ทั้งนี้สามารถพิจารณาได้จากผลรวมค่ากำลังสองของผลต่างระหว่างความล่าช้าที่ได้จากการทำซิมูเลชัน กับความล่าช้าที่ได้จากการคำนวณโดยสูตร Webster ซึ่งกรณีขบวนการเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอจะมีค่านี้น้อยเท่ากับ 3069.3 และกรณีขบวนการเข้าสู่ทางแยกแบบลุ่มมีค่านี้น้อยเท่ากับ 8912.4

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคิวกับค่า Time Occupancy

ค่า Time Occupancy ของ detector หมายถึง อัตราส่วนระหว่างช่วงเวลา

ขบวนการวิ่งทับ detector กับช่วงเวลา detector ตรวจวัดสภาพการจราจร ซึ่งอัตราส่วนนี้จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 10 คำนี้นิยมวัดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ถ้ามีค่าเป็นศูนย์ หมายความว่าไม่มีขบวนการผ่าน detector เลย และถ้ามีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่าไม่มีขบวนการจอดทับ detector ตลอดเวลา

ความยาวคิว (Queue Length) ในที่นี้หมายถึงระยะทางตั้งแต่เส้นหยุดถึงตำแหน่งที่ขบวนการคันท้ายสุดนั้นจอดอยู่

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ขบวนการเข้ามาแบบสม่ำเสมอ และกรณีที่เข้ามาแบบสุ่ม ผลจากการทำซิมูเลชันทางแยกเดี่ยว ได้แก่ Time Occupancy ของ detector ที่มีการติดตั้งไว้ทุกๆ 1 ใน 10 ของช่วงถนน และได้ค่าความยาวคิว ค่าทั้งสองนี้ได้มาทุกๆรอบเวลาสัญญาณไฟ โดยแสดงในตารางที่ 4.3 ก และ 4.3 ข เป็นกรณีที่ขบวนการเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอ และตารางที่ 4.3 ข เป็นกรณีที่ขบวนการเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม

จากผลที่ได้ในตารางที่ 4.3 ก และ 4.3 ข นำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อเปรียบเทียบค่าตำแหน่งของ detector ที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถประมาณค่าความยาวคิวด้วยสมการ

$$\text{Queue} = a \cdot \text{Occ} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

โดยที่

Queue = ความยาวคิว เป็นตัวแปรตาม (หน่วย เมตร)

a = ค่าสัมประสิทธิ์

Occ = ค่าเปอร์เซ็นต์ Time Occupancy เป็นตัวแปรอิสระ

เหตุที่กำหนดให้สมการนี้เป็นเส้นตรงที่ผ่านจุดกำเนิด เนื่องจากถ้านำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงตามปกติแล้วจะมีรูปแบบสมการเป็น

$$\text{Queue} = a \cdot \text{Occ} + b \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

ค่า b ที่เพิ่มขึ้นมานั้นเป็นค่าคงที่ ถ้าผลการวิเคราะห์ได้ค่า b ไม่เท่ากับศูนย์ จะเห็นว่าถ้านำสมการนี้ไปใช้ในการประมาณค่าความยาวคิว จะเกิดกรณีที่ค่า Time Occupancy มีค่าเป็นศูนย์ แต่ค่าความยาวคิวที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับค่า b ถ้าค่า b มีค่ามากกว่าศูนย์ ก็หมายความว่า จะเกิดกรณีที่ไม่มีขบวนการวิ่งผ่าน detector แต่มีความยาวคิวเกิดขึ้น ซึ่งผิด

ตารางที่ 4.3 ก ค่า Time Occupancy กับ ความยาวคิวทุกๆรอบเวลา (บวดยานเข้าสู่
ทางแยกแบบส้มาเสมอ)

QUEUE LENGTH - TIME OCCUPANCY from simulate single intersection
ARRIVAL TYPE : UNIFORM
UNIT : percent

TIME (sec.)	QUEUE LENGTH (m.)	POSITION OF DETECTOR (m. from stop line)									
		77	161	245	329	413	497	581	665	749	
240	20	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
480	25	1.47	1.46	1.16	1.48	1.42	1.09	1.03	1.08	1.08	1.10
720	48	2.06	2.21	2.39	2.98	2.31	1.85	2.32	1.83	1.69	1.69
960	82	3.03	3.80	3.54	3.05	2.52	3.22	2.74	3.20	4.73	4.73
1200	100	19.66	6.31	4.10	5.72	5.39	4.27	6.44	4.89	4.73	4.73
1440	128	36.01	4.80	7.13	6.70	5.72	4.80	5.54	3.94	5.22	5.22
1680	202	64.27	21.15	6.73	8.58	8.54	6.33	5.97	6.46	6.61	6.61
1920	229	69.10	42.83	6.66	9.12	7.43	9.61	8.80	10.13	8.81	8.81
2160	125	54.47	18.75	13.70	4.58	5.46	3.11	3.88	3.60	3.74	3.74
2400	52	10.33	2.27	2.25	3.27	2.79	2.38	2.20	2.22	1.58	1.58
2640	24	1.72	1.52	1.67	1.47	1.65	1.37	1.36	0.83	1.17	1.17
2880	2	0.66	0.43	0.29	0.28	0.21	0.32	0.26	0.24	0.27	0.27

ตารางที่ 4.3 ข ค่า Time Occupancy กับ ความยาวคิวทุกๆรอบเวลา (บวดยานเข้าสู่
ทางแยกแบบส้ม)

QUEUE LENGTH - TIME OCCUPANCY from simulate single intersection
ARRIVAL TYPE : RANDOM
UNIT : percent

TIME (sec.)	QUEUE LENGTH (m.)	POSITION OF DETECTOR (m. from stop line)									
		77	161	245	329	413	497	581	665	749	
240	34	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
480	38	1.13	1.08	1.38	1.11	1.42	1.42	1.13	1.37	1.34	1.34
720	61	1.90	2.18	1.89	2.34	2.45	2.35	2.36	2.63	2.76	2.76
960	84	18.29	2.14	4.14	2.58	3.80	3.57	3.61	3.95	4.44	4.44
1200	127	42.36	3.06	5.20	4.85	5.98	3.89	5.44	5.67	4.27	4.27
1440	138	46.31	4.86	6.81	8.14	6.77	8.73	6.79	6.22	5.55	5.55
1680	228	50.48	21.22	7.29	11.37	8.77	5.97	7.53	7.38	8.50	8.50
1920	330	73.61	64.80	20.97	7.76	8.01	9.75	8.96	6.64	9.41	9.41
2160	161	79.02	19.62	24.70	3.61	2.84	3.34	3.30	3.10	2.70	2.70
2400	48	11.99	2.94	2.88	3.68	2.95	2.19	2.12	2.73	2.75	2.75
2640	26	2.09	1.75	1.67	1.52	1.60	1.41	1.65	0.99	0.83	0.83
2880	0	0.20	0.35	0.23	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

จากความเป็นจริง และถ้าค่า b มีค่าน้อยกว่าศูนย์ก็จะเกิดกรณีเช่นเดียวกันกับกรณีที่ค่า b มากกว่าศูนย์แล้วยังเกิดกรณีที่ความยาวคิวที่ใดมีค่าเป็นลบอีกด้วย ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในความเป็นจริง ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ a ตามสมการ 4.1 เท่านั้น

การวิเคราะห์การถดถอย คัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่มีค่าความยาวคิวไม่เกินตำแหน่งที่ติดตั้ง detector เท่านั้น เนื่องจากในช่วงที่ความยาวคิวไม่เกินตำแหน่ง detector ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคิวกับค่า Time Occupancy มีแนวโน้มค่อนข้างเป็นเส้นตรง แต่ถ้าความยาวคิวเกินตำแหน่ง detector ไปแล้ว ค่า Time Occupancy จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากความเร็วของยานที่วิ่งผ่าน detector ลดลง ข้อมูลในช่วงที่ความยาวคิวเลยตำแหน่ง detector ไปแล้วจะไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่ต่อเนื่องจาก กรณีที่ความยาวคิวไม่เกินตำแหน่งที่ติดตั้ง detector ดังนั้น เพื่อให้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ มีความถูกต้องสูงในช่วงที่ความยาวคิวไม่เกินตำแหน่งที่ติดตั้ง detector จึงต้องตัดข้อมูลที่มีความยาวคิวเลยตำแหน่ง detector ออกไป สูตรการประมาณค่าความยาวคิวที่ได้ก็จะให้ความเชื่อถือได้สูงในช่วงที่ความยาวคิวไม่เกินตำแหน่งที่ติดตั้ง detector เท่านั้น ถ้ามากกว่านี้ความยาวคิวที่ประมาณได้ความเชื่อถือจะต่ำ ตัวอย่างค่า Time Occupancy ที่สูงอันเนื่องมาจากความยาวคิวที่เลยตำแหน่ง detector สังเกตได้จาก ตำแหน่ง detector ที่ห่างจากทางแยกที่ระยะ 77 เมตรจากทางแยก เมื่อเวลาในการทำซิมูเลชันเท่ากับวินาทีที่ 200 1440 1680 1920 และ 2160 ในตารางที่ 4.3 ก และ 4.3 ข ค่า Time Occupancy เพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว (อยู่ในช่วง 20 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์) ทั้งหมดที่ปริมาณยานที่เข้าสู่ทางแยกเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ผลการวิเคราะห์การถดถอยตามสมการที่ 4.1 แสดงในตารางที่ 4.4 ก และ 4.4 ข โดยตารางที่ 4.4 ก เป็นกรณีที่ยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอ และตารางที่ 4.4 ข เป็นกรณีที่ยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่มตามลำดับ

จากตารางที่ 4.3 ข ในวินาทีที่ 2880 จะเห็นได้ว่าค่า Time Occupancy ของ detector ที่ติดตั้งห่างจากทางแยก 77 เมตร ถึง 329 เมตร เนื่องจากมียานกลุ่มหนึ่งที่เข้าสู่ทางแยกในช่วงปลายรอบเวลาที่ 11 (ก่อนวินาทีที่ 2640 เล็กน้อย) เมื่อยานกลุ่มนี้เคลื่อนที่มาสู่บริเวณที่ detector ชูดังกล่าวติดตั้งอยู่ เวลาในขณะที่มีการตรวจวัดนั้นจะตกไปอยู่ในรอบเวลาที่ 12 และยานกลุ่มนี้ก็เคลื่อนตัวผ่านทางแยกไปได้หมดในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว ดังนั้นจึงไม่มีปริมาณยานตกค้างเป็นคิวเมื่อสิ้นสุดรอบเวลาที่ 12

จากตารางที่ 4.4 ก และตารางที่ 4.4 ข จะเห็นได้ว่าจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์การถดถอยจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12 ชุด (เท่ากับจำนวนรอบเวลาที่ทำการจำลอง) ในตำแหน่งที่มีการ detector ใกล้ทางแยกข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้ต่ำกว่า 12 ชุด ทั้งนี้

ตารางที่ 4.4 ก ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างค่า Time Occupancy
กับ ความยาวคิว (ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสลับ)

Summary of OCCUPANCY - QUEUE LENGTH Regression
ARRIVAL PATTERN : UNIFORM

DETECTOR #	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DISTANCE (m.)	77	161	245	329	413	497	581	665	749
No. of data	6	10	12	12	12	12	12	12	12
X coefficient	6.24	9.49	17.49	22.37	24.24	26.41	25.17	25.67	25.84
R Squared	0.69	0.72	0.77	0.98	0.97	0.97	0.95	0.97	0.97
Std Err of Y Est	20.28	41.32	55.91	18.21	20.54	19.55	26.82	20.88	19.52
Std Err of Coef.	1.87	1.96	2.89	1.07	1.31	1.36	1.80	1.41	1.33
Constant	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Degree of Freedom	5	9	11	11	11	11	11	11	11

ตารางที่ 4.4 ข ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างค่า Time Occupancy
กับ ความยาวคิว (ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสลับ)

Summary of OCCUPANCY - QUEUE LENGTH Regression
ARRIVAL PATTERN : RANDOM

DETECTOR #	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DISTANCE (m.)	77	161	245	329	413	497	581	665	749
No. of data	6	10	11	11	12	12	12	12	12
X coefficient	5.38	10.87	10.34	21.20	28.35	28.63	29.78	31.37	29.58
R Squared	0.48	0.67	0.64	0.91	0.90	0.90	0.94	0.88	0.94
Std Err of Y Est	31.09	53.00	68.54	33.63	47.19	46.41	36.58	50.71	36.03
Std Err of Coef.	2.50	2.52	2.47	2.07	2.89	2.87	2.30	3.47	2.25
Constant	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Degree of Freedom	5	9	10	10	11	11	11	11	11

เนื่องจากบางรอบเวลามีค่าความยาวคิวเลขตำแหน่งที่ติดตั้ง detector ค่าคงที่ (Constant) b ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับศูนย์ทั้งหมด ค่าองศาความอิสระ (Degree of Freedom) มีค่าเท่ากับจำนวนข้อมูลที่น่าวิเคราะห์ลบด้วยจำนวนพารามิเตอร์ที่ทำการประมาณค่ามีเพียงตัวเดียวคือ ค่าสัมประสิทธิ์ a การพิจารณาหาตำแหน่ง detector ที่ประมาณความยาวคิวได้เหมาะสมที่สุดพิจารณาจากค่า R^2 โดยเปรียบเทียบค่า R^2 ของ detector แต่จะตำแหน่งว่าตำแหน่งใดให้ค่า R^2 สูงสุด ก็หมายความว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคิวกับค่า Time Occupancy สามารถจัดให้อยู่ในรูปเชิงเส้นตรงตามสมการที่ 4.1 ได้ใกล้เคียงที่สุด ส่วนค่า " Std Err of Y Est " คือค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการประมาณค่า (Standard Error of Estimation) ค่า " Std Err of Coef. " คือค่าความผิดพลาดมาตรฐานของสัมประสิทธิ์ (Standard Error of Coefficient) ค่าความผิดพลาดทั้งสองนี้มีประโยชน์ในกรณีที่ค่า R^2 มีค่าเท่ากัน โดยจะเลือกตำแหน่ง detector ที่ให้ค่าทั้งสองนี้ต่ำกว่า

ผลจากการพิจารณาพบว่า ในกรณีที่ขั้วดยานเข้ามาแบบสม่ำเสมอ ตำแหน่ง detector ตัวที่ 4 ซึ่งห่างจากทางแยก 329 เมตร สามารถประมาณค่าความยาวคิวได้เหมาะสมที่สุด (ค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.98) ส่วนในกรณีที่ขั้วดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม จะเห็นว่าตำแหน่ง detector ตัวที่ 7 ตัวที่ 9 คือตำแหน่ง 581 เมตรและ 749 เมตร ห่างจากทางแยกตามลำดับมีค่า R^2 เท่ากัน (เท่ากับ 0.94) ดังนั้นจึงพิจารณาค่าผิดพลาดมาตรฐานในการประมาณค่า พบว่า detector ตัวที่ 9 ให้ค่านี้ต่ำกว่า (เท่ากับ 36.03) ดังนั้น detector ตัวที่ 9 หรือห่างทางแยก 749 เมตร สามารถประมาณความยาวคิวได้เหมาะสมที่สุด สมการที่ใช้ในการประมาณค่าความยาวคิวที่ได้จากวิธีประมาณเชิงเส้นตรงจากค่า Time Occupancy เป็นดังนี้

กรณีขั้วดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอ ติดตั้ง detector ในตำแหน่ง 329 เมตร จากทางแยก

$$\text{Queue} = 22.37 \cdot \text{Occ} \dots\dots\dots (4.3)$$

กรณี ขั้วดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม ติดตั้ง detector ในตำแหน่ง 749 เมตร จากทางแยก

$$\text{Queue} = 29.58 \cdot \text{Occ} \dots\dots\dots (4.4)$$

ข้อมูลและผลการวิเคราะห์หน้าไปพลอตกราฟ ในกรณียวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบ
 สม่่าเสมอ แสดงในภาคผนวก ค. รูปที่ ค.1 - ค.9 และกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุม
 แสดงในรูปที่ ค.10 - ค.18 ตัวอย่างกราฟนำมาแสดงในรูปที่ 4.4

4.4 การคำนวณความยาวคิวจากแบบจำลอง Greenshield

แบบจำลองของ Greenshield เป็นแบบจำลองที่อธิบายพฤติกรรมการเคลื่อนตัว
 ของยวดยานในลักษณะที่เป็นกลุ่ม แบบจำลองของ Greenshield เป็นแบบจำลองแสดงความ
 สัมพันธ์ระหว่างความเร็วของกลุ่มยวดยานกับปริมาณจราจรในรูปสมการเส้นตรง แต่ความ
 สัมพันธ์ดังกล่าวมิได้นำมาใช้โดยตรง แต่นำมาประยุกต์กับทฤษฎีในการเกิดคิวที่อธิบายจาก
 พฤติกรรมการเกิดคลื่นหยุดที่มาจากสูตรดังกล่าว แสดงรายละเอียดที่มาของสูตร ในภาค
 ผนวก ก.

การประมาณค่าความยาวคิว ประมาณจากปริมาณยวดยานที่ตรวจวัดได้จาก
 detector โดยกำหนดค่าตัวแปรอื่นๆ ให้สอดคล้องกับค่าที่ใช้ในการทำมิลูชั่น

ความยาวคิวจากแบบจำลอง Greenshield คำนวณได้จากสูตร

X_A = ความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (หน่วย เมตร)

X_B = ความยาวคิวสูงสุดที่เกิดขึ้น (หน่วย เมตร)

$$X_A = \frac{t_R \cdot Q_m \cdot F_A}{K_j} \dots\dots\dots (4.5)$$

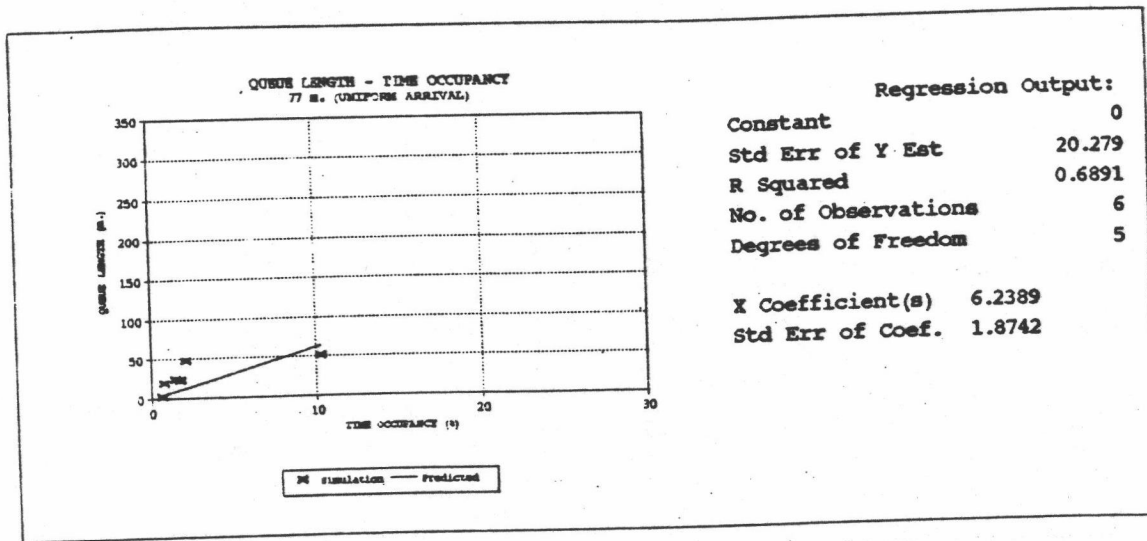
$$X_B = \frac{t_R \cdot Q_m \cdot F_B}{K_j} \dots\dots\dots (4.6)$$

t_R = ช่วงเวลาสัญญาณไฟแดง (หน่วย วินาที)

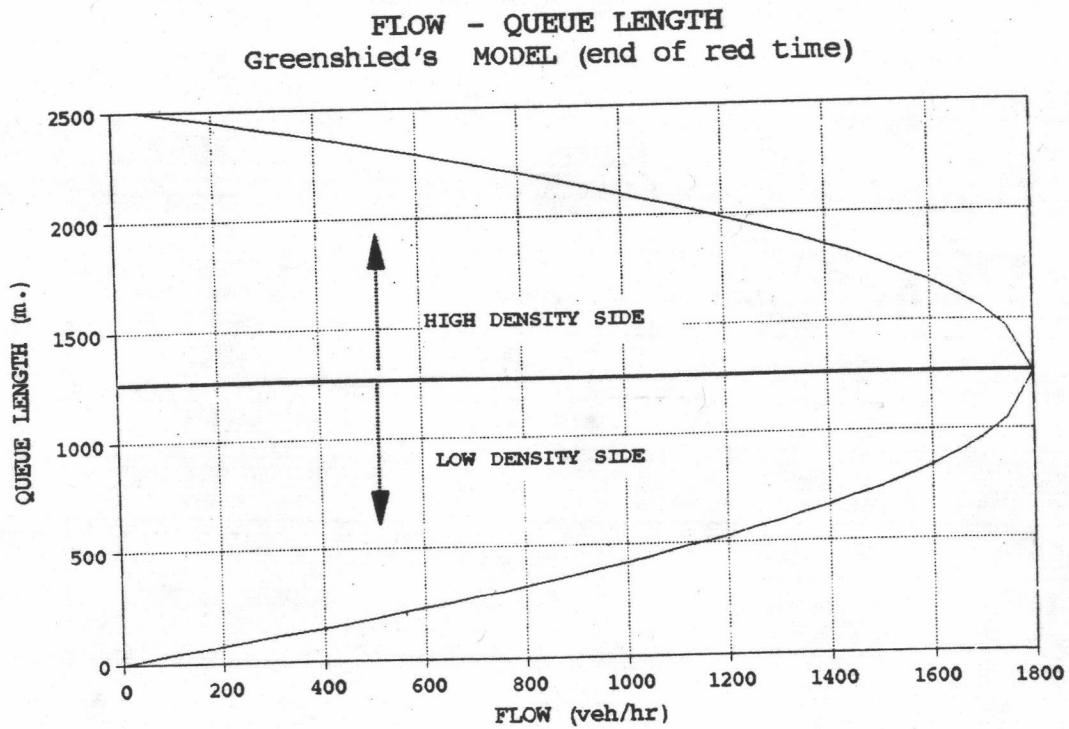
Q_m = ความจุของถนน หน่วย (คัน/วินาที)

K_j = ความหนาแน่นสูงสุดของถนน (หน่วย คัน/เมตร)

$$F_A = \frac{2P}{1+\sqrt{1-P}} \text{ กรณีที่ปริมาณการจราจรเกิดในด้านที่ความหนาแน่นต่ำ}$$



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Time Occupancy กับความยาวคิวจากการทำขีมิลูชั่น และผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง โดย detector อยู่ที่ตำแหน่ง 77 เมตรจากทางแยก (ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบส้มา้เสมอ)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) ที่คำนวณจากแบบจำลองของ Greenshield

$$F_A = \frac{2P}{1-\sqrt{1-P}} \text{ กรณีที่ปริมาณการจราจรเกิดในค่านที่มีความหนาแน่นสูง}$$

$$F_B = \frac{4 \cdot F_A}{4 - F_A}$$

$$P = \text{อัตราส่วนระหว่างปริมาณการจราจรที่เข้าสู่ทางแยกต่อความจุของถนน}$$

$$= Q_A / Q_m$$

$$Q_A = \text{ปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยก (หน่วย คัน/วินาที)}$$

กรณีการจำลองทางแยกเดี่ยว กำหนดค่าคงที่ดังต่อไปนี้

$$K_j = 0.143 \text{ คัน/เมตร}$$

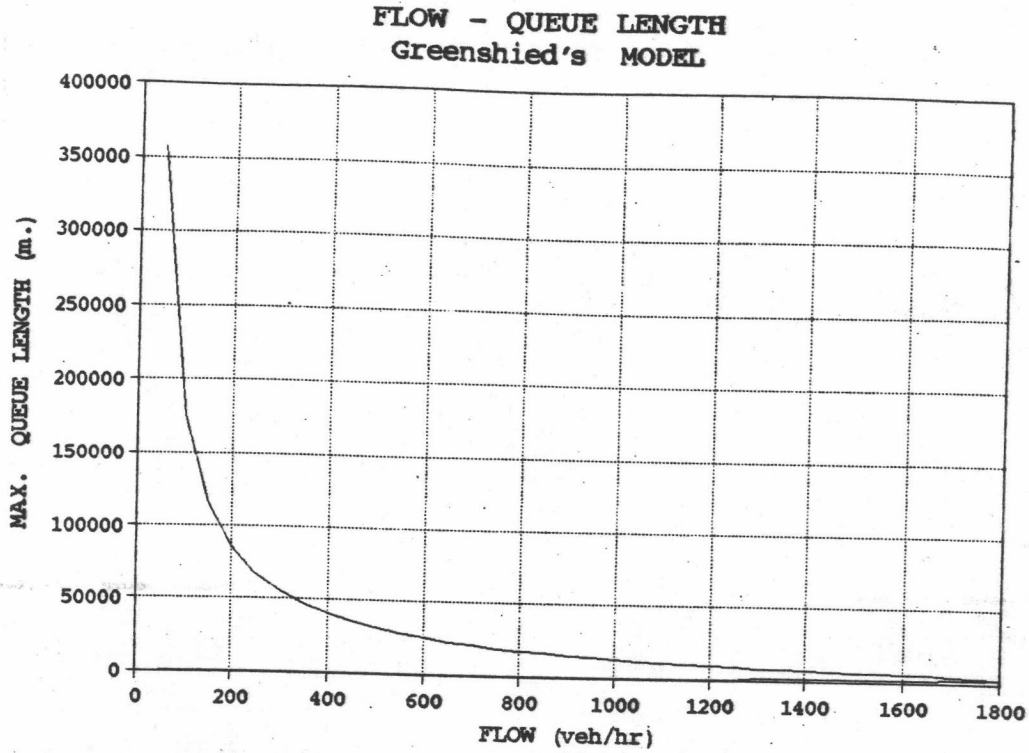
$$t_R = 180 \text{ วินาที}$$

$$Q_m = 1800 \text{ คัน/ชั่วโมง หรือเท่ากับ } 0.5 \text{ คัน/วินาที}$$

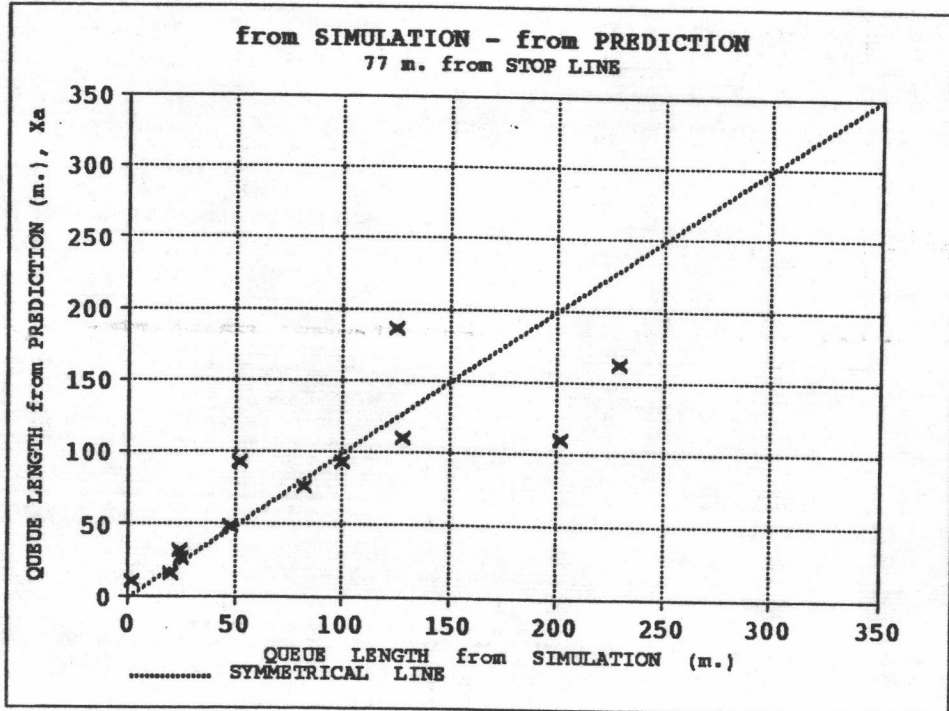
จากสมการที่ 4.5 และ 4.6 ได้ทำการคำนวณความยาวคิวทั้งความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) และความยาวคิวสูงสุด (X_B) โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจรของขบวนให้เริ่มตั้งแต่ศูนย์จนถึง 1800 คัน/ชั่วโมง เพิ่มครั้งละ 50 คัน/ชั่วโมง ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.5 และนำผลจากตารางที่ 4.5 ไปพลอตกราฟระหว่างปริมาณการจราจรกับความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) และความยาวคิวสูงสุด (X_B) ในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ชัดว่า ค่าปริมาณการจราจรหนึ่งค่าจะให้ค่าความยาวคิวถึง 2 ค่า ค่าหนึ่งเป็นความยาวคิวที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีความหนาแน่นต่ำ อีกค่าหนึ่งเป็นความยาวคิวที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีความหนาแน่นสูง แต่เนื่องจากกรณีศึกษาที่ทำการทดลองกับทางแยกเดี่ยวได้ใช้ปริมาณการจราจรที่เข้าสู่ทางแยกเริ่มจากค่าน้อยไปหามาก ดังนั้นจึงเลือกเปรียบเทียบแต่เฉพาะความยาวคิวที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีความหนาแน่นต่ำ

การคำนวณความยาวคิวผลการตรวจวัดปริมาณขบวนด้วย detector ทำโดยการเปลี่ยนเป็นอัตราการไหลของขบวนต่อช่วงเวลาในหน่วย คันต่อชั่วโมงแล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณค่าความยาวคิว ต่อจากนั้นจึงนำเอาค่าความยาวคิวมาเปรียบเทียบกับความยาวคิวที่ได้จากการทำซิมูเลชัน

การประเมินค่าแห่งที่ติดตั้ง detector ว่าค่าแห่งใดให้ค่าความยาวคิวใกล้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความยาวคิวสูงสุด (X_B) ที่คำนวณจากแบบจำลองของ Greenshield



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการเปรียบเทียบความยาวคิวที่ได้จากมิวเลชั่นกับความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) ที่คำนวณจากแบบจำลองของ Greenshield โดย detector อยู่ที่ตำแหน่ง 77 เมตรจากทางแยก (ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสามล้อ)

ตารางที่ 4.5 ความยาวคิวโดยการคำนวณจากแบบจำลองการจราจรของ Greenshield

Capacity , Q_m 0.5 veh/sec
 Red Time , T_r 180 sec
 Jam density , K_j 0.143 veh/m
 $T_r * Q_m / K_j =$ 629.37

ARRIVAL FLOW (veh/hr)	LOW DENSITY SIDE				HIGH DENSITY SIDE			
	Fa	Fb	Xa (m.)	Xb (m.)	Fa	Fb	Xa (m.)	Xb (m.)
0	0.000	-	0	0	-	-	-	-
50	0.028	0.028	18	18	3.972	567.972	2500	357465
100	0.056	0.057	35	36	3.944	279.943	2482	176188
150	0.085	0.087	54	55	3.915	183.913	2464	115749
200	0.114	0.118	72	74	3.886	135.882	2445	85520
250	0.144	0.149	91	94	3.856	107.051	2427	67374
300	0.174	0.182	110	115	3.826	87.818	2408	55270
350	0.205	0.216	129	136	3.795	74.070	2388	46617
400	0.236	0.251	149	158	3.764	63.749	2369	40122
450	0.268	0.287	169	181	3.732	55.713	2349	35064
500	0.300	0.325	189	204	3.700	49.275	2328	31012
550	0.333	0.364	210	229	3.667	44.000	2308	27692
600	0.367	0.404	231	254	3.633	39.596	2286	24921
650	0.401	0.446	253	281	3.599	35.862	2265	22570
700	0.437	0.490	275	308	3.563	32.653	2243	20551
750	0.472	0.536	297	337	3.528	29.864	2220	18796
800	0.509	0.584	321	367	3.491	27.416	2197	17255
850	0.547	0.634	344	399	3.453	25.249	2173	15891
900	0.586	0.686	369	432	3.414	23.314	2149	14673
950	0.626	0.742	394	467	3.374	21.574	2124	13578
1000	0.667	0.800	420	503	3.333	20.000	2098	12587
1050	0.709	0.862	446	542	3.291	18.567	2071	11685
1100	0.753	0.927	474	584	3.247	17.255	2044	10859
1150	0.798	0.997	502	628	3.202	16.046	2015	10099
1200	0.845	1.072	532	675	3.155	14.928	1985	9395
1250	0.894	1.152	563	725	3.106	13.888	1955	8741
1300	0.946	1.239	595	780	3.054	12.915	1922	8128
1350	1.000	1.333	629	839	3.000	12.000	1888	7552
1400	1.057	1.437	665	904	2.943	11.134	1852	7008
1450	1.118	1.552	704	977	2.882	10.310	1814	6489
1500	1.184	1.681	745	1058	2.816	9.519	1773	5991
1550	1.255	1.828	790	1151	2.745	8.753	1728	5509
1600	1.333	2.000	839	1259	2.667	8.000	1678	5035
1650	1.423	2.208	895	1390	2.577	7.247	1622	4561
1700	1.529	2.474	962	1557	2.471	6.467	1555	4070
1750	1.667	2.857	1049	1798	2.333	5.600	1469	3524
1800	2.000	4.000	1259	2517	2.000	4.000	1259	2517

เกี่ยวกับความยาวคิวที่ได้จากการทำซิมูเลชันที่สุด ใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าผลรวมกำลังสองของผลต่าง (Sum Square) ระหว่างความยาวคิวที่ได้จากการทำซิมูเลชันกับความยาวคิวที่ได้จากการคำนวณโดยสูตร การวิเคราะห์ตามวิธีการดังกล่าวเริ่มจาก ปริมาณยวดยานที่ตรวจวัดได้จากการทำซิมูเลชันกับความยาวคิวทุกๆรอบเวลาสัญญาณไฟ แสดงในตารางที่ 4.6 ก กับ 4.6 ข โดยตารางที่ 4.6 ก เป็นกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่่าเสมอ ส่วนตารางที่ 4.6 ข เป็นกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบส่ม การเปลี่ยนจากปริมาณยวดยานที่ตรวจวัดจาก detector เป็นปริมาณจราจรในหน่วย คัน/ชั่วโมง ทำโดยการหารค่าปริมาณยวดยานที่ตรวจวัดจาก detector ด้วยค่ารอบเวลาสัญญาณไฟ (ใช้เท่ากับ 240 วินาที) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7 ก และ 4.7 ข สำหรับรูปแบบการเข้าสู่ทางแยกเป็นแบบสม่่าเสมอ และแบบส่มตามลำดับ จากปริมาณยวดยานในตารางที่ 4.7 ก และ 4.7 ข นำไปคำนวณค่าความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) โดยใช้สมการที่ 4.5 ความยาวคิวที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับความยาวคิวจากการทำซิมูเลชัน แสดงในตารางที่ 4.8 ก และ 4.8 ข ตามลำดับ มีข้อสังเกตว่า ความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) จากตารางที่ 4.8 ก และ 4.8 ข ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงความยาวคิวจากการทำซิมูเลชัน ยกเว้นในช่วงที่องศาความอิ่มตัวมีค่าเกิน 1.00 (Oversaturated Condition) กำลังค่าลดลงมากกว่า 1.00 (Undersaturated Condition) ในช่วงวินาทีที่ 2160 ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความยาวคิวของยวดยานตกค้างมาจากรอบเวลาในวินาทีที่ 1920 ส่วนความยาวคิวที่สูงสุด (X_B) ก็คำนวณจากปริมาณการจราจรในตารางที่ 4.7 ก และ 4.7 ข โดยใช้สมการที่ 4.6 ผลการคำนวณแสดงเปรียบเทียบกับความยาวคิวจากการทำซิมูเลชันในตารางที่ 4.9 ก และ 4.9 ข โดยตารางที่ 4.9 ก เป็นกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่่าเสมอ และตารางที่ 4.9 ข เป็นกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบส่ม ความยาวคิวสูงสุดที่ได้มีค่าสูงกว่าความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดงเล็กน้อย เมื่อปริมาณการจราจรต่ำ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณการจราจรสูงขึ้น ความยาวคิวที่ได้จากตารางที่ 4.8 ก นำไปพล็อตเปรียบเทียบกันระหว่างความยาวคิวที่ได้จากการทำซิมูเลชันโดยตรงกับความยาวคิวที่ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ 4.5 แสดงในภาคผนวก ค. รูปที่ ค.19 - ค.27 ส่วนตารางที่ 4.8 ข แสดงผลการเปรียบเทียบในรูปที่ ค.37 - ค.45 รูปที่ 4.7 เป็นตัวอย่างรูปภาพที่แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวคิวที่ได้จากการคำนวณ กับความยาวคิวที่ได้จากการทำซิมูเลชันโดยตรง การเปรียบเทียบความยาวคิวสูงสุดจากตารางที่ 4.9 ก และ 4.9 ข ก็เช่นเดียวกัน แสดงเป็นกราฟในรูปที่ ค.28 - ค.36 และ ค.46 - ค.54 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบความยาวคิวสูงสุดกับความยาวคิวที่ได้จากการทำซิมูเลชัน ในตารางที่ 4.9 ก และ 4.9 ข พบว่าในช่วงที่ปริมาณยวดยานต่างๆ จะให้ค่าความยาวคิวใกล้เคียงกัน แต่เมื่อปริมาณจราจรสูงจนเลยความจุของทางแยก (450 คัน/ชั่วโมง) ความยาวคิวที่ได้จากการทำซิมูเลชันจะมีค่ามากกว่าเสมอ เห็นได้ชัดในวินาทีที่ 1440 ถึงวินาทีที่ 1920 ความยาวคิวจากการทำ

ตารางที่ 4.6 ก ปริมาณจราจรที่ตรวจวัดจาก detector ที่จำลองขึ้นในการทำขีมุเลชั่น
(ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่่าเสมอ)

QUEUE LENGTH - DETECTED FLOW from simulate single intersection
ARRIVAL TYPE : UNIFORM
UNIT : vehicle

TIME (sec.)	QUEUE LENGTH (m.)	POSITION OF DETECTOR (m. from stop line)									
		77	161	245	329	413	497	581	665	749	
240	20	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
480	25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
720	48	9	10	9	9	9	10	10	10	10	10
960	82	14	14	14	14	15	14	14	14	15	15
1200	100	17	19	19	20	19	20	20	20	19	20
1440	128	20	24	24	24	24	24	24	25	25	25
1680	202	20	25	29	29	30	29	29	29	30	30
1920	229	29	29	34	34	34	35	35	35	35	35
2160	125	33	28	19	18	18	17	16	16	15	15
2400	52	17	10	11	11	10	10	11	10	10	10
2640	24	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5
2880	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 4.6 ข ปริมาณจราจรที่ตรวจวัดจาก detector ที่จำลองขึ้นในการทำขีมุเลชั่น
(ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบส่ม)

QUEUE LENGTH - DETECTED FLOW from simulate single intersection
ARRIVAL TYPE : RANDOM
UNIT : vehicle

TIME (sec.)	QUEUE LENGTH (m.)	POSITION OF DETECTOR (m. from stop line)									
		77	161	245	329	413	497	581	665	749	
240	34	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
480	38	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
720	61	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
960	84	11	12	13	14	14	14	14	15	15	15
1200	127	16	20	19	18	18	18	19	20	20	20
1440	138	21	24	24	24	24	27	26	24	24	24
1680	228	23	26	34	34	34	31	31	31	31	31
1920	330	24	23	26	35	35	35	35	35	35	35
2160	161	31	32	21	12	12	13	13	14	15	15
2400	48	22	11	11	12	12	11	11	11	10	10
2640	26	6	6	6	5	6	6	6	5	5	5
2880	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.7 ก อัตรการไหลของยานที่ตรวจวัดจาก detector ที่จำลองขึ้นในการทำ
 ซิมูเลชั่น (ยานเข้าสู่วางแบบส่วาเสมอ)

QUEUE LENGTH - DETECTED FLOW RATE from simulate single intersection

ARRIVAL TYPE : UNIFORM

UNIT : vehicle/hour

TIME (sec.)	QUEUE LENGTH (m.)	POSITION OF DETECTOR (m. from stop line)								
		77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	20	45	45	60	60	60	60	60	60	60
480	25	75	75	75	75	75	75	75	75	75
720	48	135	150	135	135	135	150	150	150	150
960	82	210	210	210	210	225	210	210	225	225
1200	100	255	285	285	300	285	300	300	285	300
1440	128	300	360	360	360	360	360	375	375	375
1680	202	300	375	435	435	450	435	435	450	450
1920	229	435	435	510	510	510	525	525	525	525
2160	125	495	420	285	270	270	255	240	240	225
2400	52	255	150	165	165	150	150	165	150	150
2640	24	90	90	90	90	90	90	75	75	75
2880	2	30	30	15	15	15	15	15	15	15

ตารางที่ 4.7 ข อัตรการไหลของยานที่ตรวจวัดจาก detector ที่จำลองขึ้นในการทำ
 ซิมูเลชั่น (ยานเข้าสู่วางแบบส่ววม)

QUEUE LENGTH - DETECTED FLOW RATE from simulate single intersection

ARRIVAL TYPE : RANDOM

UNIT : vehicle/hour

TIME (sec.)	QUEUE LENGTH (m.)	POSITION OF DETECTOR (m. from stop line)								
		77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	34	75	75	75	75	75	75	75	75	75
480	38	75	75	75	75	75	75	75	75	75
720	61	150	150	150	150	150	150	150	150	150
960	84	165	180	195	210	210	210	210	225	225
1200	127	240	300	285	270	270	270	285	300	300
1440	138	315	360	360	360	360	405	390	360	360
1680	228	345	390	510	510	510	465	465	465	465
1920	330	360	345	390	525	525	525	525	525	525
2160	161	465	480	315	180	180	195	195	210	225
2400	48	330	165	165	180	180	165	165	165	150
2640	26	90	90	90	75	90	90	90	75	75
2880	0	15	15	15	15	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.8 ก เปรียบเทียบความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) ที่คำนวณจากแบบจำลอง Greenshield กับความยาวคิวที่ได้จากการทำริมุเลชั่น (ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสลับ)

Compare QUEUE LENGTH by SIMULATION

ARRIVAL TYPE : UNIFORM

TIME (sec.)	QUEUE by SIMULATION (m.)	QUEUE LENGTH by GREENSHIELD'S MODEL (m.) (at end of red time , X_a value)								
		77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	20	16	16	21	21	21	21	21	21	21
480	25	27	27	27	27	27	27	27	27	27
720	48	48	54	48	48	48	54	54	54	54
960	82	76	76	76	76	81	76	76	81	81
1200	100	93	104	104	110	104	110	110	104	110
1440	128	110	133	133	133	133	133	139	139	139
1680	202	110	139	163	163	169	163	163	169	169
1920	229	163	163	193	193	193	199	199	199	199
2160	125	187	157	104	98	98	93	87	87	81
2400	52	93	54	59	59	54	54	59	54	54
2640	24	32	32	32	32	32	32	27	27	27
2880	2	11	11	5	5	5	5	5	5	5

ตารางที่ 4.8 ข เปรียบเทียบความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) ที่คำนวณจากแบบจำลอง Greenshield กับความยาวคิวที่ได้จากการทำริมุเลชั่น (ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสลับ)

Compare QUEUE LENGTH by SIMULATION

ARRIVAL TYPE : RANDOM

TIME (sec.)	QUEUE by SIMULATION (m.)	QUEUE LENGTH by GREENSHIELD'S MODEL (m.) (at end of red time , X_a value)								
		77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	34	27	27	27	27	27	27	27	27	27
480	38	27	27	27	27	27	27	27	27	27
720	61	54	54	54	54	54	54	54	54	54
960	84	59	65	70	76	76	76	76	81	81
1200	127	87	110	104	98	98	98	104	110	110
1440	138	115	133	133	133	133	151	145	133	133
1680	228	127	145	193	193	193	175	175	175	175
1920	330	133	127	145	199	199	199	199	199	199
2160	161	175	181	115	65	65	70	70	76	81
2400	48	121	59	59	65	65	59	59	59	54
2640	26	32	32	32	27	32	32	32	27	27
2880	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.9 ก เปรียบเทียบความยาวคิวสูงสุด (X_B) ที่คำนวณจากแบบจำลอง Green shield กับความยาวคิวที่ได้จากการทำริบเลชั่น (ขวดยานเข้าสู่ทางแยก แบบสม่ำเสมอ)

Compare QUEUE LENGTH by SIMULATION
ARRIVAL TYPE : UNIFORM

TIME (sec.)	QUEUE by SIMULATION (m.)	MAXIMUM QUEUE LENGTH by GREENSHIELD'S MODEL (m.) (X_b value)								
		77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	20	16	16	21	21	21	21	21	21	21
480	25	27	27	27	27	27	27	27	27	27
720	48	49	55	49	49	49	55	55	55	55
960	82	78	78	78	78	84	78	78	84	84
1200	100	96	108	108	115	108	115	115	108	115
1440	128	115	140	140	140	140	140	147	147	147
1680	202	115	147	174	174	181	174	174	181	181
1920	229	174	174	209	209	209	216	216	216	216
2160	125	202	167	108	102	102	96	90	90	84
2400	52	96	55	60	60	55	55	60	55	55
2640	24	32	32	32	32	32	32	27	27	27
2880	2	11	11	5	5	5	5	5	5	5

ตารางที่ 4.9 ข เปรียบเทียบความยาวคิวสูงสุด (X_B) ที่คำนวณจากแบบจำลอง Green shield กับความยาวคิวที่ได้จากการทำริบเลชั่น (ขวดยานเข้าสู่ทางแยก แบบสุ่ม)

Compare QUEUE LENGTH by SIMULATION
ARRIVAL TYPE : RANDOM

TIME (sec.)	QUEUE by SIMULATION (m.)	MAXIMUM QUEUE LENGTH by GREENSHIELD'S MODEL (m.) (X_b value)								
		77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	34	27	27	27	27	27	27	27	27	27
480	38	27	27	27	27	27	27	27	27	27
720	61	55	55	55	55	55	55	55	55	55
960	84	60	66	72	78	78	78	78	84	84
1200	127	90	115	108	102	102	102	108	115	115
1440	138	121	140	140	140	140	160	153	140	140
1680	228	134	153	209	209	209	188	188	188	188
1920	330	140	134	153	216	216	216	216	216	216
2160	161	188	195	121	66	66	72	72	78	84
2400	48	127	60	60	66	66	60	60	60	55
2640	26	32	32	32	27	32	32	32	27	27
2880	0	5	5	5	5	-	-	-	-	-

ชิมูเลชันสูงกว่าความยาวคิวสูงสุดที่ได้จากการคำนวณ ในวินาทีที่ 2880 ของตารางที่ 4.9 ข จะเห็นว่าบางค่าที่ไม่ได้มีการแสดงค่าความยาวคิวสูงสุด (X_A) ในตำแหน่งที่ 413 เมตรถึง 749 เมตรจากทางแยก เนื่องจากข้อจำกัดของสูตรที่ไม่สามารถคำนวณได้ในกรณีที่มีปริมาณจราจรเท่ากับศูนย์ สิ่งที่ได้เห็นได้ชัดเจนอีกอย่างหนึ่งก็คือ เมื่อตำแหน่งที่ติดตั้ง detector อยู่ห่างจากทางแยกมากขึ้น ความยาวคิวสูงสุดที่คำนวณได้ยิ่งใกล้เคียงกับความยาวคิวที่ได้จากการทำชิมูเลชันมากขึ้น

ตารางที่ 4.10 ก และ 4.10 ข แสดงการคำนวณค่าผลรวมของผลต่างกำลังสองระหว่างความยาวคิวจากการทำชิมูเลชัน กับความยาวคิวที่ได้จากการคำนวณจากสูตรในกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่่าเสมอ โดยตารางที่ 4.10 ก เป็นความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) และตารางที่ 4.10 ข เป็นความยาวคิวสูงสุด (X_B) สำหรับกรณีที่ยวดยานที่เข้าสู่ทางแยกแบบสม่่าเสมอแสดงการคำนวณในตารางที่ 4.11 ก และ 4.11 ข เช่นเดียวกับตารางที่ 4.10 ก และตารางที่ 4.10 ข จากการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณในตารางที่ 4.10 ก กับ 4.10 ข พบว่าที่ตำแหน่งห่างจากทางแยก 413 เมตร ให้ค่าผลรวมของผลต่างกำลังสองที่ต่ำที่สุด ซึ่งเท่ากับ 3234 และ 1682 ตามลำดับ ส่วนในตารางที่ 4.11 ก และ 4.11 ข ให้ค่าผลรวมของผลต่างกำลังสองที่ต่ำสุดในตำแหน่งที่ห่างจากทางแยก 329 เมตรจากทางแยก ซึ่งห่างจากทางแยก ซึ่งเท่ากับ 29047 และ 23440 ตามลำดับ

จากค่าผลรวมของผลต่างกำลังสองที่ต่ำสุดที่คัดเลือกมา เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถสรุปได้ว่า ในกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่่าเสมอจะให้ผลการประมาณค่าความยาวคิวใกล้เคียงความยาวคิวที่ได้จากการทำชิมูเลชันมากกว่ากรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความยาวคิวที่ได้จากการคำนวณทั้งสองแบบ พบว่าการประมาณค่าความยาวคิวโดยใช้ความยาวคิวสูงสุด (X_B) ให้ผลที่ใกล้เคียงกับความยาวคิวที่ได้จากการทำชิมูเลชันมากกว่าความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A)

ตารางที่ 4.10 ก เปรียบเทียบค่ากำลังสองของผลต่างระหว่างความยาวคิวจากซิมูเลชันกับ
ความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) ที่คำนวณจากแบบจำลอง
Greenshield (ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอ)

Compare SUM SQUARE of different between QUEUE LENGTH by SIMULATION and by GREENSHIELD'S MODEL
ARRIVAL TYPE : UNIFORM

TIME (sec.)	Squre of Different between REAL and PREDICT QUEUE LENGTH								
	77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	17	17	1	1	1	1	1	1	1
480	2	2	2	2	2	2	2	2	2
720	0	31	0	0	0	31	31	31	31
960	40	40	40	40	0	40	40	0	0
1200	55	16	16	94	16	94	94	16	94
1440	336	24	24	24	24	24	116	116	116
1680	8524	3998	1552	1552	1113	1552	1552	1113	1113
1920	4409	4409	1286	1286	1286	879	879	879	879
2160	3839	998	443	716	716	1052	1450	1450	1910
2400	1645	3	50	50	3	3	50	3	3
2640	62	62	62	62	62	62	6	6	6
2880	73	73	11	11	11	11	11	11	11
TOTAL	19003	9673	3487	3838	3234	3750	4233	3628	4166

ตารางที่ 4.10 ข เปรียบเทียบค่ากำลังสองของผลต่างระหว่างความยาวคิวจากซิมูเลชันกับ
ความยาวคิวสูงสุด (X_B) ที่คำนวณจากแบบจำลอง Greenshield
(ขวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอ)

Compare SUM SQUARE of different between QUEUE LENGTH by SIMULATION and by GREENSHIELD'S MODEL
ARRIVAL TYPE : UNIFORM

TIME (sec.)	Squre of Different between REAL and PREDICT QUEUE LENGTH								
	77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	17	17	2	2	2	2	2	2	2
480	3	3	3	3	3	3	3	3	3
720	1	46	1	1	1	46	46	46	46
960	16	16	16	16	4	16	16	4	4
1200	15	71	71	215	71	215	215	71	215
1440	178	151	151	151	151	151	356	356	356
1680	7627	3040	794	794	452	794	794	452	452
1920	3044	3044	393	393	393	156	156	156	156
2160	5923	1762	275	519	519	835	1223	1223	1680
2400	1945	8	72	72	8	8	72	8	8
2640	69	69	69	69	69	69	8	8	8
2880	74	74	11	11	11	11	11	11	11
TOTAL	18910	8299	1856	2244	1682	2305	2901	2339	2940

ตารางที่ 4.11 ก เปรียบเทียบค่ากำลังสองของผลต่างระหว่างความยาวคิวจากวิธีเลขชั้นกับ
ความยาวคิวเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (X_A) ที่คำนวณจากแบบจำลอง
Greenshield (ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม)

Compare SUM SQUARE of different between QUEUE LENGTH by SIMULATION and by GREENSHIELD'S MODEL
ARRIVAL TYPE : RANDOM

TIME (sec.)	Square of Different between REAL and PREDICT QUEUE LENGTH								
	77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	56	56	56	56	56	56	56	56	56
480	132	132	132	132	132	132	132	132	132
720	55	55	55	55	55	55	55	55	55
960	621	377	192	69	69	69	69	7	7
1200	1607	300	532	827	827	827	532	300	300
1440	509	26	26	26	26	159	45	26	26
1680	10193	6943	1215	1215	1215	2840	2840	2840	2840
1920	38853	41193	34344	17069	17069	17069	17069	17069	17069
2160	188	393	2076	9294	9294	8256	8256	7276	6353
2400	5361	123	123	275	275	123	123	123	31
2640	34	34	34	0	34	34	34	0	0
2880	28	28	28	28	0	0	0	0	0
TOTAL	57638	49659	38814	29047	29053	29620	29210	27884	26869

ตารางที่ 4.11 ข เปรียบเทียบค่ากำลังสองของผลต่างระหว่างความยาวคิวจากวิธีเลขชั้นกับ
ความยาวคิวสูงสุด (X_B) ที่คำนวณจากแบบจำลอง Greenshield
(ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม)

Compare SUM SQUARE of different between QUEUE LENGTH by SIMULATION and by GREENSHIELD'S MODEL
ARRIVAL TYPE : RANDOM

TIME (sec.)	Square of Different between REAL and PREDICT QUEUE LENGTH								
	77	161	245	329	413	497	581	665	749
240	52	52	52	52	52	52	52	52	52
480	126	126	126	126	126	126	126	126	126
720	39	39	39	39	39	39	39	39	39
960	552	313	141	35	35	35	35	0	0
1200	1367	152	345	614	614	614	345	152	152
1440	290	5	5	5	5	493	240	5	5
1680	8875	5550	354	354	354	1621	1621	1621	1621
1920	35988	38498	31152	12883	12883	12883	12883	12883	12883
2160	715	1143	1602	8969	8969	7895	7895	6881	5928
2400	6297	156	156	335	335	156	156	156	46
2640	39	39	39	1	39	39	39	1	1
2880	28	28	28	28	0	0	0	0	0
TOTAL	54369	46102	34039	23440	23451	23954	23432	21916	20852