

การพัฒนาารูปแบบการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง แบบหนึ่งแถวคอย
และหลายแถวคอยของด้านเก็บค่าผ่านทาง

จริงใจงาม

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2558

THE DEVELOPMENT OF DISCRETE EVENT SIMULATION MODEL WITH SINGLE-CHANNEL
QUEUE AND MULTIPLE-CHANNELS QUEUE FOR TOLL COLLECTION PLAZA

Jarung Jaingam

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Information Technology

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2015

หัวข้อสารนิพนธ์

การพัฒนาแบบจำลองเหตุการณแบบไม่ต่อเนื่องแบบ
หนึ่งแถวคอย และหลายแถวคอยของด้านเก็บค่าผ่านทาง

โดย

จรุง ใจงาม

สาขาวิชา

เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร. ภาสกร อภิรักษ์วรพินิต

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร. กษิตศ ชชาญเขียว)

.....กรรมการ

(ดร. กิตติมา เมฆาบัญชากิจ)

.....กรรมการ

(ดร. กรกฎ เหมสถาปต์ย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร. ภาสกร อภิรักษ์วรพินิต)

จรรยา ใจงาม : การพัฒนารูปแบบการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง แบบหนึ่งแถวคอย และหลายแถวคอยของด่านเก็บค่าผ่านทาง. อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. ภาสกร อภิรักษ์ธรรมาภินิต, 69 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเทคนิคการสร้างแบบจำลองของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) และเพื่อจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass or ETC) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด (MTC) ของด่านเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งเป็นพัฒนารูปแบบการจำลอง โดยออกเป็น 2 ประเภท -1. การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) -2. การจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channel Queue) ด้วยโปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือในการวิจัย และใช้ข้อมูลปริมาณรถยนต์จริงของด่านเก็บค่าผ่านทาง และเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยพิจารณาจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทาง ETCs และ MTCs รวมทั้งตำแหน่งสำหรับการพิจารณารูปแบบการจำลอง

การจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางของ ETCs และ MTCs ถูกแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ

1. เป็นรูปแบบที่ใช้ในปัจจุบันมีช่องเก็บค่าผ่านทาง ETCs ไม่ติดกันจำนวน 2 ช่องทาง และ MTCs จำนวน 3 ช่องทาง, 2. มีช่องเก็บค่าผ่านทาง ETCs ติดกันจำนวน 2 ช่องทาง, 3. มีช่องเก็บค่าผ่านทาง ETCs อยู่ทีละช่องของด่านเก็บค่าผ่านทาง และ 4. มีช่องเก็บค่าผ่านทาง ETCs ติดกันจำนวน 3 ช่องทางสำหรับการสร้างด่านเก็บค่าผ่านทางใหม่

ผลการจำลองค่า Total Time Per Entity (Second) มาเปรียบเทียบกับระหว่าง รูปแบบที่ 1, 2 และ 3 รูปแบบที่ 2 ใช้เวลาอยู่ในระบบจำลองน้อยที่สุด และ รูปแบบที่ 4 เป็นรูปแบบสำหรับการสร้างด่านเก็บค่าผ่านทางใหม่ จึงไม่นำมาเปรียบเทียบ และจากการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบที่ 1 และ 2 พบว่า มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 13.65% ช่วงเวลา 07.00-08.59 และมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 13.18% ช่วงเวลา 13.65% และ 17.00-18.59

คำสำคัญ : การจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง, การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย, การจำลองแบบหลายแถวคอย, ช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ, ด่านเก็บค่าผ่านทาง

บัณฑิตวิทยาลัย

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

JARUNG JAINGAM : THE DEVELOPMENT OF DISCRETE EVENT SIMULATION MODEL WITH SINGLE-CHANNEL QUEUE AND MULTIPLE-CHANNELS QUEUE FOR TOLL COLLECTION PLAZA. ADVISOR : DR. DR. PASKORN APIRUKVORAPINIT, 69 PP.

This thesis aims To study the modeling techniques of (discrete event simulation) and to simulate the Electronic toll collection (Easy Pass or ETC) and the cash toll collection (MTC) of the toll plaza, Two type of simulation model were developed: -1. the models of (single-channel queue), -2. the model of (multi-channel queue) by Arena program and the actual traffic data was used in simulation To improve the performance of the toll plaza, the number of the ETCs and MTCs including their positions (known as a configuration) are considered in our simulation.

The placement of ETCs and MTCs was classified into four configurations : .1. currently used configuration with two nonconsecutive ETCs and three MTCs, 2. two consecutive ETCs, 3. ETCs at the boundary of toll way plaza, and 4. Three consecutive ETCs for building a new toll plaza.

According to the results of the simulation, the Total Time per Entity (Seconds) compared between pattern 1, 2 and 3 concluded that the configuration 2 has the best efficiency because of the lowest time a car spent in system. Notice that the configuration 4 was not compared because it was designed for the new toll plaza. By comparing between 1 and 2, it was found that the total efficiency has increased by 13.65% during time 07:00 to 08:59 and by 13.18%, during time 17:00 to 18:59. In addition, the single-channel model has been found to have a better efficiency than the multiple-channel model during time 07:00 to 08:59 and 17:00 to 18:59.

Keywords : Discrete Event Simulation, Single-Channel Queue, Multi-Channel Queue, Easy Pass, toll Plaza

Graduate School

Student's Signature.....

Field of Study Information Technology

Advisor's Signature.....

Academic Year 2015

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้นั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณในความกรุณาของ ดร. ภาสกร อภิรักษ์วรพินิต ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน ได้แก่ ดร. กษิตศิ์ ชาญเขียว ดร. กิตติมา เมฆาบุญชากิจ และดร. กรกฎ เหมสถาปัติย์ ที่กรุณาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณทุกท่านในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจความช่วยเหลือที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อในการใช้งาน และ การศึกษารวมทั้งเป็นต้นแบบในการพัฒนา เพื่อประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

จรุง ใจงาม

TNI

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การจำลองช่องเก็บค่าผ่านแบบไม่ต่อเนื่องของด่านเก็บค่าผ่านทาง	6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
3 วิธีดำเนินการวิจัย	33
3.1 การศึกษาข้อมูลการจำลองระบบ	33
3.2 การออกแบบการจำลองระบบ	33
3.3 การทดลองการจำลองระบบ	34
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการจำลองระบบ	44
3.5 การสร้างฟอร์มใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น	46

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	48
4.1 ผลการทดลอง.....	48
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	62
5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้.....	64
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป.....	64
5.4 อภิปรายผลการวิจัย.....	64
บรรณานุกรม	66
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	69

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 VA Time Per Entity (Sec).....	50
4.2 Wait Time (Sec)	50
4.3 Total Time Per Entity (Sec).....	51
4.4 สรุปเวลาเฉลี่ยตัวชีวิตในแต่ละวัน ช่วงเวลา 7.00-8.59 am รูปแบบที่ 1	51
4.5 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชีวิตในแต่ละวัน ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm รูปแบบที่ 1.....	51
4.6 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชีวิตในแต่ละวัน ช่วงเวลา 7.00-8.59 am รูปแบบที่ 2.....	52
4.7 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชีวิตในแต่ละวัน ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm รูปแบบที่ 2.....	53
4.8 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชีวิตในแต่ละวัน ช่วงเวลา 7.00-8.59 am รูปแบบที่ 3.....	54
4.9 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชีวิตในแต่ละวัน ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm รูปแบบที่ 3.....	54
4.10 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชีวิตในแต่ละวัน ช่วงเวลา 7.00-8.59 am รูปแบบที่ 4.....	55
4.11 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชีวิตในแต่ละวัน ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm รูปแบบที่ 4.....	55
4.12 ตัวอย่าง รูปแบบที่ 1 (Conf.1)	55
4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบ ช่วงเวลา 7.00-8.59 AM	56
4.14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบ ช่วงเวลา 17.00-18.59 PM.....	57
4.15 เปรียบเทียบวันที่ดีที่สุดในการจำลอง และวันที่แย่ที่สุดในการจำลองในช่วงเวลา 7.00-8.59 am	59
4.16 เปรียบเทียบวันที่ดีที่สุดในการจำลอง และวันที่แย่ที่สุดในการจำลองในช่วงเวลา 17.00-18.59 pm	60
4.17 สรุปประสิทธิภาพ ช่วงเวลา 7.00-8.59 am และ 17.00-18.59 pm	60
4.18 การเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่าง การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด่านเก็บ ค่าผ่านทาง ช่วงเวลา 7.00-8.59 am.....	61
4.19 การเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่าง การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด่านเก็บ ค่าผ่านทาง ช่วงเวลา 7.00-8.59 am.....	61
5.1 รูปแบบการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) ที่ใช้ในการจำลองทั้ง 4 รูปแบบ	63

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด	2
1.2 ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ	2
2.1 ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection: MTC).....	6
2.2 โครงสร้างของระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC)	7
2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด	7
2.4 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่อพ่วง ETC	8
2.5 อุปกรณ์ ETC ที่หน่วยบริหารในอาคารควบคุมการเก็บค่าผ่านทาง	9
2.6 ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมด่าน (Plaza Computer System : PCS) ในอาคารควบคุม การเก็บค่าผ่านทาง.....	9
2.7 อุปกรณ์ ETC ในอาคารควบคุมส่วนกลาง	10
2.8 ระบบ Computer Simulation	11
2.9 State Variable ของ Discrete-Event Simulation	12
2.10 State Variable ของ Discrete-Time Simulation	12
2.11 โปรแกรม Arena Simulation	15
2.12 ความหมายในส่วนต่างๆ ในการใช้งานโปรแกรม Arena Simulation.....	15
2.13 Create Module.....	17
2.14 Dispose Module	17
2.15 Process Module.....	18
2.16 Decide Module.....	18
2.17 Batch Module	19
2.18 Separate Module.....	19
2.19 Assign Module	20
2.20 Record Module.....	21
2.21 แบบจำลองโรงงานตัดกระดาษ	21
2.22 Create Module ชื่อ Create Paper	22
2.23 Station Module ชื่อ Receiving Paper Roll	22
2.24 Request Module ชื่อ Request Forklift.....	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
2.25 Transporter Spreadsheet ชื่อ Forklift1	23
2.26 Transport Module ชื่อ Transport to Cutter	24
2.27 Station Module ชื่อ Cutter	24
2.28 Free Module ชื่อ Free Transporter	25
2.29 Process Module ชื่อ Process Cutter	25
2.30 Request Module ชื่อ Request to SW1 or SW2	26
2.31 Pick Station Module ชื่อ Pick Station1	26
2.32 Station Module ชื่อ Station SW1	27
2.33 Station Module ชื่อ Station SW2	28
2.34 Station Module ชื่อ Station Shipping Dock	28
2.35 กิจกรรมของวัตถุที่เกิดมูลค่าเพิ่ม (Value Add Time)	29
2.36 กิจกรรมของวัตถุที่ไม่เกิดมูลค่าเพิ่ม (Non Value Add Time)	29
2.37 Wait Time	30
2.38 Total Time	30
3.1 การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue)	34
3.2 การเข้ามาของรถยนต์ที่ใช้ในการจำลองช่วงเวลาเร่งด่วน เวลา 7.00 น. ถึง 8.59 น.	35
3.3 การกำหนดค่า 75% สำหรับ MTC และ 25% สำหรับ ETC	36
3.4 การกำหนดการตัดสินใจในการแยกประเภทรถยนต์	36
3.5 การกำหนดให้เข้าช่องเก็บค่าผ่านทางได้ในช่องทางที่ 1, 2 และ 3	37
3.6 การกำหนดรูปแบบ และค่าของโมดูล Hold	37
3.7 การกำหนดการเข้าช่องให้บริการของรถยนต์ทั้ง 2 ประเภท	38
3.8 การกำหนดการเข้ามาของรถยนต์ทั้ง 2 ประเภท	38
3.9 การกำหนดประเภทช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด (MTC)	39
3.10 การกำหนดประเภทช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass or ETC)	40
3.11 การแจ้งเตือนช่องให้บริการเก็บค่าผ่านทางว่าง	40
3.12 การจบการทำงานของระบบจำลองระบบ	41
3.13 การจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue)	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.14 การกำหนดช่องเก็บค่าผ่านทางทั้งประเภทเงินสด และประเภทอัตโนมัติทั้ง 5 ช่องทาง	42
3.15 การกำหนดค่า Pick Station 1	42
3.16 การกำหนดค่า Pick Station 2	43
3.17 การกำหนดค่า Pick Station 3	43
3.18 การกำหนดค่า Pick Station 5	44
3.19 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาทำการหาค่า Time Between Arrivals	44
3.20 ข้อมูลที่เก็บรวบรวม และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Input Analyzer	45
3.21 รูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณรถยนต์หลังจากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Input Analyzer	46
3.22 แบบฟอร์มการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue)	46
3.23 แบบฟอร์มการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue)	47
4.1 รูปแบบของระบบเก็บค่าผ่านทางที่ใช้ในปัจจุบัน	49
4.2 รูปแบบที่มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) อยู่ในช่องทางที่ 2 และ 3	52
4.3 รูปแบบที่มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) อยู่ในช่องทางที่ 1 และ 5	53
4.4 รูปแบบที่มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) อยู่ในช่องทางที่ 1, 2 และ 3	54
4.5 รูปแบบการจำลองของด่านเก็บค่าผ่านทางแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue)	59

บทที่ 1

บทนำ

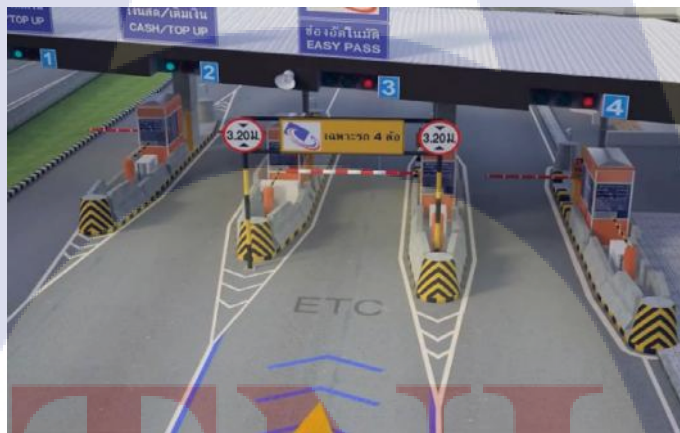
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาการจราจรติดขัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาเร่งด่วน นั้นพบว่าสาเหตุหนึ่งมีผลมาจากการจราจรติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางของทางด่วนทำให้ท้ายแถวสะสมต่อเนื่องไปยังถนนพื้นราบด้านล่าง ซึ่งจากข้อมูลสรุปของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย เมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2558 พบว่าปัจจุบันปริมาณจราจรบนทางด่วนเฉลี่ยประมาณ 1.6 ล้านคันต่อวัน โดยเมื่อวันที่ 3 มีนาคม 2558 ปริมาณจราจรเพิ่มเป็น 1.75 ล้านคันต่อวัน ซึ่งเป็นอัตราการเติบโตที่สูงกว่าประมาณการการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ได้นำระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection System : ETC) หรือเรียกว่า Easy Pass เข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหาดการสะสมของปริมาณรถหน้าด่าน และเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ใช้บริการมากยิ่งขึ้น และภายหลังจากที่มีการนำเทคโนโลยีระบบเก็บค่าผ่านทาง Easy Pass เข้ามาใช้ทำให้สามารถระบายรถได้เพิ่มมากขึ้นจากเดิมสามารถระบายรถได้ประมาณ 450 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร เป็น 1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร

ระบบเก็บค่าผ่านทาง Easy Pass ในปัจจุบันมีผู้ใช้ ระบบเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบัน การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ต้องทำการขยายระบบ Easy Pass เพื่อรองรับผู้ใช้งาน Easy Pass เนื่องจากปริมาณการใช้งานของระบบ Easy Pass ที่ถูกออกแบบไว้มีแนวโน้มจะไม่เพียงพอต่อการรองรับการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษาดำเนินการติดตั้งและจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางระบบ Easy Pass ให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการและเพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัดที่หน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง

ระบบเก็บค่าผ่านทางในปัจจุบันมีการให้บริการอยู่ 2 ระบบ คือ

1. ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) เป็นระบบการเก็บค่าผ่านทางโดยมีพนักงานในการเก็บค่าผ่านทางผู้ใช้บริการสามารถจ่ายเป็นเงินสด หรือคูปองก็ได้ และสามารถขอใบเสร็จค่าผ่านทางได้ ซึ่งระบบแบบเงินสดนี้เหมาะกับด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีปริมาณรถไม่มาก เนื่องจากในการใช้พนักงานในการเก็บค่าผ่านทางนั้นจะสามารถเก็บค่าผ่านทางได้ประมาณ 350 - 400 คันต่อชั่วโมงสำหรับระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเปิด (เป็นระบบที่ต้องจ่ายเงินตอนเข้าด่านเก็บค่าผ่านทาง) และ 250 คันต่อชั่วโมงสำหรับระบบปิด (เป็นระบบที่รับบัตรตอนเข้าด่านเก็บค่าผ่านทางและจ่ายเงินตามระยะทางที่ด่านเก็บค่าผ่านทางขาออก) ดังรูปที่ 1.1



TNI

14,482,000 บาท และระบบเก็บค่าผ่านทาง Easy Pass มีค่าใช้จ่ายประมาณ 10,483,000 บาท การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ได้มีการประมาณค่าใช้จ่ายของทางพิเศษฉลองรัช สำหรับระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด มีค่าใช้จ่ายประมาณ 686,000,000 บาท และระบบเก็บค่าผ่านทาง Easy Pass มีค่าใช้จ่ายประมาณ 140,000,000 บาท

การแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางสามารถนำระบบ ETC เข้ามาช่วยได้ในระบบเก็บค่าผ่านทาง และพบว่าระบบ ETC มีประสิทธิภาพในการลดการจราจรติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางที่ดีกว่าระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด [1]

การจำลองปริมาณการจราจรที่ด่านเก็บค่าผ่านทางสามารถทำได้โดยวิธีการจับภาพจากกล้องที่ตำแหน่งต่างๆ และข้อมูลต่างๆ เช่นปริมาณรถที่เข้ามา พฤติกรรมการขับขึ้น ความเร็ว และการเร่งความเร็วเพื่อใช้ในการออกแบบระบบเก็บค่าผ่านทาง [2]

แผนกวิจัย และพัฒนาระบบจราจร กองวิจัย และพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ ใช้แบบจำลองมาช่วยในการจัดหาดำเนินการที่เหมาะสมในการติดตั้งช่อง ETC เพื่อให้ประสิทธิภาพการจัดการจราจรสูงสุด และสามารถรองรับปริมาณผู้ใช้งานระบบ ETC ได้มากขึ้น [3] นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ เช่น การขยายช่วงถนน การจัดช่องทางพิเศษ การจำกัดความเร็ว ยังช่วยแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง [4]

การวิจัยครั้งนี้เป็นการจำลองช่องเก็บค่าผ่านทาง อัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสดของด่านเก็บค่าผ่านทาง เพื่อรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มมากขึ้น และเพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัดที่หน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยเป็นการศึกษารูปแบบการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และรูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด่านเก็บค่าผ่านทาง มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองช่องเก็บค่าผ่านทาง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาปัญหาการจราจรติดขัด และการสะสมของปริมาณจราจรที่หน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง
2. เพื่อศึกษาเทคนิคในการสร้างแบบจำลองของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation)
3. เพื่อจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสดของด่านเก็บค่าผ่านทางในรูปแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue)

4. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของช่องเก็บค่าผ่านทาง ด้วยการจัดตำแหน่งของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด ให้เหมาะสม โดยใช้การจำลอง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด และช่องเก็บค่าผ่านทาง อัตโนมัติ (Easy Pass) ของด่านเก็บค่าผ่านทาง การจำลองประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ 1. การสร้างรูปแบบการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และ 2. การสร้างรูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด่านเก็บค่าผ่านทางด้วยโปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรจริงของด่านเก็บค่าผ่านทาง

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection : ETC) หรือ Easy Pass หมายถึง ช่องเก็บค่าผ่านทางที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งที่ช่องเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งจะใช้งานคู่กันกับอุปกรณ์บัตรอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) ที่ติดกับรถยนต์ที่ใช้บริการ สำหรับการคำนวณเก็บเงินค่าผ่านทาง
2. ช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) หมายถึง ช่องเก็บค่าผ่านทางที่ใช้พนักงานในการเก็บค่าผ่านทาง ผู้ใช้บริการสามารถจ่ายเป็นเงินสด หรือคูปองก็ได้ และสามารถขอใบเสร็จค่าผ่านทางได้
3. การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) หมายถึง การจำลองที่มีการเข้ามาของรถยนต์ในแถวคอยได้เพียงหนึ่งแถวคอย
4. การจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) หมายถึง การจำลองที่มีการเข้ามาของรถยนต์ในแถวคอยได้หลายแถวคอย
5. การจำลองเหตุการณ์ช่วงเวลาแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) หมายถึง รูปแบบของสถานการณ์ความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ไม่ต่อเนื่อง การจำลองจะพิจารณาในส่วนของการเข้ามา และการออกจากระบบของวัตถุที่สนใจในการจำลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปใช้ในการออกแบบช่องเก็บค่าผ่านทางในแต่ละประเภทให้มีความเหมาะสมกับด่านเก็บค่าผ่านทางต่างๆ ได้
2. ผู้ใช้งานที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสร้างแบบจำลองสามารถใช้งานได้ง่าย

3. สามารถนำไปใช้เพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัด และปัญหาการสะสมของปริมาณจราจรหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางได้

4. สามารถทำให้เกิดความคล่องตัวในการผ่านด่านเก็บค่าผ่านทาง เพื่อรองรับปริมาณรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้นได้



TNI

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษา เอกสาร ตำรา และบทความต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี รวมทั้งผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นประโยชน์ในการกำหนดกรอบแนวทางในการศึกษา การวิเคราะห์ และนำเสนอผลการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 การจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางแบบไม่ต่อเนื่องของด้านเก็บค่าผ่านทาง

2.1.1 การจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด

2.1.2 เทคนิคในการสร้างแบบจำลองของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation)

2.1.3 การจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ด้วยโปรแกรม Arena

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ระบบเก็บค่าผ่านทาง (Toll Collection System)

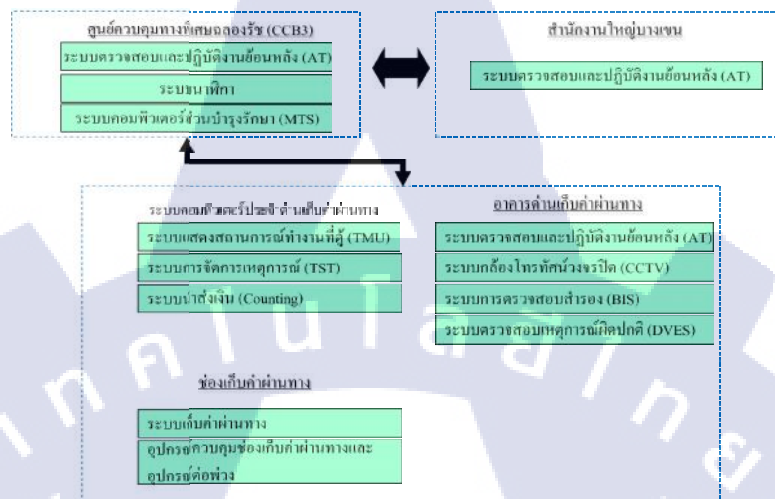
ปัจจุบันระบบเก็บค่าผ่านทางแบ่งได้ออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเก็บค่าผ่านทางเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC)

1) ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) เป็นระบบการเก็บค่าผ่านทางโดยมีพนักงานในการเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งรถยนต์ประเภทที่สามารถใช้บริการได้แก่ รถยนต์ 4 ล้อ, 6-10 ล้อ และมากกว่า 10 ล้อ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection: MTC)

โดยมีโครงสร้างของระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC)

ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสดจะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ดัง

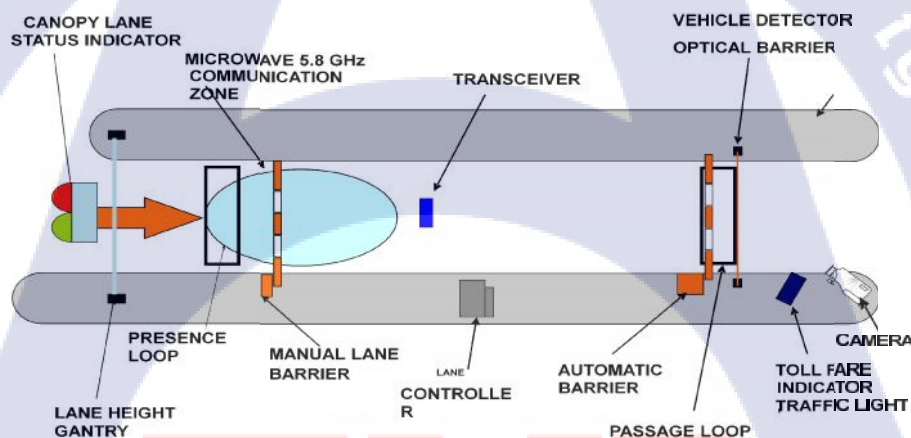
รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด

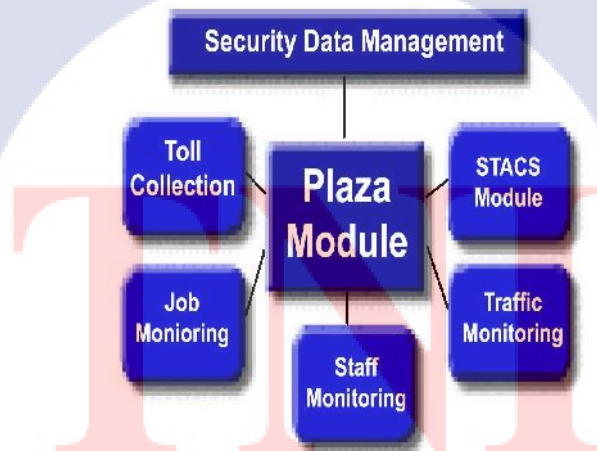
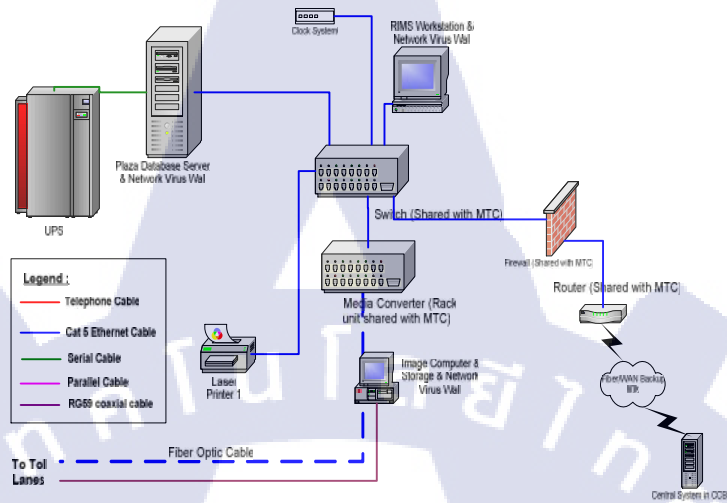
2) ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection : ETC) ระบบ ETC เป็นระบบที่ให้บริการเฉพาะรถ 4 ล้อเท่านั้น และปริมาณรถที่ผ่านด่านต้องไม่น้อยกว่า 1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องการจราจรจึงจะมีประสิทธิภาพ ระบบ ETC เป็นระบบที่อาศัยอุปกรณ์ผ่านทางติดภายในรถ (Tag) ของ PISTA อุปกรณ์ผ่านทางจะเก็บข้อมูลจำนวนเงิน และเส้นทางการใช้งานตามมาตรฐาน PISTA อุปกรณ์ผ่านทาง หรือ OBU เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ 5.8 GHz โดยผู้ใช้ทางจะต้องเติมเงินเข้าบัญชีของอุปกรณ์ผ่านทาง และเมื่อผ่านช่องทาง ETC ระบบจะทำการตัดเงินจากบัญชีของอุปกรณ์ผ่านทางนั้นตามอัตราค่าผ่านทางนั้นๆ ระบบจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังนี้ [5]

2.1) ระบบควบคุมช่องจราจร (Lane Controller-LC) คือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ของระบบควบคุมช่องจราจร ETC ซึ่งมีการต่อเชื่อมกับช่องจราจร หลักการทำงานของ LC คือ การควบคุมการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับช่องจราจร การรับข้อมูล และการติดต่อสื่อสารกับด่านเก็บค่าผ่านทาง อุปกรณ์นี้จะติดตั้งอยู่ภายในตู้ของช่องจราจร (Lane Cabinet) ดังรูปที่ 2.4

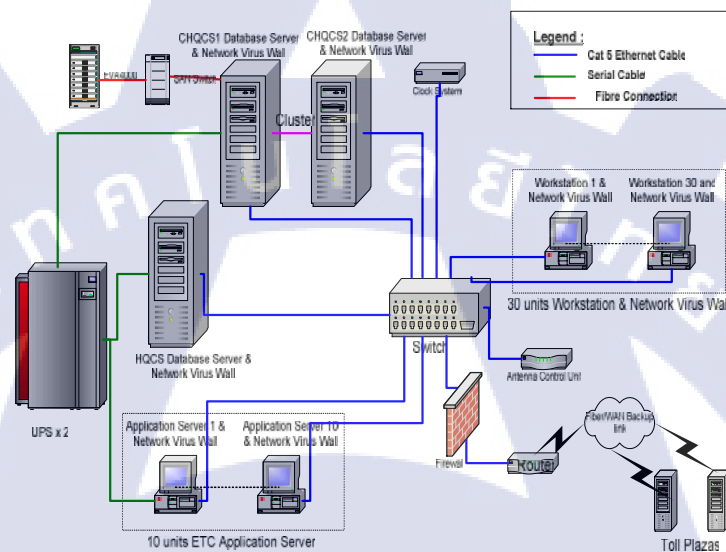


รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่อพ่วง ETC

2.2) อาคารควบคุมการเก็บค่าผ่านทาง มีหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูลรายการ (Transaction) ต่างๆ ระหว่างระบบควบคุมช่องจราจร และระบบควบคุมส่วนกลางที่เกิดจากการปฏิบัติงานของพนักงานตามช่องเก็บค่าผ่านทางลงในระบบฐานข้อมูลของด่านเก็บค่าผ่านทางรวมถึงแสดงรายงานต่างๆ ในการปฏิบัติการ ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 2 ส่วน คือ



2.3) ระบบควบคุมส่วนกลาง เป็นระบบควบคุมที่ทำการ รับ-ส่งข้อมูล รายการ (Transaction) ต่างๆ ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบ ETC โดยผ่านอาคารควบคุมการเก็บค่าผ่านทาง สำหรับระบบส่วนกลางประกอบด้วยแม่ข่าย (Server) ฐานข้อมูลกลาง แม่ข่ายฐานข้อมูลศูนย์อำนาจการ แม่ข่าย สำหรับโปรแกรมใช้งาน Workstation หน่วยควบคุมอุปกรณ์รับสัญญาณ หรือเครื่องอ่าน และอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ ETC ในอาคารควบคุมส่วนกลาง

2.2.2 การจำลอง (Simulation)

เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ โดย Shannon (1975) ได้อธิบายเกี่ยวกับการจำลองปัญหาว่าเป็นการออกแบบจำลอง (Model) ของระบบจริง (Real System) แล้วทำการทดลองในสภาพการทำงานเช่นเดียวกับระบบงานจริง และวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ก่อนนำไปใช้แก้ไขปัญหในสถานการณ์จริงต่อไป [6]

การจำลองสถานการณ์แบ่งเป็น 2 ส่วนสำคัญ คือ การสร้างแบบจำลอง และการนำแบบจำลองไปใช้งานเชิงวิเคราะห์ ซึ่งจะพบว่าขั้นตอน และวิธีการจำลองสถานการณ์นั้นจะขึ้นอยู่กับแบบจำลอง และการใช้แบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ใช้จะต้องทำการจำลองสถานการณ์ให้สามารถทำงานได้เช่นเดียวกันกับเป็นระบบงานจริง เพื่อให้สามารถช่วยให้เข้าใจระบบการทำงานจริงได้ สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบ และสามารถทำการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานได้จริง [7]

computer
simulation

discrete
models

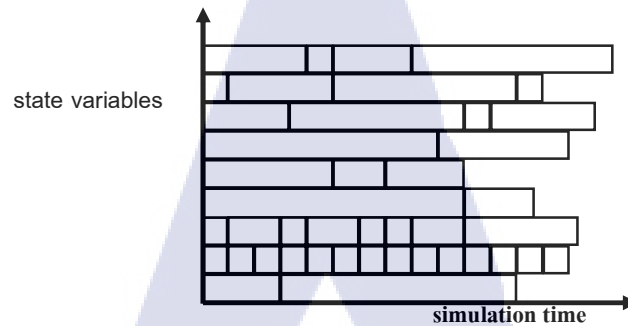
continuous
models

event
driven

time-
stepped

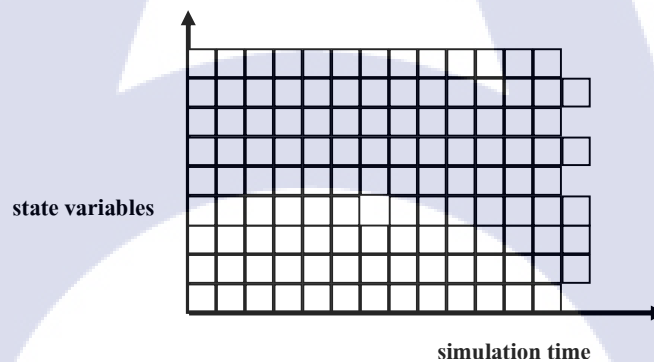
TNI

สถาบันเทคโนโลยี-ญี่ปุ่น
THAI-NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY



รูปที่ 2.9 State Variable ของ Discrete-Event Simulation

2.2 Time Stepped เป็นแบบจำลองที่จะพิจารณาการเก็บข้อมูลเป็นช่วงๆ ของเวลาที่ใช้ในแบบจำลอง การเลื่อนไปของเวลาที่ใช้ในการจำลองจะมีการเลื่อนไปด้วยอัตราคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับ การกำหนดค่าต่างๆ ของแบบจำลอง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 State Variable ของ Discrete-Time Simulation

Discrete Event Simulation (DES)

เป็นรูปแบบการจำลองเหตุการณ์ทางคอมพิวเตอร์ของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ต่างๆ เกิดขึ้นของระบบในช่วงเวลาที่ไม่ต่อเนื่องกัน และไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาของการจำลอง ในการจำลองเหตุการณ์จะมีข้อพิจารณาดังนี้

- 1) สถานะของระบบ (System State) สถานะในการจำลองเหตุการณ์ของระบบจะพิจารณาจากตัวแปรสถานะ (State Variable)

2) การเปลี่ยนแปลงสถานะ (State Transitions) ในการจำลองเหตุการณ์ของระบบนั้น เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะมีผลให้สถานะของระบบมีการเปลี่ยนแปลง และหากไม่มีเหตุการณ์ใดๆ เกิดขึ้น สถานะของระบบใน Discrete Event Simulation ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงการประมวลผล หรือการคำนวณ ซึ่งสามารถเปรียบได้กับลำดับของการประมวลผลเหตุการณ์ต่างๆ หรือลำดับของการเกิดเหตุการณ์ โดยที่แต่ละเหตุการณ์จะถูกกำหนดให้เกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งในเวลาจำลอง หรือ Time Stamp [8]

การจำลองสถานการณ์ โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้น แบบจำลองต้องสามารถทำงานได้เช่นเดียวกันกับเป็นระบบงานจริง โดยขั้นตอนในการศึกษาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีดังนี้

- 1) กำหนดรูปแบบของปัญหา
- 2) กำหนดวัตถุประสงค์ของการจำลอง และขอบเขตการศึกษาการจำลอง
- 3) การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นในการจำลอง ตัวแปรต่างๆ ของระบบทั้งหมด เพื่อนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาเป็นข้อมูลนำเข้า (Data Input) ให้กับแบบจำลอง
- 4) สร้างแบบจำลอง เพื่ออธิบายขั้นตอน และวิธีการทำงานต่างๆ ของระบบ
- 5) ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลองนั้นมีความถูกต้องหรือไม่ และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างนั้นมีผลลัพธ์ที่ถูกต้องหรือไม่
- 6) ทำการวางแผนการทดลองแบบจำลอง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง
- 7) ดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองแบบจำลอง
- 8) ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ และวิเคราะห์วิธีการปรับปรุงตัวแบบจำลอง
- 9) ดำเนินการจัดทำเอกสารข้อมูลเกี่ยวกับผลที่ได้จากการจำลอง และนำผลการจำลองที่ดีที่สุดไปใช้งาน

ข้อพิจารณาการใช้แบบจำลอง เพื่อแก้ไขปัญหา ดังนี้

- 1) เมื่อต้องการวิเคราะห์ระบบก่อนการดำเนินจริง เช่นการเพิ่มจำนวนเครื่องจักรเพื่อให้งานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ต้องจำลองระบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสมก่อนลงทุนจริง
- 2) เมื่อต้องการปรับปรุง หรือพัฒนาระบบ เช่นการปรับเปลี่ยนผังโรงงาน โดยใช้แบบจำลองช่วยในการวางผังโรงงานให้หลายๆ แบบ เพื่อเลือกใช้แบบที่เหมาะสม
- 3) เมื่อต้องการปรับปรุง หรือพัฒนาวิธีทำงาน แบบจำลองจะสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของวิธีการทำงานแบบเก่า และแบบใหม่ได้
- 4) เมื่อต้องการออกแบบระบบขึ้นใหม่ โดยการใช้แบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ว่า มีผลกระทบอย่างไรบ้างที่จะเกิดขึ้นกับระบบ

ข้อดีของการใช้แบบจำลอง

- 1) แบบจำลอง สามารถจำลองระบบที่มีความซับซ้อน ไม่สามารถหาความสัมพันธ์โดยการเขียนสมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ หรือใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ได้
- 2) แบบจำลอง สามารถจำลองระบบ เพื่อวิเคราะห์ระบบในอนาคตได้ โดยใช้เวลาอันสั้นในการประมวลผล
- 3) แบบจำลอง สามารถจำลองระบบที่ไม่สามารถทดลองบนสถานการณ์จริงได้
- 4) แบบจำลอง สามารถจำลองระบบทางเลือกในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้หลายทางเลือก โดยเลือกใช้ทางเลือกที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาจริง

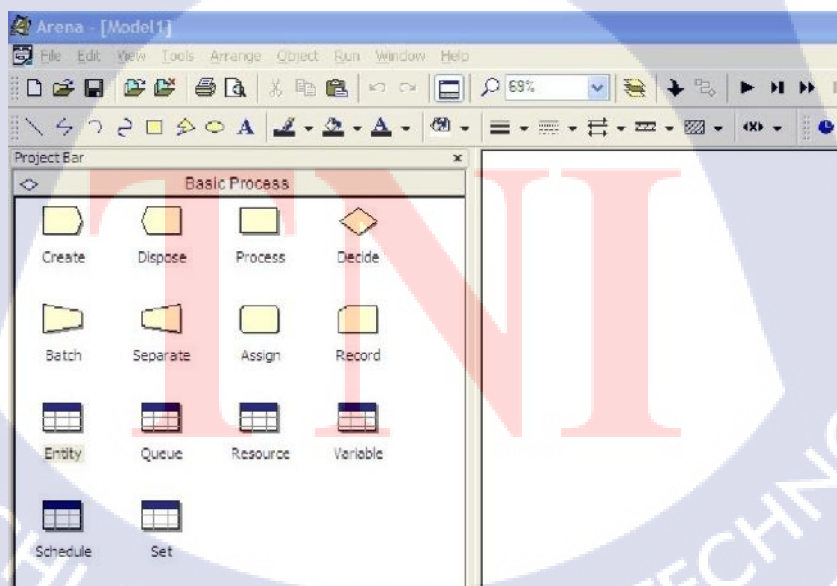
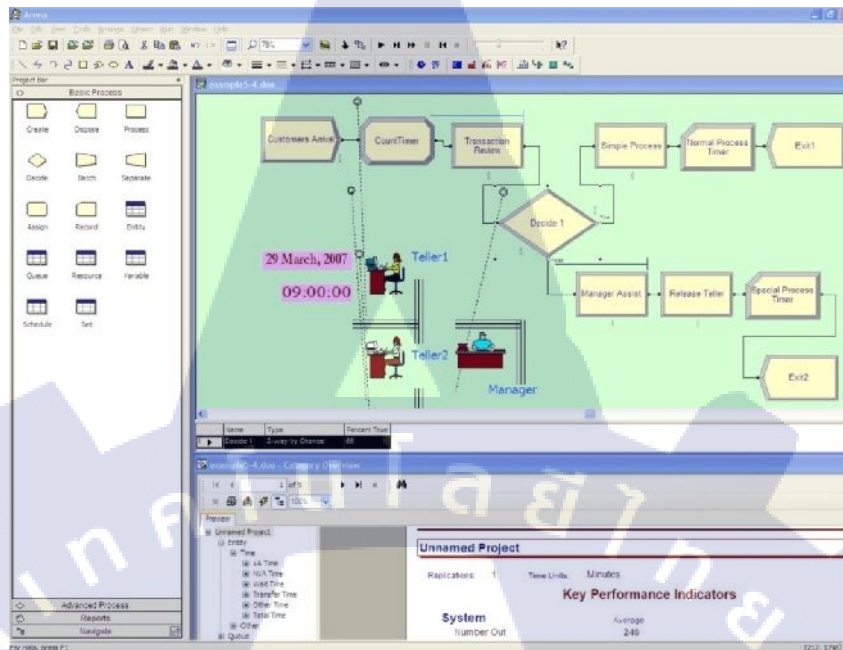
ข้อเสียของการจำลอง

- 1) เพื่อให้ระบบการจำลองมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง จึงจำเป็นต้องใช้ผู้มีความรู้ด้านการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง ทางด้านพื้นฐานทางสถิติ และต้องเข้าใจระบบเป็นอย่างดี เพื่อสามารถวิเคราะห์ และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองไปใช้ได้ถูกต้อง
- 2) ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น หากผู้สร้างเป็นผู้สร้างทางเลือกให้ระบบอาจไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุดในการแก้ไขปัญหาของระบบ
- 3) ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น นั้นส่วนใหญ่จะเป็นค่าโดยประมาณ

Discrete Event Simulation (DES) Tools

การจำลองเหตุการณ์ทางคอมพิวเตอร์ของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ต่างๆ เกิดขึ้นของระบบในช่วงเวลาที่ไม่ต่อเนื่องกัน และไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาการใช้โปรแกรมในการจำลองจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานตัวอย่างเช่น

- 1) โปรแกรม Arena ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Arena Simulation ดังรูปที่ 10 ในการวิเคราะห์ปัญหาการจราจรติดขัดของระบบเก็บค่าผ่านทาง โดยการจำลองเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยโครงสร้างโปรแกรม Arena Simulation เป็นโปรแกรมที่มีการจัดเตรียมแบบของรูปภาพสำหรับการสร้างแบบจำลองในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งผู้ใช้โปรแกรม Arena Simulation สามารถเลือกใช้โมดูล (Modules) จากภาษา SIMAN มาใช้ได้รวมทั้งแสดงผลออกมาเป็นภาษา SIMAN ได้อีกด้วย ดังรูปที่ 2.11 [9]



1. **Entity** คือ วัตถุที่ผู้จำลองระบบให้ความสนใจให้เคลื่อนที่ไปในระบบ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานะในระบบ เช่นลูกค้าเข้ามาในร้าน วัตถุดิบเข้ามาในโรงงาน
2. **Attribute** คือ คุณสมบัติประจำตัวของวัตถุ เพื่อเป็นการระบุตัวตนของวัตถุ เช่น สี ชื่อ ส่วนสูง เพศ
3. **Variable** คือ ตัวแปร ซึ่งวัตถุทุกชนิดในระบบสามารถใช้งานร่วมกันได้ เช่น จำนวนสินค้าคงคลัง จำนวนลูกค้าในระบบ จำนวนเครื่องจักรที่กำลังทำงาน หรือจำนวนเครื่องจักรที่กำลังว่างงาน
4. **Resources** คือ ทรัพยากรที่มีการใช้งานร่วมกันกับวัตถุ ซึ่งวัตถุจะเรียกใช้ทรัพยากรนั้นๆ ได้เมื่อทรัพยากรนั้นว่างงาน และเมื่อทำงานเสร็จวัตถุนั้นต้องปล่อยทรัพยากร เพื่อทรัพยากรนั้นสามารถใช้งานร่วมกันกับวัตถุถัดไปภายใต้ความต้องการของระบบ เช่น ตู้ATM หรือเจ้าหน้าที่ให้บริการ
5. **Queues** คือ แถวคอยที่วัตถุในระบบเรียกใช้งาน เมื่อเกิดเหตุการณ์ทรัพยากรไม่ว่างให้บริการ เช่นโต๊ะนั่งรอในร้านตัดผม
6. **Event** คือ เหตุการณ์ต่างๆ ในระบบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบ เช่น การเข้ามา หรือการออกไปของลูกค้า

การสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม Arena Simulation โมดูลต่างๆ ของโครงสร้างพื้นฐานมีดังนี้

- 1) Create Module เป็น Module ที่ใช้สำหรับสร้างวัตถุ (Entity) ที่สนใจเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งสามารถกำหนดช่วงเวลาในการเข้ามาของวัตถุตามต้องการ และสามารถกำหนดรูปแบบการเข้ามาของวัตถุได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสม ดังรูปที่ 2.13



Create

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals

Type: Value: Units:

Entities per Arrival: Max Arrivals: First Creation:

OK Cancel Help

Dispose

Name:

☒ Record Entity Statistics

OK Cancel Help



Process

Name: Process Type: Standard

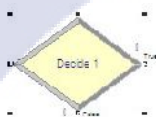
Logic:
Action: Delay

Delay Type: Triangular Units: Hours Allocation: Value/decid

Minimum: .5 Value(Most Likely): 1 Maximum: 1.5

☒ Report Statistics

OK Cancel Help



Decide

Name: Decide 1 Type: 2-way by Chance

Percent True (0-100): 50 %

OK Cancel Help



Batch

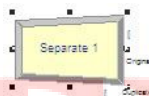
Name: Batch 1 Type: Permanent

Batch Size: 2 Save Criterion: Last

Rule: Any Entity

Representative Entity Type:

OK Cancel Help



Separate

Name: Separate 1 Type: Duplicate Original

Percent Cost to Duplicates (C-100): 50 # of Duplicates: 1

OK Cancel Help



Assign [?] [X]

Name:
Assign 1

Assignments:
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

OK Cancel Help



Record [?] [X]

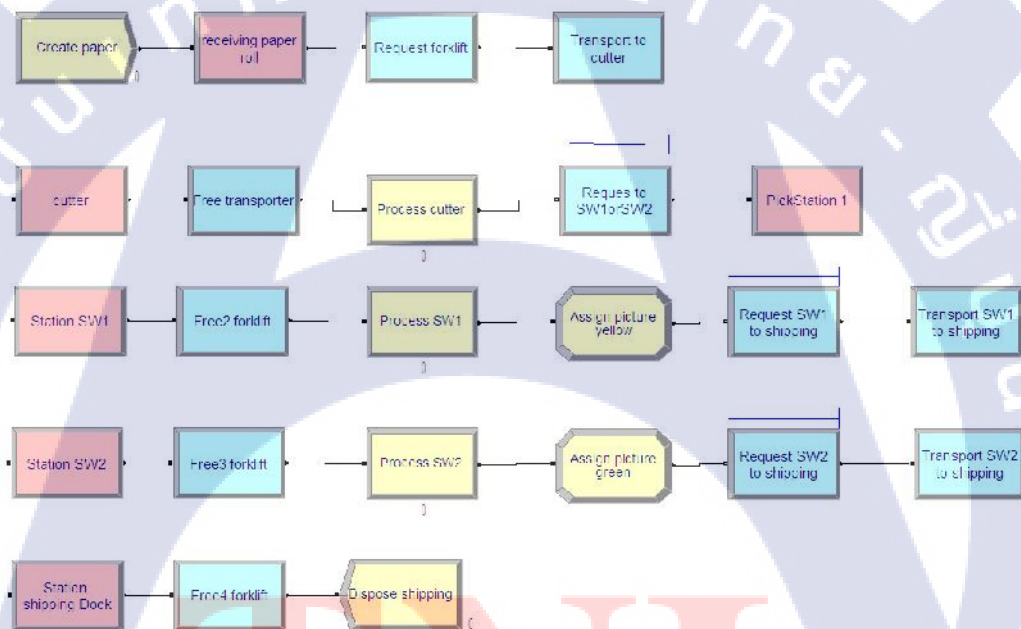
Name: Record 1 Type: Count

Value: 1 ☐ Record into Set

Counter Name: Record 1

OK Cancel Help

Paper Cutting Factory- Guided Transporter



Create [?] [X]

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals

Type: Value: Units:

Entities per Arrival: Max Arrivals: First Creation:

OK Cancel Help

Station [?] [X]

Name: Station Type:

Station Name:

Parent Activity Area: Associated Intersection:

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Request [?] [X]

Name:
Request forklift

Transporter Name:
forklift1

Selection Rule:
Cyclical

Save Attribute:

Priority:
High(1)

Entity Location:
Entity.Station

Velocity:
Per Minute

Units:
Per Minute

Queue Type:
Queue

Queue Name:
Request forklift.Queue

OK Cancel Help

Transporter [?] [X]

Name:
forklift1

Number of Units:
2

Type:
Guided

Network Name:
Paper line Network

Velocity:
350

Units:
Per Minute

Acceleration:
Per Second Squared

Deceleration:
Per Second Squared

Units:
Per Second Squared

Turning Velocity Factor:
1.0

Zone Control Rule:
Start

Initial Position Status:
<End of list>

Add... Edit... Delete...

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Transport [?] [X]

Name:
Transport to cutter

Transporter Name: Unit Number:
forklift1

Entity Destination Type: Station Name:
Station s cutter

Velocity: Units:
Per Minute

Guided Tran Destination Type:
Entity Destination

OK Cancel Help

Station [?] [X]

Name: Station Type:
cutter Station

Station Name:
s cutter

Parent Activity Area: Associated Intersection:
cutting cutter intersection

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Free

Name:
Free transporter

Transporter Name: forklift1 Unit Number:

OK Cancel Help

Process

Bars: Piece out of Standard

Logic:
Action: Set Delay Release Priority: Minimum

Resources:
Resources: out of 1
Click on list

Delay Type: Units: Allocation:
Minimum: Maximum:
/

☒ Regain Statistics

OK Cancel Help

Request [?] [X]

Name:
Reques to SW1orSW2

Transporter Name:
forklift1

Selection Rule:
Cyclical

Save Attribute:

Priority:
High(1)

Entity Location:
Entity.Station

Velocity:
Per Minute

Units:
Per Minute

Queue Type:
Queue

Queue Name:
Reques to SW1orSW2.Qu

OK Cancel Help

PickStation [?] [X]

Name:
PickStation 1

Test Condition:
Minimum

Selection Based On:
☒ Number in Queue
☐ Number of Resources Busy
☐ Number En Route to Station
☐ Expression

Stations:
s SW1, Process SW1 Queue
s SW2, Process SW2 Queue
<End of list>

Add... Edit... Delete

Transfer Type:
Transport

OK Cancel Help

Station

Name: Station SW1 Station Type: Station

Station Name: s SW1

Parent Activity Area: shrink wrapping Associated Intersection: SW1 intersection

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Station

Name: Station SW2 Station Type: Station

Station Name: s SW2

Parent Activity Area: shrink wrapping Associated Intersection: SW2 intersection

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Station

Name: Station shipping Dock Station Type: Station

Station Name: s shipping dock

Parent Activity Area: shipping Associated Intersection: shipping dock intersect

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

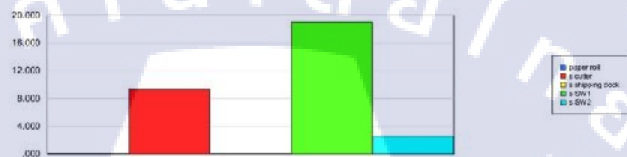
Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Hours

Activity Area (Level 000)

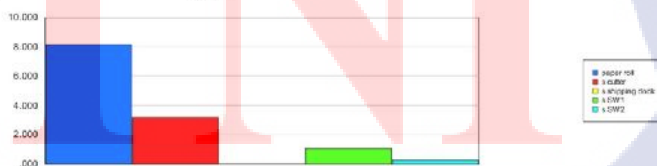
Accumulated Time

Accum VA Time	Value
paper roll	0.00
s cutter	9.3484
s shipping dock	0.00
s SW1	19.0825
s SW2	2.5096



Accum NVA Time	Value
paper roll	0.00
s cutter	0.00
s shipping dock	0.00
s SW1	0.00
s SW2	0.00

Accum Transfer Time	Value
paper roll	8.1619
s cutter	3.1638
s shipping dock	0.00
s SW1	1.0414
s SW2	0.2467



Replications: 1 Time Units: Hours

Activity Area (Level 000)

Accumulated Time

Accum Wait Time

	Value
paper roll	434.00
s cutter	9.6292
s shipping dock	0.00
s SW1	8.4060
s SW2	0.7004



Accum Other Time

	Value
paper roll	0.00
s cutter	0.00
s shipping dock	0.00
s SW1	0.00
s SW2	0.00

Total Accum Time

	Value
paper roll	442.16
s cutter	22.1414
s shipping dock	0.00
s SW1	28.5319
s SW2	3.4567



AnyLogic เป็นซอฟต์แวร์ที่สนับสนุนการสร้างโมเดล Simulation ได้หลายรูปแบบ เช่น System Dynamic, Process Centric (Discrete Event) และ Agent Based จึงทำให้ AnyLogic สามารถตอบโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อนได้ทุกระดับด้วยรูปแบบการสร้างโมเดลแบบกราฟฟิก AnyLogic จึงสามารถสร้างโมเดลได้สะดวก และรวดเร็วทั้งโมเดลอุตสาหกรรม โมเดลโลจิสติกส์ โมเดลกระบวนการทางธุรกิจ โมเดลทรัพยากรบุคคล และโมเดลพฤติกรรมลูกค้า หรือคนไข้ นอกจากนี้ AnyLogic ถูกพัฒนาและเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมได้ด้วยภาษา Java ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมมิ่งที่แพร่หลายมากที่สุดทำให้ง่ายต่อการใช้งานทำให้ AnyLogic สามารถติดตั้ง และทำงานได้บนเกือบทุก Operating System (OS) ซึ่งก็คือ Windows, Mac OS และ Linux อีกทั้ง AnyLogic ยังมี 3D Animation ในตัวโปรแกรม โดยไม่ต้องใช้ 3rdparty โปรแกรม ทำให้การแสดงผลงาน แบบ 3D ทำได้ง่าย และไม่ต้องซื้อโปรแกรมเพิ่ม ซึ่งรวมถึง Optimization Tool ยอดนิยมอย่าง OptQuest ที่รวมเข้ามากับ AnyLogic และ AnyLogic ยังเพิ่มเติมการสร้างโมเดลคนเดินเท้า (Pedestrian Dynamic) และลานรถไฟ (Rail Yard) มาด้วย เพื่อช่วยแก้การโมเดลปัญหาที่ซับซ้อนได้ [11]

โปรแกรม ProModel

ProModel เป็นเทคโนโลยีการจำลองเหตุการณ์ แบบ Discrete-Event Simulation ที่ใช้ในการวางแผนการออกแบบ และการปรับปรุงการผลิตโลจิสติก และระบบการดำเนินงานอื่นๆ ช่วยให้การวิเคราะห์การคาดการณ์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรอบ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญ [12]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแก้ไขปัญหการจราจรติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางสามารถนำระบบ ETC เข้ามาช่วยโดยในระบบเก็บค่าผ่านทาง และพบว่าระบบ ETC มีประสิทธิภาพในการลดการจราจรติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางที่ดีกว่าระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด [1]

การจำลองปริมาณจราจรที่ด่านเก็บค่าผ่านทางสามารถทำได้โดยวิธีการจับภาพจากกล้องที่ตำแหน่งต่างๆ และข้อมูลต่างๆ เช่นปริมาณรถที่ผ่านเข้ามาในด่านเก็บค่าผ่านทาง พฤติกรรมการขับขึ้นความเร็ว และการเร่งความเร็วเพื่อใช้ในการออกแบบระบบเก็บค่าผ่านทาง [2]

แผนกวิจัย และพัฒนาระบบจราจร กองวิจัย และพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ ใช้แบบจำลองมาช่วยในการจัดหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งช่อง ETC เพื่อให้ประสิทธิภาพการจัดการจราจรสูงสุด และสามารถรองรับปริมาณผู้ใช้งานระบบ ETC ได้มากขึ้น [3] นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ของ ระบบ เช่น การขยายช่วงถนน การจัดช่องทางพิเศษ การจำกัดความเร็ว ช่วยแก้ไขปัญหการจราจรติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง [4]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอปัญหาการจราจรที่ด้านเก็บค่าผ่านทาง ของทางด่วนที่ประเทศ ญี่ปุ่นโดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1. การศึกษาเกี่ยวกับ เวลาที่ใช้ในช่องทางแต่ละรูปแบบและ 2. เป็น การออกแบบ โครงสร้างของช่องเก็บค่าผ่านทาง ผลจากการวิจัยพบว่ารูปแบบพื้นที่หน้าช่องเก็บค่า ผ่านทางอัตโนมัติควรจะมีขนาดที่ใหญ่เพื่อให้รองรับปริมาณรถได้มากขึ้น และลดเวลาในการเก็บค่า ผ่านทาง [6]

การจำลองระบบแถวคอยของช่องเก็บค่าผ่านทางในเมือง Bangalore ประเทศอินเดีย มี การแบ่งประเภทรถเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1. รถยนต์ขนาดเล็ก 2. รถบรรทุกขนาดเล็ก 3. รถบรรทุก ขนาดใหญ่ และรถบัส 4. รถที่มีจำนวนเพลหลายเพล ซึ่งการจำลองระบบพบว่าการเข้ามาของรถ ขนาดเล็กมีปริมาณมากทำให้เกิดแถวคอย และเวลาในการรอคอยนานกว่ารถประเภทที่มีขนาดใหญ่ และประเภทหลายเพล แต่ใช้เวลาในการให้บริการน้อยกว่ารถประเภทอื่นๆ [7]

การจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องของร้านอาหาร McDonalds และ POSB ของธนาคาร โดยกำหนดเวลาระหว่างการเข้าใช้บริการของลูกค้า และเวลาในการให้บริการที่แตกต่างกัน ผลการ จำลองพบว่า การจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องของระบบแถวคอยแบบหนึ่งช่องทางมีผลการ ทำงานที่ดีกว่าระบบแถวคอยแบบหลายช่องทาง โดยค่าความน่าจะเป็นในการรอคอยมีค่าลดลงทั้งใน ร้านอาหาร McDonalds และ POSB ของธนาคาร [8]

การจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง แบบหนึ่งแถวคอย และหลายแถวคอยของด้านเก็บ ค่าผ่านทางเป็นการจำลองช่องเก็บค่าผ่านทาง อัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด ของด้านเก็บค่าผ่านทาง โดยการจำลองจะทำการประเมินผลการดำเนินงานของระบบเปรียบเทียบกับ ข้อมูลปริมาณการจราจรจริงของด้านเก็บค่าผ่านทางประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ 1) การสร้างรูปแบบ การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single Channel Queue) ของด้านเก็บค่าผ่านทาง 2) การสร้าง รูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi Channels Queue) ของด้านเก็บค่าผ่านทาง เพื่อ แก้ไขปัญหาการจราจรติดขัด และการสะสมของปริมาณรถที่หน้าด้านเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งผลการวิจัย พบว่า รูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอยโดยที่จำนวนแถวคอยเท่ากับกับช่องเก็บค่าผ่านทางมี แนวโน้มที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของช่องเก็บค่าผ่านทางของทางด่วน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพียงด้าน เดียว และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อนำไปปรับใช้ได้กับด้านอื่นที่มีปริมาณรถ และลักษณะการเข้ามา ของรถยนต์ที่แตกต่างกัน [12]

ในการจำลองเหตุการณ์ แบบหนึ่งแถวคอย และหลายแถวคอยของด้านเก็บค่าผ่านเป็นการ จำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งโปรแกรม Arena เป็นโปรแกรม Simulation ที่สามารถทำการ จำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง และสามารถกำหนดค่าต่างๆ ในการจำลองที่สะดวก และมีการ รายงานผลได้ทั้งรูปแบบ ตัวเลข และรูปแบบของกราฟ จึงเหมาะสำหรับใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสดของด่านเก็บค่าผ่านทาง การจำลองประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ 1. การสร้างรูปแบบการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และ 2. การสร้างรูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด่านเก็บค่าผ่านทางด้วยโปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรจริงของด่านเก็บค่าผ่านทาง และพัฒนา User Interface สำหรับเครื่องมือให้ความช่วยเหลือในการจำลองช่องเก็บค่าผ่านทาง สำหรับผู้ใช้งานที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสร้างแบบจำลอง โดยมีระเบียบวิธีวิจัยดังนี้

- 3.1 การศึกษาข้อมูลการจำลองระบบ
- 3.2 การออกแบบการจำลองระบบ
- 3.3 การทดลองการจำลองระบบ
- 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.5 การสร้างฟอร์มใช้งานเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น

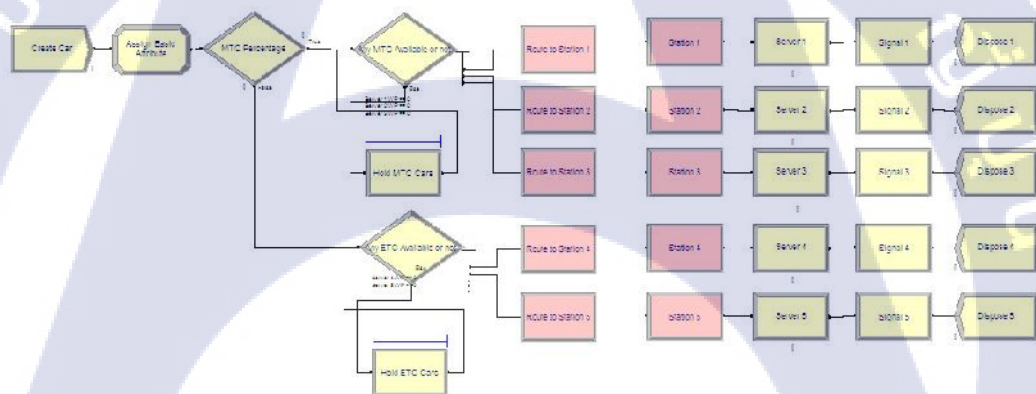
3.1 การศึกษาข้อมูลการจำลองระบบ

การออกแบบ และพัฒนาการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง แบบหนึ่งแถวคอย และหลายแถวคอยของด่านเก็บค่าผ่านทาง นั้นได้มีการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจาก รายงานข้อมูลปริมาณจราจรจากการทางพิเศษฯ เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หนังสือคู่มือการใช้งาน Software นำมาวิเคราะห์ และออกแบบการจำลองระบบ

3.2 การออกแบบการจำลองระบบ

ในการวิจัยครั้งนี้จะมีการจำลองระบบ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- 1) การจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด (MTC) และช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass or ETC) ของด่านเก็บค่าผ่านทางแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และ แบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue)
- 2) การกำหนดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) ที่ตำแหน่งต่างๆ



TNI

Create

Name: Lane1 Entity Type: Entity 1

Time Between Arrivals

Type: Expression Expression: $2.5 + \text{LOGN}(11.8)$ Units: Seconds

Entities per Arrival: 1 Max Arrivals: Infinite First Creation: 0.0

OK Cancel Help

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Assign

Name: Assign Basic Attribute

Assignments:

Attribute, att Type, DISC(0.75, 1, 1.0, 2)
<End of list>

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

Decide

Name: Decide 1 Type: 2-way by Condition

If: Attribute Named: att_Type Is: ==

Value: 1

OK Cancel Help

Decide

Name: Any MTC Available or not Type: N-way by Condition

Conditions:

- Expression, Server 1.WIP == 0
- Expression, Server 2.WIP == 0
- Expression, Server 3.WIP == 0
- <End of list>

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

Hold

Name: Hold MTC Cars Type: Wait for Signal

Wait for Value: 1 Limit: 1

Queue Type: Queue

Queue Name: Hold MTC Cars.Queue

OK Cancel Help

Route [?] [X]

Name:
Route to Station 1

Route Time: 0 Units: Seconds

Destination Type: Station Station Name: Station 1

OK Cancel Help

Station [?] [X]

Name: MTC Lane Station Type: Station

Station Name: MTC Lane

Parent Activity Area: Associated Intersection:

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

File Edit View Help ? X

Name: Server1 Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource 1: normal 1, 1	Add..
<End of list>	Edit..
	Delete

Delay Type: Triangular Units: Seconds Allocation: Value Added

Minimum	Value (Most Likely)	Maximum
5	3	10

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

TNI

Process

Name: Server 4 Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource Lines: exprcs.1.1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type Units: Allocation

Constant Seconds Value Added

Value

0

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Signal

Name: Signal 1

Signal Value: 1 Limit:

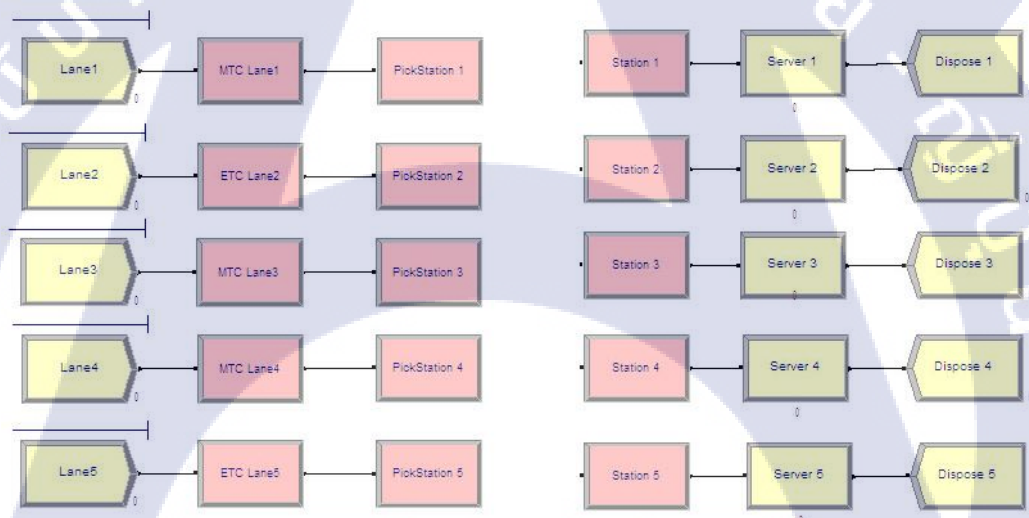
OK Cancel Help

Dispose

Name:
Dispose 1

☒ Record Entity Statistics

OK Cancel Help



Station [?] [X]

Name: MTC Lane1 Station Type: Station

Station Name: MTC Lane1

Parent Activity Area: Associated Intersection:

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

PickStation [?] [X]

Name: PckStation1 Test Condition: Minimum

Select on Based On:
☒ Number in Queue ☒ Number of Resources Busy
☐ Number En Route to Station ☐ Expression

Stations:
Station 1, Server 1, Queue, Resource 1
<End of list>

Transfer Type: Route

Route Time: 0.0 Unit: Seconds

OK Cancel Help

PickStation

Name: PickStation 2 Test Condition: Minimum

Selection Based On:

- ☒ Number in Queue
- ☒ Number of Resources Busy
- ☐ Number En Route to Station
- ☐ Expression

Stations:

- Station 2, Server 2 Queue, Resource 2
- <End of list>

Transfer Type: Route

Route Time: 0.0 Units: Seconds

OK Cancel Help

PickStation

Name: PickStation 2 Test Condition: Minimum

Selection Based On:

- ☒ Number in Queue
- ☒ Number of Resources Busy
- ☐ Number En Route to Station
- ☐ Expression

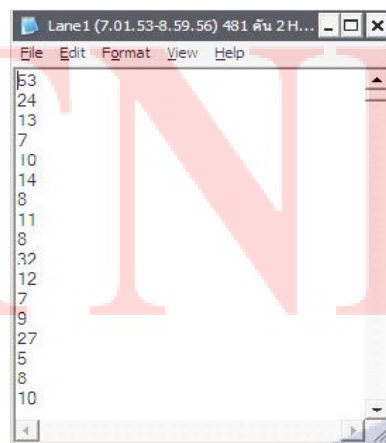
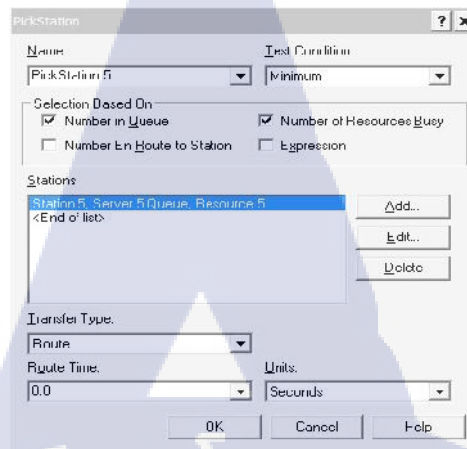
Stations:

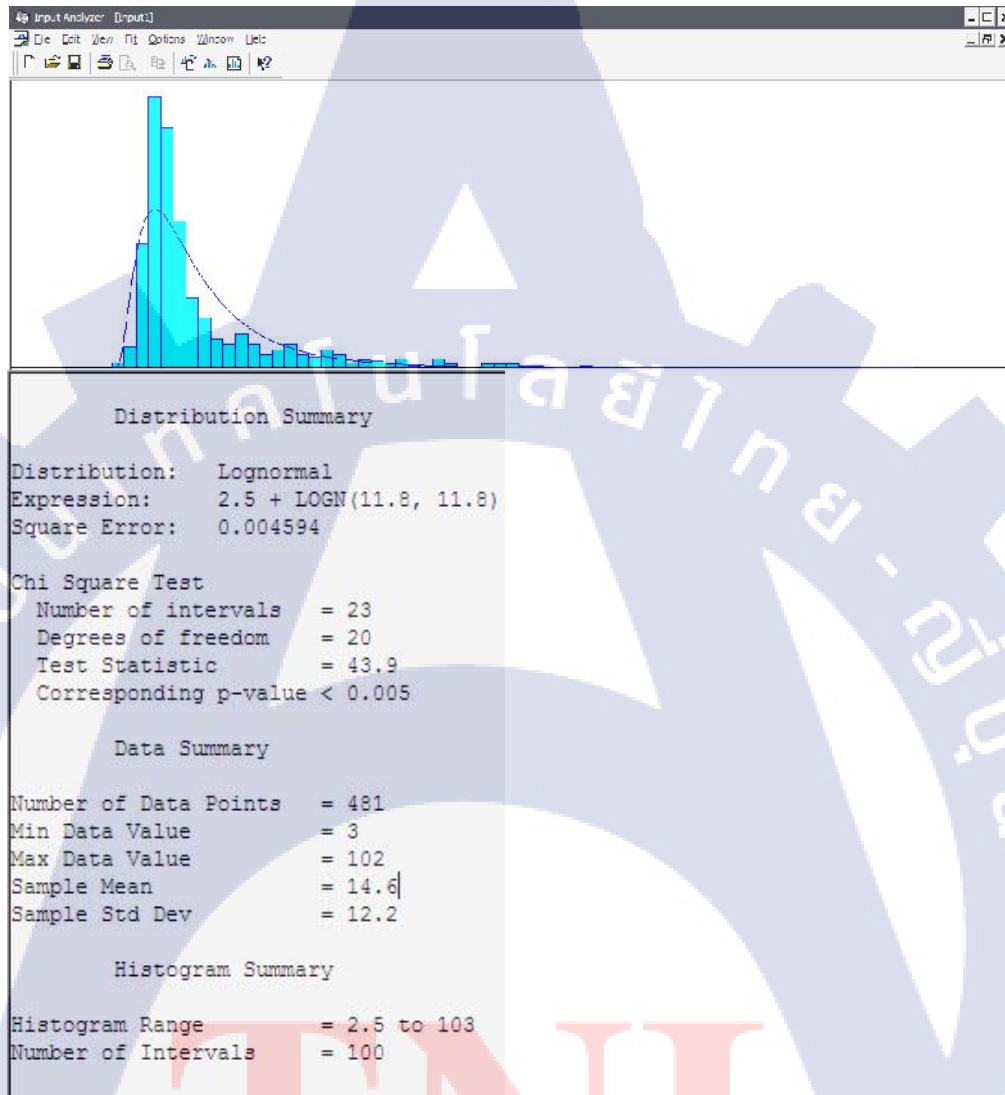
- Station 3, Server 3 Queue, Resource 3
- Station 4, Server 4 Queue, Resource 4
- <End of list>

Transfer Type: Route

Route Time: 0.0 Units: Seconds

OK Cancel Help





Create - Basic Process				
	Name	Entity Type	Type	Expression
1 ▶	Lane1	Entity 1	Expression	$2.5 + \text{LOGN}(11.8, 11.8)$
2	Lane2	Entity 2	Expression	$0.5 + \text{LOGN}(7.29, 5.84)$
3	Lane4	Entity 4	Expression	$0.5 + \text{LOGN}(12.8, 10.3)$
4	Lane3	Entity 3	Expression	$0.5 + \text{LOGN}(12.8, 10.3)$
5	Lane5	Entity 5	Expression	$-19 + \text{GAMM}(7.78, 4.46)$

Time Between Arrival Type

☒ Schedule ☐ Distributor

Start Time: 11/10/2020

End Time: 11/10/2020

Clear All

Expression: [] Sec

Apply

Server

Process Time Type

Process Time MTC Lane (Sec)

Min: [] Max: []

Process Time ETC Lane (Sec)

2

Apply Process

สํานักงานเทคโนโลยีสารสนเทศ

Run the mode

Queue

Time Between Arrive Type

☒ Schedule ☐ Distribution

☐ Lane1 ☐ Lane2 ☐ Lane3 ☐ Lane4 ☐ Lane5

Clear All

01-01	12-13
01-02	13-14
02-03	14-15
02-04	15-16
01-05	16-17
05-06	17-18
05-07	18-19
07-08	19-20
08-09	20-21
09-10	21-22
10-11	22-23
11-12	23-24

Apply

Distribution

Lane1: Lot

Lane2: Sec

Lane3: Sec

Lane4: Sec

Lane5: Lot

Apply

Server

Process Delay Type

Process Time (Min) (Sec) (msec)

Min: Most Likely: Max:

Process Time 1 (Min) (Sec) (msec)

Apply Process

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัญหาการจราจรติดขัด และการสะสมของปริมาณจราจรที่หน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง และศึกษาเทคนิคในการสร้างแบบจำลองของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) โดยการจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass or ETC) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด (MTC) ของด่านเก็บค่าผ่านทางในรูปแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) และปรับปรุงประสิทธิภาพของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด ด้วยการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสดให้เหมาะสม

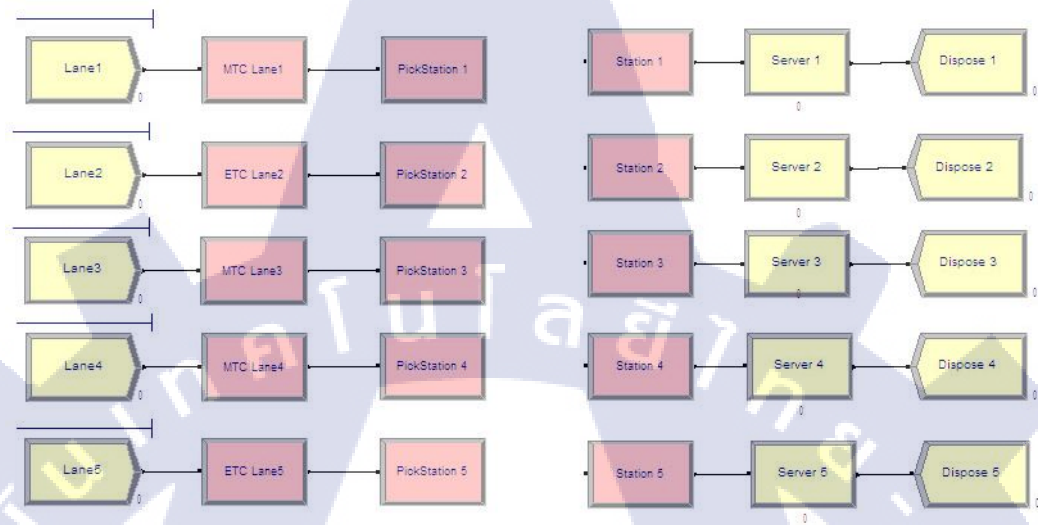
งานวิจัยนี้เริ่มจากการสร้างรูปแบบจำลอง และทำการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบจำลอง โดยการใช้ข้อมูลจริงจากด่านเก็บค่าผ่านทาง สาธูประดิษฐ์ 1 มาใช้ใน Module Create โดยกำหนดเป็นแบบ Schedule ซึ่งผลการจำลองได้ผลถูกต้องตามข้อมูลจริงที่นำมาใช้งานจากนั้น จึงทำการทดลอง โดยนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Input Analyzer เพื่อให้ได้ การกระจายตัวของรถยนต์มาใช้ในการจำลอง

4.1 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด และช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติของด่านเก็บค่าผ่านทาง แบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) และแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue)

1. การจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด และช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) ของด่านเก็บค่าผ่านทางแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) โดยการจำลองจะใช้ข้อมูลปริมาณรถยนต์จริงของด่านเก็บค่าผ่านทางในช่วงเวลาเร่งด่วน 2 ชั่วโมงในช่วงเช้า และ 2 ชั่วโมงในช่วงเย็น คือช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 8.59 น. และ 17.00 น. ถึง 18.59 น. โดยแบ่งการจำลองออกเป็น 4 รูปแบบ รูปแบบที่ 1, 2 และ 3 เป็นรูปแบบที่มีการสลับตำแหน่งของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ จากที่ใช้งานในปัจจุบัน ส่วนรูปแบบที่ 4 เป็นรูปแบบที่ทำการจำลองขึ้นเพื่อใช้งานสำหรับการสร้างด่านเก็บค่าผ่านทางใหม่ในอนาคต

1.1 การจำลองระบบเก็บค่าผ่านทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ประกอบด้วยช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสดจำนวน 3 ช่องทาง และช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) จำนวน 2 ช่องทาง ซึ่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) จะอยู่ในช่องทางที่ 2 และ 5 ในการจำลองจะกำหนดให้มี



TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ตารางที่ 4.1 VA Time Per Entity (Sec)

VA Time Per Entity (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
Server 1	7.6688	7.5865	7.6905
Server 2	5.0000	5.0000	5.0000
Server 3	7.6777	7.6460	7.6143
Server 4	7.6373	7.7043	7.7049
Server 5	5.0000	5.0000	5.0000

1.1.2 Wait Time (Sec) ช่วงเวลา 7.00-8.59 am เป็นเวลาที่รถยนต์แต่ละคันรอคอยในกระบวนการจัดเก็บค่าผ่านทางในแต่ละช่องให้บริการ (Server) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 Wait Time (Sec)

Wait Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
Server 1.Queue	1.6981	0.8940	1.0593
Server 2.Queue	1.8031	1.9723	1.3993
Server 3.Queue	0.7204	1.5276	1.3229
Server 4.Queue	0.0774	0.3255	0.3665
Server 5.Queue	1.0756	1.1404	0.8837

1.1.3 Total Time Per Entity (Sec) ช่วงเวลา 7.00-8.59 am เป็นเวลาทั้งหมดที่รถยนต์แต่ละคันใช้ในกระบวนการจัดเก็บค่าผ่านทางในแต่ละช่องให้บริการ (Server) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 Total Time Per Entity (Sec)

Total Time Per Entity (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
Server 1	9.3669	8.4821	8.7494
Server 2	6.8031	6.9744	6.3993
Server 3	8.3987	9.1757	8.9392
Server 4	7.7150	8.0304	8.0714
Server 5	6.0769	6.1404	5.8803

จากผลการจำลองสามารถสรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชี้วัดในแต่ละวัน ช่วงเวลา 7.00-8.59 am ของการจำลองรูปแบบที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปเวลาเฉลี่ยตัวชี้วัดในแต่ละวัน ช่วงเวลา 7.00-8.59 am รูปแบบที่ 1

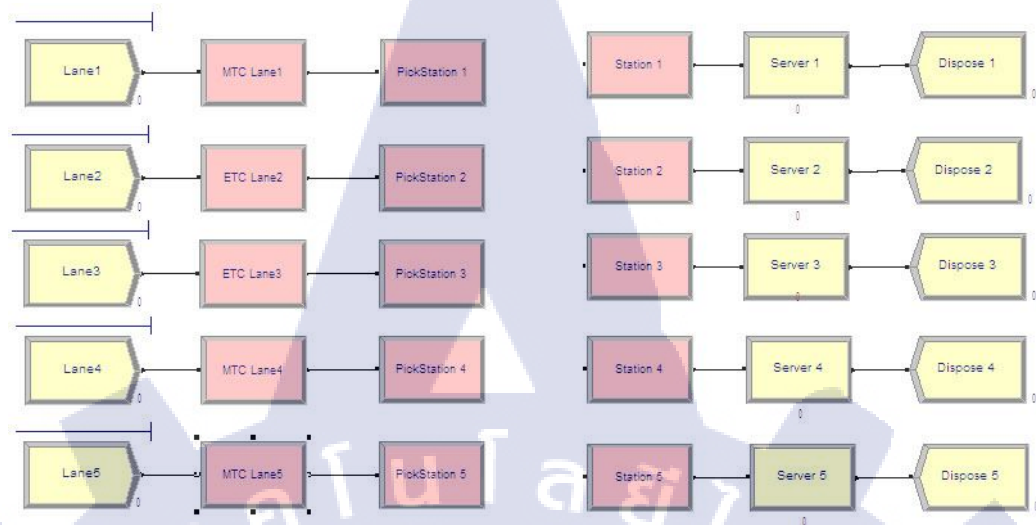
Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.5967	6.5873	6.6019
Total Time Per Entity	7.6721	7.7606	7.6079
Wait Time	1.0749	1.1719	1.0063

จากผลการจำลองสามารถสรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชี้วัดในแต่ละวัน ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm ของการจำลองรูปแบบที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชี้วัดในแต่ละวัน ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm รูปแบบที่ 1

Total Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.5883	6.6159	6.6200
Total Time Per Entity	6.9028	7.3325	6.9508
Wait Time	0.3152	0.7159	0.3304

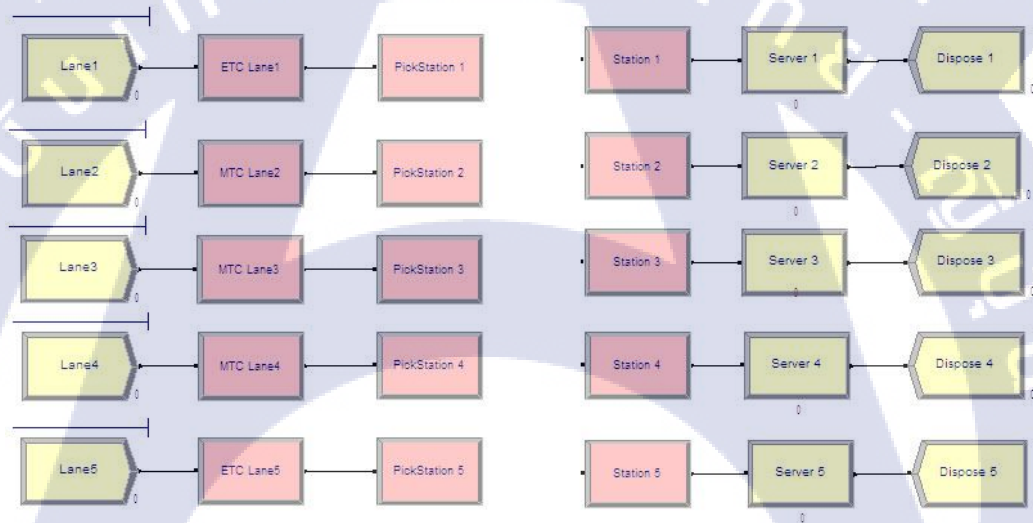
1.2 การจำลองระบบเก็บค่าผ่านทางที่มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) จำนวน 2 ช่องทางติดกัน โดยกำหนดให้อยู่ในช่องทางที่ 2 และ 3 โดยมีรูปแบบการจำลองดังตัวอย่างรูปที่ 4.2



Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.5942	6.5899	6.5933
Total Time Per Entity	7.2328	7.3729	7.2338
Wait Time	0.6383	0.7823	0.6413

TNI

Total Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.5962	6.5730	6.5937
Total Time Per Entity	6.7853	6.9932	6.8517
Wait Time	0.1904	0.4201	0.2579

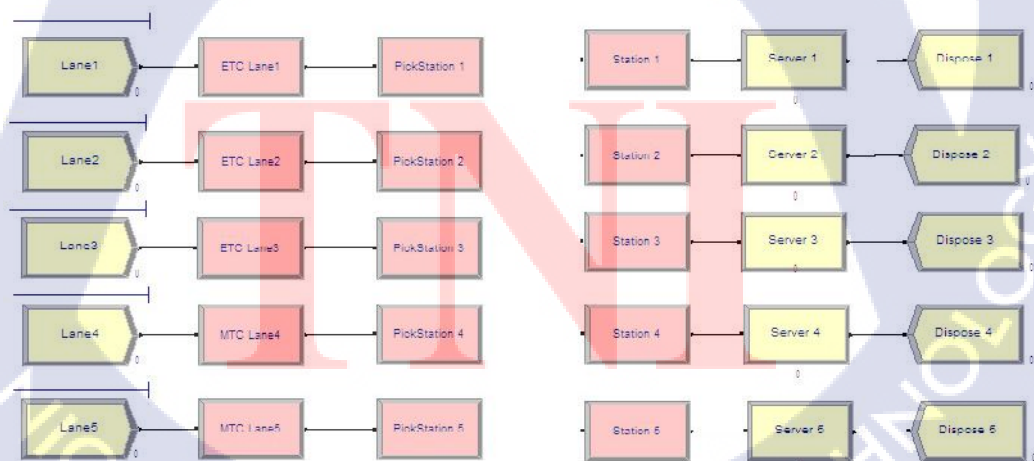


TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.5941	6.5970	6.5931
Total Time Per Entity	7.4355	7.6090	7.4451
Wait Time	0.8409	1.0123	0.8530

Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.6042	6.6213	6.5922
Total Time Per Entity	6.8523	7.2104	6.7861
Wait Time	0.2479	0.5889	0.1937



จากผลการจำลองสามารถสรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชี้วัดในแต่ละวัน ช่วงเวลา 7.00-8.59 am ของการจำลองรูปแบบที่ 4 ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชี้วัดในแต่ละวัน ช่วงเวลา 7.00-8.59 am รูปแบบที่ 4

Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.0556	6.0681	6.0712
Time Per Entity (Sec)	6.4883	6.7638	6.5619
Wait Time	0.4330	0.6971	0.4922

จากผลการจำลองสามารถสรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชี้วัดในแต่ละวัน ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm ของการจำลองรูปแบบที่ 4 ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สรุปเวลาเฉลี่ยของตัวชี้วัดในแต่ละวัน ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm รูปแบบที่ 4

Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.0605	6.0683	6.0673
Total Time Per Entity	6.1775	6.3649	6.1848
Wait Time	0.1169	0.2975	0.1174

การจำลองทั้ง 4 รูปแบบสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละรูปแบบ โดยการเปรียบเทียบจากค่าของตัวชี้วัด VA Time Per Entity, Wait Time และ Total Time Per Entity ในแต่ละวันที่ทำการวิจัยได้ดังนี้ Best Scenario = B, Moderate Scenario = M, Worst Scenario = W ดังตัวอย่างเช่น รูปแบบที่ 1 (Conf.1) โดยมีค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่าง รูปแบบที่ 1 (Conf.1)

Time (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
VA Time Per Entity (Sec)	6.5967	6.5873	6.6019
Total Time Per Entity	7.6721	7.7606	7.6079
Wait Time	1.0749	1.1719	1.0063

การกำหนดตัวอักษร B, M หรือ W นั้นจะพิจารณาจากค่าทั้ง 3 วัน ซึ่งในวัน Friday มีค่าต่ำที่สุด 2 ค่า คือ Total Time Per Entity = 7.6079 และ Wait Time = 1.0063 เมื่อเปรียบเทียบกับวัน Monday และวัน Wednesday จึงได้ B ในวัน Wednesday มีค่าต่ำที่สุด 1 ค่า คือ VA Time Per Entity = 6.5873 จึงได้ W และในวัน Monday มีค่า Total Time Per Entity และ Wait Time ที่ต่ำกว่าวัน Wednesday แต่มากกว่าวัน Friday จึงได้ M

จากการวิจัยทั้ง 4 รูปแบบพบว่ารูปแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในการวิจัยนี้เพื่อที่จะคำนวณ Total Efficiency ระหว่างรูปแบบที่ 1 ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับรูปแบบที่ดีที่สุด คือรูปแบบที่ 2 โดยเปรียบเทียบในวันเดียวกัน ซึ่งจะเลือกจากประสิทธิภาพที่ดีที่สุด B ของ Configuration ที่ 1 มาเปรียบเทียบกับ M ของ Configuration ที่ 2 ในวัน Friday ถึงแม้ว่าจะใช้ค่า M ของ Configuration ที่ 2 แต่ค่า M ในวัน Friday มีค่ามากกว่า B ของ Configuration ที่ 1 และจากผลการจำลองค่าของ Best Scenario = B ในแต่ละ Configuration ก็มีค่าที่แตกต่างกัน โดย B^{++} จะมีค่าดีที่สุด (หมายถึงค่าที่น้อยที่สุด) ถัดมาเป็น B^+ และ B ตามลำดับ ในช่วงเวลา 7.00-8.59 AM ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบ ช่วงเวลา 7.00-8.59 AM

Configuration	Monday	Wednesday	Friday
Conf.1	M	W	B
Conf.2	B^+	W	M
Conf.3	B	W	M
Conf.4	B^{++}	W	M

สำหรับการคำนวณ Total Efficiency ในช่วงเวลา 17.00-18.59 PM จะเลือกจากประสิทธิภาพที่ดีที่สุด B ของ Configuration ที่ 1 มาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ดีที่สุด B^+ ของ Configuration ที่ 2 ในวัน Monday มาเปรียบเทียบกับกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบ ช่วงเวลา 17.00-18.59 PM

Configuration	Monday	Wednesday	Friday
Conf.1	B	W	M
Conf.2	B ⁺	W	M
Conf.3	M	W	B
Conf.4	B ⁺⁺	W	M

จากผลการทดลองพบว่า การจำลองระบบรูปแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในรูปแบบที่ 1 และ 3 ซึ่งสามารถวัดประสิทธิภาพรูปแบบการจำลองที่ 2 เปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 1 ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้ดังนี้

Total Efficiency = AVERAGE (Eff of VA Time Per Entity + Eff of Wait Time + Eff of Total Time Per Entity)

เวลา 7.00-8.59 AM

$$\begin{aligned}
 \text{Efficiency of VA Time Per Entity} &= \frac{\text{VA Time of Conf1} - \text{VA Time of Conf2}}{\text{VA Time of Conf1}} \times 100 \\
 &= \frac{6.60 - 6.59}{6.60} \times 100 \\
 &= 0.15\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efficiency of Wait Time Per Entity} &= \frac{\text{Wait Time of Conf1} - \text{Wait Time of Conf2}}{\text{Wait Time of Conf1}} \times 100 \\
 &= \frac{1.00 - 0.64}{1.00} \times 100 \\
 &= 36\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efficiency of Total Time Per Entity} &= \frac{\text{Total Time of Conf1} - \text{Total Time of Conf2}}{\text{Total Time of Conf1}} \times 100 \\
 &= \frac{7.60 - 7.23}{7.60} \times 100 \\
 &= 4.8\%
 \end{aligned}$$

Total Efficiency

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(\text{EFF of VA Time Per Entity} + \text{EFF of Wait Time Per Entity} + \text{EFF of Total Time Per Entity})}{3} \\
 &= \frac{(0.18 + 4.8 + 36)}{3} \\
 &= 13.35\%
 \end{aligned}$$

เวลา 17.00-18.59 PM

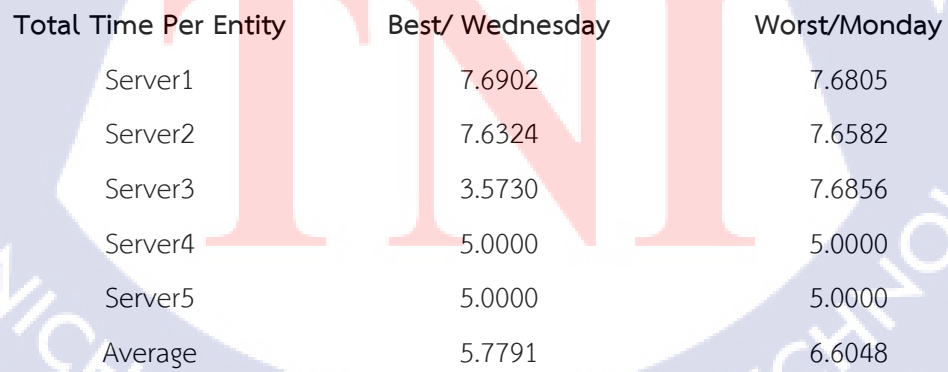
$$\begin{aligned}
 \text{Efficiency of VA Time Per Entity} &= \frac{\text{VA Time of Conf1} - \text{VA Time of Conf2}}{\text{VA Time of Conf1}} \times 100 \\
 &= \frac{6.58 - 6.59}{6.58} \times 100 \\
 &= -0.15\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efficiency of Wait Time Per Entity} &= \frac{\text{Wait Time of Conf1} - \text{Wait Time of Conf2}}{\text{Wait Time of Conf1}} \times 100 \\
 &= \frac{0.31 - 0.19}{0.31} \times 100 \\
 &= 38\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efficiency of Total Time Per Entity} &= \frac{\text{Total Time of Conf1} - \text{Total Time of Conf2}}{\text{Total Time of Conf1}} \times 100 \\
 &= \frac{6.90 - 6.78}{6.90} \times 100 \\
 &= 1.7\%
 \end{aligned}$$

Total Efficiency

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(\text{EFF of VA Time Per Entity} + \text{EFF of Wait Time Per Entity} + \text{EFF of Total Time Per Entity})}{3} \\
 &= \frac{(-0.15 + 3.8 + 1.7)}{3} \\
 &= 13.18\%
 \end{aligned}$$



ในการจำลองจะทำการเปรียบเทียบวันที่ดีที่สุดในการจำลอง และวันที่แย่ที่สุดในการจำลอง จากผลการจำลองได้แก่วัน ศุกร์ และวันพุธ โดยใช้ค่าของ Total Time Per Entity เป็นตัวชี้วัดในช่วงเวลา 17.00-18.59 pm ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบวันที่ดีที่สุดในการจำลอง และวันที่แย่ที่สุดในการจำลองในช่วงเวลา 17.00-18.59 pm

Total Time Per Entity	Best/ Wednesday	Worst/Monday
Server1	7.7794	7.6423
Server2	7.9035	7.5863
Server3	4.1125	7.6281
Server4	5.0000	5.0000
Server5	2.5000	5.0000
Average	5.4590	6.57134

ในการจำลองสามารถสรุปประสิทธิภาพวันที่ดีที่สุดในการจำลอง และวันที่แย่ที่สุดในการจำลองในช่วงเวลา 7.00-8.59 am และ 17.00-18.59 pm ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สรุปประสิทธิภาพ ช่วงเวลา 7.00-8.59 am และ 17.00-18.59 pm

Configuration	Monday	Wednesday	Friday
7.00-8.59 am	W	B	N/A
17.00-18.59 pm	N/A	W	B

การเปรียบเทียบผลการจำลอง แบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด้านเก็บค่าผ่านทาง ช่วงเวลา 7.00-8.59 am รูปแบบการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) มีประสิทธิภาพที่ดีกว่ารูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่าง การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด้านเก็บค่าผ่านทาง ช่วงเวลา 7.00-8.59 am

Total Time Per Entity (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
(Multi-Channels Queue)	7.6721	7.7606	7.6079
(Single-Channel Queue)	6.6048	5.7791	5.7823

ช่วงเวลา 17.00-18.59 pm รูปแบบการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่าง การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด้านเก็บค่าผ่านทาง ช่วงเวลา 7.00-8.59 am

Total Time Per Entity (Sec)	Monday	Wednesday	Friday
(Multi-Channels Queue)	6.9028	7.3325	6.9508
(Single-Channel Queue)	5.8344	6.5713	5.4590

TNI

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด และช่องเก็บค่าผ่านทาง อัตโนมัติ (Easy Pass) ของด่านเก็บค่าผ่านทาง การจำลองประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ 1. การสร้างรูปแบบการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และ 2. การสร้างรูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด่านเก็บค่าผ่านทางด้วยโปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรจริงของด่านเก็บค่าผ่านทาง เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (EasyPass or ETC) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด (MTC) ด้วยการจัดตำแหน่งของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด ให้เหมาะสม ซึ่งในการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) จะมีการกำหนดค่าตัวแปรในโมดูลหลักได้แก่ โมดูล Create มีการกำหนดค่าของ Time Between Arrivals ในส่วนของ Type, Expression ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล, หน่วยของเวลา และ Entity per Arrivals โมดูล Assign เป็นการกำหนดค่าของ Assignment แยกประเภทรถยนต์ออกเป็น 2 ประเภทตามปริมาณรถยนต์ โดยกำหนดให้ 75% เป็น (MTC) และ 25% เป็น (ETC) โดยอ้างอิงจากข้อมูลปริมาณรถยนต์ทั้งหมดที่ใช้ในการวิจัย โมดูล Decide มีการกำหนดค่าของ Type ว่ามีเงื่อนไขเป็น 2-way by Condition โมดูล PickStation เป็นโมดูลที่ใช้ในการกำหนดการเข้าใช้ช่องบริการในการจำลอง โมดูล Process เป็นโมดูลที่ใช้กำหนดประเภทของช่องเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด หรือช่องเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ(ETC) ทั้งการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) โดยการกำหนดประเภทของ Delay Type, ค่าเวลา, หน่วยของเวลา, Resource และประเภทของ Action

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

รูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ในการวิจัยมี 4 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 2 ช่องทาง อยู่ในช่องทางที่ 2 และ 5 รูปแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 2 ช่องทางติดกันอยู่ในช่องทางที่ 2 และ 3 รูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบที่มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 2 ช่องทางอยู่ที่ขอบของรูปแบบจำลอง อยู่ในช่องทางที่ 1 และ 5 และรูปแบบที่ 4 เป็นรูปแบบของระบบเก็บค่าผ่านทางที่พัฒนาขึ้นสำหรับกรณีสร้างด่านเก็บค่าผ่านทางใหม่มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 3 ช่องทางติดกันอยู่ในช่องทางที่ 1, 2 และ 3 ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รูปแบบการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) ที่ใช้ในการจำลองทั้ง 4 รูปแบบ

รูปแบบการจำลอง	ช่องทางที่ 1	ช่องทางที่ 2	ช่องทางที่ 3	ช่องทางที่ 4	ช่องทางที่ 5
รูปแบบที่ 1		ETC			ETC
รูปแบบที่ 2		ETC	ETC		
รูปแบบที่ 3	ETC				ETC
รูปแบบที่ 4	ETC	ETC	ETC		

การเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่าง Configuration ในรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 นั้น เมื่อนำผลการจำลองค่า Total Time Per Entity (Sec) ทั้ง 3 วันมาเปรียบเทียบกันส่วนใหญ่ในรูปแบบที่ 2 จะใช้เวลาอยู่ในระบบจำลองน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่าการจำลองรูปแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนรูปแบบที่ 4 จะใช้เวลาที่อยู่ในระบบจำลองน้อยกว่าในรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) อยู่ติดกันจำนวน 3 ช่องทาง และเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นรูปแบบในการสร้างด่านเก็บค่าผ่านทางใหม่ เพื่อให้เกิดความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากผลการทดลองสามารถวัดประสิทธิภาพรูปแบบที่ 2 เปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 1 ซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบันพบว่า รูปแบบที่ 2 ช่วงเวลา 7.00-8.59 AM มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 13.65% และช่วงเวลา 17.00-18.59 PM มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 13.18%

การเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่าง การจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ของด่านเก็บค่าผ่านทางพบว่าในช่วงเวลา 7.00-8.59 am และในช่วงเวลา 17.00-18.59 pm รูปแบบการจำลองแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) มีประสิทธิภาพที่ดีกว่ารูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ทั้ง 2 ช่วงเวลา

จากการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัย เพื่อศึกษาปัญหาจราจรติดขัด และการสะสมของปริมาณจราจรที่หน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง เพื่อศึกษาเทคนิคในการสร้างแบบจำลองของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) เพื่อจำลองช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสดของด่านเก็บค่าผ่านทางในรูปแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) และแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางด้วยการจัดตำแหน่งของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) และช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสดให้เหมาะสม โดยการใช้การจำลอง

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าข้อมูลที่ใช้ในการจำลองช่วงเวลาที่ยรถยนต์เข้ามาทางกัน (Time Between Arrivals) ของแต่ละช่องทางมีความแตกต่างกันทั้งในช่วงเวลา 7.00-8.59 am และในช่วง

เวลา 17.00-18.59 pm ซึ่งส่งผลต่อรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลที่นำมาใช้ในการจำลอง ผู้วิจัยคิดว่าในการเพิ่มประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางจำเป็นต้องใช้วิธีการจัดตำแหน่งของช่องเก็บค่าผ่านทางให้เหมาะสมพร้อมทั้งการกำหนดการเข้าช่องบริการให้มีความเหมาะสมสอดคล้องกับปริมาณรถยนต์ที่เข้ามาในแต่ละช่องทาง

5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่ารูปแบบของตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) ที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันจะมีผลดีต่อประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าผ่านทาง และจำนวนของช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) หากมีจำนวนมาก และอยู่ในตำแหน่งที่ติดกัน ก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ผู้วิจัยขอเสนอให้มีการวิจัยเพิ่มเติมในส่วนของการออกแบบการจำลองระหว่างด่านเก็บค่าผ่านทางแรกถึงด่านเก็บค่าผ่านทางถัดไป จากนั้นก็ทำการจำลองตลอดเส้นทางของทางด่วน และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำรูปแบบช่องเก็บค่าผ่านทางแบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) มาใช้งาน

5.4 อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของการกำหนดรูปแบบของช่องเก็บค่าผ่านทางเงินสด, ช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) และรูปแบบของแถวคอย ได้แก่ งานวิจัยจากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ในการแก้ไขปัญหาจราจรติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางโดยการนำระบบ ETC เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาจราจรติดขัด พบว่าระบบ ETC มีประสิทธิภาพในการลดการติดขัดหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางที่ดีกว่าระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด และการใช้แบบจำลองมาช่วยในการจัดหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) เพื่อให้ประสิทธิภาพการจราจรเพิ่มขึ้น และสามารถรองรับปริมาณผู้ใช้งานระบบ ETC ได้มากขึ้น งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องของร้านอาหาร McDonalds และ POSB ของธนาคาร โดยกำหนดเวลาระหว่างการเข้าใช้บริการของลูกค้า และเวลาในการให้บริการที่แตกต่างกัน ผลการจำลองพบว่า การจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องของระบบแถวคอยแบบหนึ่งช่องทางมีผลการทำงานที่ดีกว่าระบบแถวคอยแบบหลายช่องทาง

จากการวิจัยพบว่าการจัดรูปแบบตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และรูปแบบการจำลอง

แบบหนึ่งแถวคอย (Single-Channel Queue) มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า รูปแบบการจำลองแบบหลายแถวคอย (Multi-Channels Queue) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องของร้านอาหาร McDonalds และ POSB ของธนาคาร เช่นเดียวกัน

จากการวิจัยพบว่าการจัดรูปแบบตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) ที่ติดกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และหากมีช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) ตำแหน่งติดกันในจำนวนมากก็จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



TNII



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- [1] R. H. Karsaman et al., "Measuring the capacity and transaction time of cash and electronic toll collection systems," *Journal of Engineering and Technological Sciences*, vol. 46, no.2, pp.180-194, April 2014.
- [2] T. Shitama et al., "Traffic simulation for expressway toll plaza based on successive vehical tracking data," *International Symposium of transport Simulation 2006*, ISTS 2006, Lausanne, Switzerland, September 4-6, 2006, pp.1-21.
- [3] นพดล โพธิ์ซี, สุรเชษฐ์ ประวงศ์วุฒิ, (2556), "แนวทางการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติ โดยวิธีการประเมินประสิทธิภาพทางด้านวิศวกรรมจราจรในแบบจำลองคอมพิวเตอร์," (เอกสารประกอบ การแบ่งปันและเผยแพร่ความรู้ตามโครงการบริหารจัดการความรู้ภายในองค์กร), กรุงเทพฯ : การทางพิเศษแห่งประเทศไทย.
- [4] สุวิทย์ ภูมิฤทธิกุล และปานวิทย์ ธวนูติ, "แบบจำลองจราจรสำหรับระบบทางด่วนพิเศษศรีรัช ด้านเก็บเงินพระรามเก้า," The 3rd National Conference on Information Technology, NCIT 2010, กรุงเทพฯ, 28-29 ตุลาคม 2553, หน้า 246-250.
- [5] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, (2550), "ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection System)," กรุงเทพฯ : กองบำรุงรักษา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย.
- [6] T. Ito, "Process simulation approach to design and evaluation of toll plaza with ETC Gates," *International Journal of Simulation*, vol. 6, no.5, pp.14-21, May 2005.
- [7] S. Shanmugasundaram and S. Punitha, "A simulation study on toll gate system in M/M/1 queuing model," *International Organization of Scientific Research Journal of Mathematics*, vol. 10, no.3, pp.1-9, June 2014.
- [8] Z. L. Joe et al., "Discrete-event simulation of queuing system," 6th Youth Science Conference 2000, YNC 2000, Singapore, August 26, 2000, pp.225-229.
- [9] B. Melamed and T. Altiok, "Simulation Modeling and Analysis with Arena," Rutgers University: Academic Press, 2007.
- [10] Noppakun, P. Sakda and H. Charnwet, "Drive through toll collection system : impact evaluation," *Asean Civil Engineering*, vol. 24, no.1, pp.1-17, May 2010.

- [11] รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ, *คู่มือสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena*, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2553.
- [12] จรุง ใจงาม และภาสกร อภิรักษ์วรพินิต, “การจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องแบบหนึ่งแถวคอยและหลายแถวคอยของด่านเก็บค่าผ่านทาง,” *Thai-Nichi Institute of Technology : Academic Conference, TNIAC3*, กรุงเทพฯ, 15 พฤษภาคม 2558, หน้า 80.

